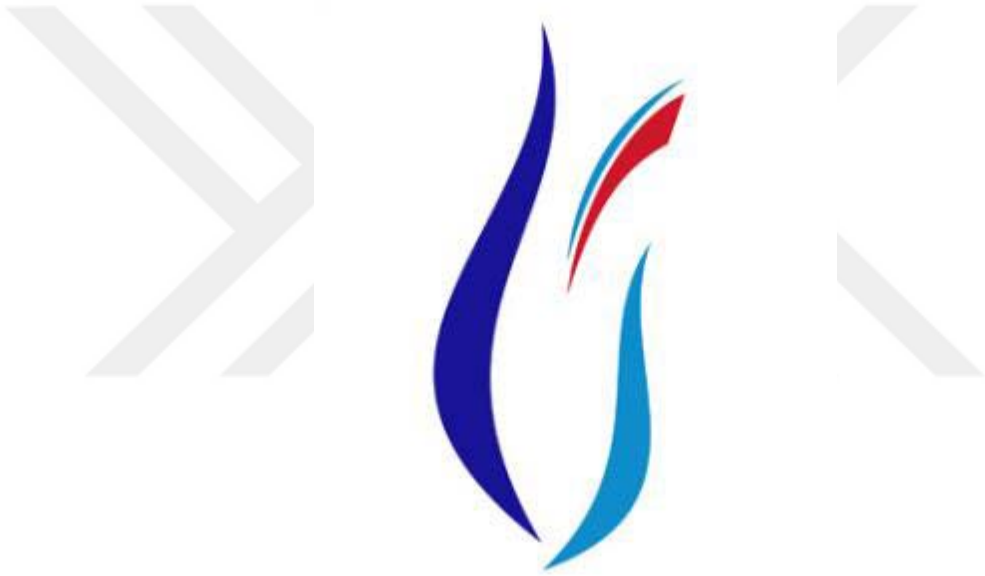


**T.C
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**



Manisa, 2021

**T.C
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**DOKTARA TEZİ
İKTASAT ANABİLİM DALI
İKTİSAT PROGRAMI**

**ENDÜSTRİ 4.0 KAPSAMINDA İNOVASYON VE TEKNOLOJİK
GELİŞMELERİN SEÇİLMİŞ OECD ÜLKELERİNİN EKONOMİK
BÜYÜMELERİ ÜZERİNE ETKİSİ: PANEL VERİ ANALİZİ**

EMEL ERSUN AYDEMİR

**DANIŞMAN
PROF. DR. DOĞAN UYSAL**

MANİSA-2021

YEMİN METNİ

Doktora tezi olarak sunduğum “**ENDÜSTRİ 4.0 KAPSAMINDA İNOVASYON VE TEKNOLOJİK GELİŞMELERİN SEÇİLMİŞ OECD ÜLKELERİNİN EKONOMİK BÜYÜMELERİ ÜZERİNE ETKİSİ: PANEL VERİ ANALİZİ**” adlı çalışmanın, tarafımdan bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin bibliyografyada gösterilen eserlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanmış olduğumu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

.../.../

ÖZET

ENDÜSTRİ 4.0 KAPSAMINDA İNOVASYON VE TEKNOLOJİK GELİŞMELERİN SEÇİLMİŞ OECD ÜLKELERİNİN EKONOMİK BÜYÜMELERİ ÜZERİNE ETKİSİ: PANEL VERİ ANALİZİ

Tarihsel süreç içinde farklı dönemlerde endüstri devrimleri gerçekleşmiştir. Endüstri devrimi kendi kendine oluşan bir süreç değildir. Geçmiş yüzyıllardan beri insanların ihtiyaçları doğrultusunda keşfedilen hemen her şey bir önceki keşfin başarılmasıyla ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle birinci, ikinci ve üçüncü endüstri devrimleri ve bu devrimlerin toplumsal etkileri incelendikten sonra endüstri 4.0'a giriş yapılmıştır. Endüstri 4.0'ın önemi ve doğuşunda etkili olan nedenler veya faktörler ayrı ayrı ele alınıp incelenmiştir. İkinci bölümde ise endüstri 4.0'ın oluşmasını sağlayan kavramlar, teknolojik inovasyon konusunun önemi ve inovasyonlu teknolojik gelişmeyi ifade eden değişkenler OECD ülkeleri açısından incelenmiştir. Üçüncü bölümde ise, OECD ülkeleri arasında yer alan ve ekonomik etkinliği göz önünde bulundurularak ABD, Almanya, Fransa, Japonya, Kore, İngiltere ve Türkiye'nin dahil edildiği analiz çalışması yapılmıştır. Çalışmada, GSYİH büyüme oranı, arge harcamaları, arge ile ilgilenen araştırmacıların sayısı, bilgi ve iletişim teknolojisi ürünleri ihracatı, patent başvuruları sayısı, bilimsel ve teknik dergi makaleleri sayısı, yüksek teknoloji ihracatı verilerinden yararlanılarak 2000-2017 yıllarını kapsayan Panel Veri Analizi yapılmıştır. Ülke özelinde çıkan sonuçlara göre inovasyon göstergesi olarak ele alınan patent başvurusu, ABD'de büyümeyi, Almanya'da büyüme ve yüksek teknoloji ihracatını pozitif etkilemektedir. İnovasyon göstergelerinden bir diğeri bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısı ABD, İngiltere, Japonya ve Kore'de büyümeyi, ABD, Almanya, Fransa, Kore ve Türkiye'de yüksek teknoloji ihracatını pozitif etkilemektedir. İnovasyon göstergelerinden bir diğeri arge de çalışan araştırmacıların sayısının Fransa, Japonya ve Kore'de yüksek teknoloji ihracatı, Türkiye'de büyüme üzerine pozitif etkisi çıkmıştır. Teknolojik gelişmelerin ekonomik etkinliğini gösteren yüksek teknoloji ihracatının ise büyüme üzerine doğrudan etkisi çıkmamakla birlikte ülke analizinde sadece ABD'de ekonomik büyümeyi pozitif etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

ABSTRACT

THE EFFECT OF INNOVATION AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS UNDER INDUSTRY 4.0 ON THE ECONOMIC GROWTH OF SELECTED OECD COUNTRIES: PANEL DATA ANALYSIS

In the historical process, industrial revolutions have taken place in different periods. The industrial revolution is not a spontaneous process. Almost everything that has been discovered in line with the needs of people since past centuries has emerged with the success of the previous discovery.

In this study, industry 4.0 was introduced after the first, second, and third industrial revolutions and the social effects of these revolutions were examined. The importance of industry 4.0 and the reasons or factors that were effective in its emergence were discussed and examined separately. In the second part, the concepts that enable the formation of industry 4.0, the importance of technological innovation, and the variables expressing innovative technological development are examined in terms of OECD countries. In the third part, seven countries, which are among the OECD countries, were included and those are USA, Germany, France, Japan, Korea, England, and Turkey, considering their economic efficiency. In the study, Panel Data Analysis covering the years 2000-2017 was made by using the data of GDP growth rate, R&D expenditures, number of researchers interested in R&D, exports of information and communication technology products, number of patent applications, number of scientific and technical journal articles, high technology exports. According to the country-specific results, the patent application, which is considered as an innovation indicator, positively affects growth in the USA, growth, and high technology exports in Germany. The number of scientific and technological journal articles, another innovation indicator, positively affects growth in the USA, England, Japan, and Korea, and high-tech exports in the USA, Germany, France, Korea, and Turkey. Another innovation indicator, the number of researchers working in R&D has a positive effect on high technology exports in France, Japan, and Korea and on growth in Turkey. High-tech exports, which show the economic efficiency of technological developments, do not have a direct effect on growth, but in the country analysis, it has been concluded that it had a positive effect on economic growth only in the USA.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Doğan UYSAL'a, tez izleme kurulundaki Doç. Dr. Ece DEMİRAY EROL ve Doç. Dr. Füsün KÜÇÜKBAY'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, lisans eğitimi aldığım ve yüksek lisans tez Hocam Sayın Prof. Dr. Recep KÖK'e ayrıca lisans ve yüksek lisans eğitimimde ekonometriyi öğreten ve sevdiren başta Sayın Prof. Dr. Utku UTKULU, Sayın Prof. Dr. Hakan KAHYAOĞLU ve yapıcı tavırları ve alçak gönüllülüğüyle tanıdığım ve birçok dersi aldığım Sayın Prof. Dr. Nevzat ŞİMŞEK'e, Dokuz Eylül Üniversitesi ve Celal Bayar Üniversitesi İİBF ailesine ve şimdiye kadar üzerimde emeği olan tüm Hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim. Bunun yanında eğitim hayatımın başından sonuna kadar her zaman maddi manevi desteğini gördüğüm annem, babam ve kız kardeşim Doç. Dr. Ayşe KAHRAMAN'a ve en zor zamanlarda yanımda olan eşim Gökhan'a minnettarım. Hayatımın neşe kaynağı olan canım oğlum Gökay'a vermiş olduğu pozitif enerji ve çalışma azmi için sonsuz teşekkürler.

Emel ERSUN AYDEMİR

Manisa, 2021

İçindekiler

KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xvi
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

TARİHSEL SÜREÇ İÇİNDE ENDÜSTRİ DEVRİMLERİ VE ENDÜSTRİ 4.0

1.1. ENDÜSTRİ DEVRİMLERİ VE TOPLUMSAL ETKİLERİ.....	6
1.1.1. Endüstri Devrimi Nedir ve Nedenleri Nelerdir?.....	6
1.1.1.1. Birinci Endüstri Devrimi ve Etkileri.....	6
1.1.1.2. İkinci Endüstri Devrimi ve Etkileri.....	9
1.1.1.3. Üçüncü Endüstri Devrimi ve Etkileri.....	14
1.2. ENDÜSTRİ 4.0'IN DOĞUŞU VE ÖNEMİ.....	18
1.2.1. Endüstri 4.0'ın Doğuşu ve Konusu.....	18
1.2.2. Endüstri 4.0'ın Önemi.....	21
1.3. ENDÜSTRİ 4.0'IN ANA UNSURLARI.....	22
1.3.1. Siber Fiziksel Sistemler.....	24
1.3.2. Endüstriyel Nesnelerin İnterneti.....	25
1.3.3. Büyük Veri ve Analiz.....	27
1.3.4. Akıllı Robotlar –Akıllı Fabrikalar.....	29
1.3.5. Simülasyon (Benzetme-Taklit).....	31
1.3.6. Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu.....	32
1.3.7. Siber Güvenlik.....	33
1.3.8. Bulut.....	35
1.3.9. Katmanlı- Eklemeli Üretim 3D Yazıcılar.....	36
1.3.10. Arttırılmış Gerçeklik.....	37

İKİNCİ BÖLÜM

ENDÜSTRİ 4.0 KAPSAMINDA İNOVASYONLU TEKNOLOJİK GELİŞMELER VE SEÇİLMİŞ OECD ÜLKELERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1. TEKNOLOJİK İNOVASYONUN GELİŞİMİ, DİJİTALLEŞMESİ VE ÜRETİMDEKİ İŞLEVİ.....	39
2.1.1. Teknolojik İnovasyon Kapsamı.....	39
2.1.2. İnovasyonun Temelleri.....	41
2.1.3. İnovasyonun Dijitalleşme ve Üretimdeki İşlevi.....	44
2.2.ENDÜSTRİ 4.0'IN BENİMSENMESİ YOLUNDA TEKNOLOJİK İNOVASYONUN SEÇİLMİŞ BAZI OECD ÜLKELERİNDEKİ YERİ.....	49
2.2.1. Seçilmiş OECD ülkelerinin Patent Sayılarının Analizi.....	52
2.2.2. Seçilmiş OECD ülkelerinin Bilim, Teknoloji ve İnovasyon Göstergeleri.....	56
2.2.3. Seçilmiş OECD Ülkelerinin Patent, Bilgi Teknolojileri ve İnovasyon Göstergeleri ve Endüstri 4.0 İle Potansiyel Büyüme.....	59

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

AMPİRİK ANALİZ

3.1. EKONOMETRİK MODELELMENİN TEMEL AMACI VE YÖNTEMİ.....	65
3.1.1. Analizin Temel Amacı.....	65
3.1.2. Çalışmanın Yöntemi.....	66
3.2. VERİ SETİ, ÖN TEST SINAMALARI VE EKONOMETRİK MODELLEME.....	67
3.2.1. Veri Seti Tanıtımı.....	67
3.2.2. Ön Test Sinamaları.....	69
3.2.2.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Analizi ve Sonuçları.....	69
3.2.2.1.1. Breusch-Pagan (1980) CDLM ₁ Testi.....	70
3.2.2.1.2. Pesaran (2004) CDLM ₂ Testi.....	70
3.2.2.1.3. Pesaran Düzeltilmiş Langrange Multiplier (LM) (2008) Testi.....	71
3.2.2.1.4. Baltagi, Feng, ve Kao (2012) Bias-Düzeltilmiş LM Testi.....	71

3.2.2.2. Panel CADF Ve CIPS Birim Kök Testi Analizi (Durağanlık Analizi) ve Sonuçları.....	73
3.2.2.3. Homojenlik- Delta Testi Analiz ve Sonuçları.....	80
3.2.2.4. Panel Eşbütünleşme Testi Teorisi ve Bulguların Değerlendirilmesi.....	84
3.2.3.Havuzlanmış Ortalama Grup (PMG), ARDL Testi Analizi ve Model Sonuçları.....	91
3.2.3.1. Teorik Analiz.....	91
3.2.3.2. Model 1 ve Model 2 İçin Literatür İncelemesi.....	95
3.2.3.3. Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Kurulan Panel ARDL Modeli Sonuçları- Model (1).....	100
3.2.3.4. Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Kurulan Panel ARDL Modeli Sonuçları- Model (2).....	105
3.2.3.5. Model 3 ve Model 4 İçin Literatür İncelemesi.....	109
3.2.3.6. Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Kurulan Panel ARDL Modeli Sonuçları- Model (3).....	113
3.2.3.7. Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Kurulan Panel ARDL Modeli Sonuçları- Model (4).....	116
DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....	120
KAYNAKÇA.....	124

KISALTMALAR DİZİNİ

AB: Avrupa Birliği

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

ADF: Augmented Dickey–Fuller Test- Artırılmış Dickey-Fuller Testi

AH: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH)’Nın Yüzdesi Olarak İfade Edilen Yurtiçi Ar-Ge Harcamaları

ARDL: Autoregressive Distributed Lag (Gecikmesi Dağıtılmış Otoresif Sınır Testi)

AR-GE: Araştırma Geliştirme

B: Bilgi Ve İletişim Teknolojisi Ürünleri İhracatı

BCG: Boston Consulting Group-Boston Danışmanlık Grubu

BİT: Bilgi Ve İletişim Teknolojisi

BRICS-TM Ülkeleri: Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Güney Afrika, Türkiye ve Meksika

BT: Bilgi Teknolojileri

CADF: Cross- Sectionally Augmented Dickey Fuller-Kesitsel Olarak Arttırılmış Dickey Fuller

CDLM: Cross- Sectional Dependence Lagrange Multiplier- Kesit Bağımlılığı Lagrange Çarpanı

CD-ROM : Compact Disc Read-Only Memory- Kompakt Disk- Salt Okunur Bellek

CIPS: Cross-Sectional Augmented IPS(IM, Pesaran and Shin)-Kesitsel Arttırılmış IPS

CPS: Cyber Physical System-Siber Fiziksel Sistemler

EBSO: Ege Bölgesi Sanayi Odası

ECM: Error Correction Model-Hata Düzeltme Modeli

EKK: En Küçük Kareler

ERP: Enterprise Resource Planning-Kurumsal Kaynak Planlama

G: Büyüme

GPS: Global Positioning System- Küresel Konumlama Sistemi

GSMH: Gayri Safi Milli Hasıla

GSYİH: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla

ICT: Bilgi ve İletişim Teknolojisinin

IOT: Internet of Things-Nesnelerin İnterneti

IPC: Inter Process Communication-Endüstriyel Bilgisayar

KOBİ: Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler

LM: Langrange Multiplier-Lagrange Çarpanı

LogB: Bilgi Ve İletişim Teknolojisi Ürünleri İhracatının Logaritmik Hali

LogG: Büyüme Değişkeninin Logaritmik Hali

LogYTİ: Yüksek Teknoloji İhracatının Logaritmik Hali

M2M: Makinalar Arasında Kablosuz İletişim Kurulabilmesini Sağlayan Teknolojidir.

MES: Manufacturing Execution System-Üretim Yürütme Sistemi

MIT: Massachusetts Teknoloji Enstitüsü

N: Ülke Sayısı

NSF: National Science Foundation-Ulusal Bilim Vakfı

OEDC: Organisation for Economic Co-operation and Development- Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü

P: Patent Başvuruları

PAC: Programlanabilen Otomasyon Kontrolörü

PC: Personal Computer -Kişisel Bilgisayar

PLC: Programmable Logic Controller- Programlanabilir Akıllı Kontrol Cihazı

PMG: Pool Mean Group Estimation- Havuzlanmış Ortalama Grup Tahmini

R: Ar-Ge İle İlgilenen Araştırmacıların Sayısı.

RFID: Radyo Frekansı ile Tanımlama

S: Bilimsel Ve Teknik Dergi Makaleleri

T: Zaman Boyutu

TOBB: Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği

TÜSİAD: Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği

UNCTAD: United Nations Conference on Trade and Development -Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü

WEF: World Economic Forum-Dünya Ekonomik Forumu

WIPO: The World Intellectual Property Organization-Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü

WITS: World Integrated Trade Solution-Dünya Entegre Ticari Çözümü

YTİ: Yüksek Teknoloji İhracatı

YY: Yüzyıl

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1: Gelişmiş Kapitalist Ülkelerdeki Teknolojik Devrimlerin Özellikleri.....	17
Tablo 2: Analizde Kullanılan Değişkenlerin Tanımları ve Kaynakları.....	68
Tablo 3: Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları.....	72
Tablo 4: Değişkenlere Ait Birim Kök Analizi Sonuçları.....	76
Tablo 5: Değişkenlerin Durağanlaşması $I(0)$ - $I(1)$	78
Tablo 6: Homojenlik Testi Sonuçları.....	83
Tablo 7: Model 1 Pedroni Panel Eşbütünleşme Testi Sonucu.....	88
Tablo 8: Model 2 Pedroni Panel Eşbütünleşme Testi Sonucu.....	89
Tablo 9: Model 3 Pedroni Panel Eşbütünleşme Testi Sonucu.....	89
Tablo 10: Model 4 Pedroni Panel Eşbütünleşme Testi Sonucu.....	90
Tablo 11: Model 1 ve Model 2 Literatür İncelemesi.....	95
Tablo 12: Model 1'in Uzun ve Kısa Dönem Panel ARDL Modeli Sonuçları.....	101
Tablo 13: Ülke Bazında Kısa Dönem Panel ARDL Sonuçları (Bağımlı Değişken: $\log G$).....	103
Tablo 14: Model 2'nin Uzun ve Kısa Dönem Panel ARDL Modeli Sonuçları.....	105
Tablo 15: Ülke Bazında Kısa Dönem Panel ARDL Sonuçları (Bağımlı Değişken: $\log B$).....	108
Tablo 16: Model 3 ve Model 4 Literatür İncelemesi.....	109
Tablo 17: Model 3'ün Uzun ve Kısa Dönem Panel ARDL Modeli Sonuçları.....	113
Tablo 18: Ülke Bazında Kısa Dönem Panel ARDL Sonuçları (Bağımlı Değişken: $\log YTI$).....	115
Tablo 19: Model 3'ün Uzun ve Kısa Dönem Panel ARDL Modeli Sonuçları.....	116
Tablo 20: Ülke Bazında Kısa Dönem Panel ARDL Sonuçları (Bağımlı Değişken: $\log G$).....	118
Tablo 21: Analiz Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi.....	120
Tablo 22: Ülkeler Açısından Genel Değerlendirme.....	121

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: 19. Yüzyılda Endüstri Devrimi'nin Avrupa'ya Yayılmasını Gösteren Endüstri Devrimi Haritası.....	8
Şekil 2: Endüstri Devrimleri Aşamaları.....	19
Şekil 3: Geleneksel Endüstriyel Üretim Konuları İle Endüstri 4.0 Konularının Karşılaştırılması.....	20
Şekil 4: Endüstri 4.0'ın İtici Kuvvetleri.....	23
Şekil 5: Endüstri 4.0'ın Temel Unsurları.....	24
Şekil 6: İletişim Mimarisinin Evrimi: Modern Fabrikadan Endüstri 4.0 Akıllı Fabrikaya.....	30
Şekil 7: 3D Teknolojisi.....	36
Şekil 8: Üretimi Dönüştüren Anahtar Teknoloji Mega Trendler.....	45
Şekil 9: Dijital Stratejinin Beş Kuralı.....	46
Şekil 10: Seçilmiş OECD Ülkelerinde 2010-2017 Yılları Arası Ortalama Dijital Veri İşleme Patent Sayısı.....	48
Şekil 11: 2010-2017 Yılları Arası Seçilmiş OECD Ülkelerinin Her Birinde Gerçekleşen Dijital Veri İşleme Patent Sayısı.....	49
Şekil 12: Endüstri 4.0 yolunda Teknoloji ve İnovasyon Konusunda Öncülük Eden Ülkelerde Görülen Uygulamalar.....	51
Şekil 13: 1999-2007 Yılları Arası Seçilmiş OECD Ülkelerinde Toplam Teknoloji Patenti Sayısı.....	53
Şekil 14: 2008-2017 Yılları Arası Seçilmiş OECD Ülkelerinde Toplam Teknoloji Patenti Sayısı.....	54
Şekil 15: : 2008-2017 Yılları Arası Seçilmiş OECD Ülkelerinin Her Birinde Gerçekleşen Toplam Teknoloji Patenti Sayısı.....	55
Şekil 16: Seçilmiş OECD Ülkelerinde 2005-2017 Yılları Arası Ortalama Bilgi ve İletişim Teknolojisi Patent Sayısı.....	56
Şekil 17: Seçilmiş OECD Ülkelerinde 2006-2014 Yılları Arası Bilim, Teknoloji ve İnovasyon Göstergeleri.....	57

Şekil 18: 2013-2019 Yılları Arası Seçilmiş OECD Ülkelerinin Her Birinde Gerçekleşen Temel Bilim ve Teknoloji Göstergeleri.....58

Şekil 19: 2004-2010 Yılları Arasında Seçil miş OECD Ülkelerinde Arge Harcamaları, Bilgi ve İletişim Mal İhracatı, Patent Başvuru Sayısı, Arge’de Çalışan Araştırmacı Sayısı, İleri Teknoloji İhracatı, Büyüme Arasındaki Değişim.....61

Şekil 20: 2011-2017 Yılları Arasında Seçilmiş OECD Ülkelerinde Arge Harcamaları, Bilgi ve İletişim Mal İhracatı, Patent Başvuru Sayısı, Arge’de Çalışan Araştırmacı Sayısı, İleri Teknoloji İhracatı, Büyüme Arasındaki Değişim.....62

Şekil 21: Teknolojilerin Tahmini Potansiyel Ekonomik Etkisi, ABD Doları (trilyon), Yıllık.....63

GİRİŞ

Endüstriyel devrimler, toplumsal hayatı baştan sona değiştiren ve değişime öncülük eden ve uyum sağlayan ülkeler için ekonomik kalkınmanın fırsatını sunan dönüşümleri içerir. Endüstri devrimlerinin gerçekleştiği ülkelerde sosyal, kültürel, siyasal ve ekonomik açıdan değişim ve kalkınma gerçekleşir. Bunlar arasında en önemli dönüşüm ve incelenmesi gerekenlerden bir tanesi ekonomik hayattır. Küresel dünya düzeni içinde küreselleşmesinin dışında kalan ülkeler rekabet avantajını kaybedebilir. Endüstri devrimlerini ve rekabet avantajını yakalayabilmek için devrimlere öncülük eden gelişmelerin incelenmesi ve uygulamaya geçirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Endüstri devrimleri incelendiğinde devrimlerin temelinde bir teknolojik gelişme ve inovasyon yer almaktadır. Dünya ekonomilerinin küreselleşmesiyle birlikte inovasyon kavramının önemi artmıştır. İnovasyonu gerçekleştiren ülkeler, hayat standardının yükselmesiyle yaşamsal her alanda refah ortamına kavuşma fırsatı yakalayıp, başta ekonomi olmak üzere rekabet avantajı sağlayabilmektedir. İnovasyon toplumun her alanında dönüşüm sürecini başlatıp, ekonomik kalkınmanın da temel itici gücü haline gelebilmektedir. Bu nedenle tarihsel süreç içerisinde endüstri devrimleri ve dördüncü endüstri devrimin de inovasyonun gerçekleştiği alanlar, inovasyonun içeriğinin ve unsurlarının tanımlanması çok önemlidir.

Endüstri 4.0'ın gerçekleşmesi yolunda belirlenen unsurları içeren bilginin elde edilmesi ve araştırılması her ülke için kaçırılmayacak fırsatlar doğurabilir. Bu unsurların gerçekleşmesi aşamasında elde edilebilecek bilgi ve icatlar, sürecin en önemli unsuru olmasının yanında ekonomik değer yaratması sonucuyla da önem arz eder. Ekonomik değer yaratan yeni bir ürün veya hizmetin gelecek yıllar için ekonomik refah, rekabetçilik ve büyümenin en önemli unsurlarından biri olacağı kuşkusuzdur.

Tez çalışmamızın ilk bölümünde ilk üç endüstri devriminin ortaya çıkışı ve toplumsal hayatta meydana gelen değişiklikler ve Endüstri 4.0 ele alınıp incelenmeye çalışılmıştır. Buna göre 1760-1830 yılları arasında İngiltere'de ortaya çıkan birinci endüstri devrimi kömürle çalışan motorların, buhar gücünün icat edilmesiyle buharla çalışan makinelere dönüşmesi ve yavaş yavaş fabrika hayatının ortaya çıkmasıyla gerçekleşmiştir. İkinci endüstri devrimine geçiş ise 1830-1870 yıllarını kapsamaktadır. Birinci endüstri devriminin sonlarında yavaş yavaş oluşmaya

başlayan ve bilim temelinde ilerleyen ikinci endüstri devrimi başta ABD olmak üzere Almanya, İngiltere ve Japonya'da 1870-1914 yıllarını kapsayacak şekilde gelişmiştir. Özellikle çelik üretim yöntemlerinin elektrik ve içten yanmalı motorlar ile yapıldığı, uluslararası telgraf, radyo gibi buluşların ortaya çıktığı ve iş bölümüne dayalı seri üretim yöntemlerine geçildiği dönemdir. Üçüncü endüstri devrimi ise önce Almanya daha sonra Japonya'da 1950'li yıllardan başlayarak üretim süreçlerinde otomasyonun uygulanmasıyla gerçekleşmiştir. Bu dönemde bilgisayar, fiber optik, lazer gibi ürünler gelişip birçok bilimsel gelişmenin zemini atılıp üretim yapısı da değişmiştir. Üçüncü endüstri devrimi dijital çağ olarak da adlandırılmaktadır. Her üç dönemde de toplumsal hayatta çok önemli farklılıklar görülmüş ve ekonomik gelişmelerle birlikte kalkınma ivme kazanmıştır. İlk endüstri devrimlerinden çok daha hızlı ve tam olarak gerçekleşmeden önce ifade edilen Endüstri 4.0 ise çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır. Endüstri 4.0 ile birlikte toplumun her alanını ve her sektörü etkileyen bir teknolojik dönüşüm ortaya çıkmıştır. Diğer teknolojik gelişmelerden çok farklı bir biçimde makineler, bilgisayarlar, insanlar ve nesneler arasında internet iletişimin oluşumu ve hızı, dijitalleşmenin farklı bir boyut alması 4. endüstri devriminin öne çıkan konulardır. Bu bölümde teknolojide meydana gelen hızlı dönüşümün, dijitalleşmeyle sistemlerin bütünü ve ülke yapılarını dönüştüren ve toplumun her alanını etkilemeye aday süreçler bütünü olan endüstri 4.0'ın önemi, doğuşu ve unsurları da ele alınmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde teknolojik inovasyon konusu ele alınmış olup, inovasyonun önemi, temelleri ve dijitalleşmeyle üretimdeki etkisi ayrıca çalışmamızda bilim, teknoloji ve inovasyonu temsil eden değişkenler yardımıyla seçilmiş OECD ülkeleri üzerine grafiksel gösterimlerin yorumlarına yer verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde çalışmaya ilişkin kullanılan ekonometrik analize yer verilmiştir. Öncelikle ekonometrik çalışmanın amacı, yöntemi ve veri seti tanıtılmıştır. Çalışmada inovasyon ve teknolojik gelişmelerin seçilmiş OECD ülkeleri ve büyümeleri üzerine nedensel sonuçlarını daha iyi ortaya koyabilmek için dört ekonometrik modelden faydalanılmıştır. İlk ve ikinci modelde inovasyonun ekonomik büyüme üzerine etkisinin göstergesi olarak arge harcamaları, argede çalışan araştırmacı sayısı, patent başvuru sayısı, bilgi ve iletişim mal ihracatı ve bilimsel ve teknolojik dergi sayısı, üçüncü ve dördüncü modelde teknolojik gelişme göstergelerini temsilen, yüksek teknolojlili ürün ihracatı analize dâhil edilmiştir. Ekonometrik analiz sonuçlarına gelmeden önce yapılması gereken her ön testten

önce teorik kısım açıklanmış, daha sonra çalışmanın ön test sonuçlarına ve son aşamada model sonuçlarına ve yorumlanmasına yer verilmiştir. Çalışma da yapılan ön testlerden ilki birimler arasında bağımlılığın olup olmadığının test edilmesidir. Yatay kesit bağımlılığı analizi, Breusch-Pagan (1980) CDLM₁ testi, Pesaran (2004) CDLM₂ testi, Pesaran Düzeltilmiş Langrange Multiplier (LM) (2008) testi ve Baltagi, Feng, ve Kao (2012) Bias-Düzeltilmiş LM testi aracılığıyla yapılmış ve sonuç olarak yatay kesit birimleri arasında ve eşbütünleşme denkleminde yatay kesit bağımlılığı söz konusu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Değişkenlerin durağanlığını test etmek için panel CADF ve CIPS birim kök testi (durağanlık analizi) analizi yapılmış ve panelin geneline bakıldığında ise düzey değerlerinde büyüme değişkeni durağan iken diğer değişkenlerin birim kök içerdiği görülmüştür. Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisine bakılabilmesi için serilerin aynı dereceden durağan ya da bağımlı değişkenin durağan çıkması veya bağımlı değişkenin birim köklü iken diğer değişkenlerin tam tersi durumda olması gerekmektedir. Bu nedenle modele dahil edilen değişkenleri durağan hale getirmek için birinci dereceden farkı alınmıştır. Farkı alınan serilere bakıldığında ise panelin geneli için tüm değişkenlerin %1 anlamlılık düzeyinde durağan hale geldiği, ülkelerin ise büyük kısmının durağanlaştığı görülmüştür. Eğim katsayılarının birimler arasında değişip değişmediğinin tespiti için delta homojenite testi gerçekleştirilmiş ve modelde yer alan sabit ve eğim katsayılarının heterojen olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Son ön test olarak Pedroni panel eş bütünleşme analizi yapılmış ve sonuca göre Pedroni Eşbütünleşme testinin sonuçları her dört model içinde değişkenler arasında uzun dönemde eşbütünleşme olduğunu göstermiştir. Çalışmada kullanılan temel model ARDL modelidir. CADF birim kök testinde serilerin farklı seviyelerde stabil olduğu görülmüş ve ARDL yöntemi kullanılarak ilişki düzeyi belirlenmiştir. Bunun için kesit bağımlılığına izin veren ve diğer tahmin edicilere göre daha tutarlı sonuçlar veren Havuzlanmış Ortalama Grup PMG tahmincisi kullanılmıştır.

Her dört ekonometrik modelin uzun ve kısa dönem sonuçları modellenmiştir. Her modellemeden önce literatür incelemesi yapılmıştır. İlk analiz sonucunda bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisi daha önce yapılan çalışmalar ile kısmen uyumlu çıkmıştır. Literatürden Aghion ve Howitt (1992), Ülkü (2004) ve Kacprzyk ve Doryn (2017) çalışmalarıyla arge harcamalarının büyüme üzerinde etkinliğinin olmadığı, Pala (2019), arge harcamalarının büyüme üzerinde negatif etkinliği olacağı, Maradana, Pradhan, Dash, Gaurav, Jayakumar and

Chatterjee(2017) çalışmalarıyla bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısının ve argede çalışan araştırmacıların büyüme üzerindeki pozitif etkinliği olacağını bildirmesi yönüyle tez çalışmasıyla uyumludur.

İkinci modelin analizinde yapılan literatür incelemesinde Joseph (2002), Colecchia ve Schreyer (2002), Maurseth ve Frank (2009), Yousefi (2011) ve Otoo ve Song (2021) çalışmalarında bilgi ve iletişim ihracatı ve büyüme analizini temel almışlardır. Aldakhil vd. (2019) çalışmasında sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için bilgi ve iletişim teknolojisi uygulamalarının arttırılması gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmalarda ihracat temelli büyüme stratejisi vurgulanmış, bilgi ve iletişim mal ihracatından büyümeye analiz yapılmıştır. Tez çalışmada inovasyon ve teknolojik gelişmenin göstergesi olarak alınmış olan bilgi ve iletişim mal ihracatının analizdeki diğer değişkenlerin hangileri tarafından ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymaktır.

Üçüncü modelin analizinde yapılan literatür incelemesinde, çalışmamızın; arge harcamalarının ve patent başvurusunun yüksek teknoloji ihracatını arttırdığı sonucuna ulaşan; Thulin (2008), Wana Ismail (2013), Meo ve Usmanı (2014), Braunerhjelm ve Sandu, S., Ciocanel, B. (2014), Maradana, Pradhan, Dash, Gaurav, Jayakumar and Chatterjee(2017), Kabaklarli, Duran ve Üçler (2018), Aldakhil vd. (2019), ve Erdinç ve Aydınbaş (2020) ile uyumlu olduğu görülmektedir. İleri teknoloji ihracatının belirleyicileri üzerine Türkiye’de yapılmış çalışmaların azlığı bu modellemenin Türkiye’de yapılacak çalışmalar açısından yararlı olacağı düşünülmektedir.

Dördüncü modelin analizinde yapılan literatür incelemesinde, çalışmamızın; arge harcamalarındaki bir artışın büyüme üzerinde kalıcı etkide bulunacağını ifade eden Bassanini ve Scarpetta (2001), bilgi ve iletişim mal ihracatının ekonomik büyümeyi arttırdığı sonucuna ulaşan Joseph (2002), uzun dönemde GSYİH, ar-ge harcamaları ile patent başvuru sayısından pozitif yönde, yüksek teknoloji ürün ihracatından negatif yönlü etkilendiği sonucuna ulaşılan Algan, Manga ve Tekeoğlu (2017), ve yüksek teknoloji ihracatının büyüme üzerinde doğrusal olmayan bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşan Maneejuk ve Yamaka (2020) ile uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Panel geneli analiz sonuçlarının değerlendirilmesi yapılacak olursa, arge harcamalarında meydana gelen bir birimlik artış üçüncü modelde yüksek teknoloji ihracatını, dördüncü modelde büyüme oranını, bilgi ve iletişim mal ihracatında

meydana gelen bir birimlik artış birinci ve dördüncü modelde büyüme, üçüncü modelde yüksek teknoloji mal ihracatını arttırmaktadır. Bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısında meydana gelen bir birimlik artış büyüme ilk modelde ve dördüncü modelde önemli oranda arttırmaktadır. Yüksek teknoloji ihracatının büyüme üzerine doğrudan etkisi çıkmamıştır.

Ülke özelinde yapılan değerlendirmede inovasyon göstergesi olarak ele alınan patent başvurusu, ABD ve Almanya’da büyüme Almanya’da yüksek teknoloji ihracatını pozitif etkilemektedir. İnovasyon göstergelerinden bir diğeri bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısı ABD, İngiltere, Japonya ve Kore’de büyüme, ABD, Almanya, Fransa, Kore ve Türkiye’de yüksek teknoloji ihracatını pozitif etkilemektedir. İnovasyon göstergelerinden arge harcamalarının büyüme üzerine pozitif etkisi bulunamamış ancak ABD ve Kore’de yüksek teknoloji ihracatı üzerinde pozitif etkisi bulunmuş ve dolaylı olarak büyüme etkileyeceği düşünülmektedir. İnovasyon göstergelerinden bir diğeri arge de çalışan araştırmacıların sayısı Fransa, Japonya ve Kore’de yüksek teknoloji ihracatını artırırken, Türkiye’de büyüme üzerinde pozitif etkide bulunur. Diğer bir inovasyon göstergesi bilgi ve iletişim mal ihracatı ABD ve Türkiye’de ekonomik büyüme üzerinde, Fransa ve Türkiye’de yüksek teknoloji ihracatı üzerinde pozitif etkinliğe sahiptir. Teknolojik gelişmelerin ekonomik etkinliğini gösteren yüksek teknoloji ihracatı ise sadece ABD ve Türkiye’de ekonomik büyüme pozitif etkilemektedir.

Yapılan tez çalışması, küresel boyutta çok önemli teknolojik dönüşümlerin yaşandığı endüstri 4.0’ın önemi ve seçilmiş OECD ülkelerinin ekonomik büyümeleri üzerinde bir çıkarımda bulunmayı hedeflemiştir. Model çalışmalarımızda ulaşılan sonuçlar beklentilerimizi kısmen karşılayacak düzeyde önemli sonuçlar vermiştir. Seçilmiş OECD ülkeleri inovasyon göstergelerinde seçmiş olduğumuz değişkenlerin etkileri şu aşamada ülkeden ülkeye farklılık göstermiştir. Endüstri 4.0’ın yayılımı ve hızı arttıkça önümüzdeki yıllarda elde edilebilecek veri tabanının genişliğiyle inovasyon ve teknolojik gelişmelerin ülkeler ve büyümeleri üzerindeki etkinliği daha fazla belirginleşecek ve bu konuda yapılabilecek çalışmaların artmasıyla, endüstri 4.0 etkinliği ve ekonomik büyümeler açısından daha farklı sonuçlar çıkacaktır.

BİRİNCİ BÖLÜM

TARİHSEL SÜREÇ İÇİNDE ENDÜSTRİ DEVRİMLERİ VE ENDÜSTRİ 4.0

1.1. ENDÜSTRİ DEVRİMİ VE TOPLUMSAL ETKİLERİ

1.1.1. Endüstri Devrimi Nedir ve Nedenleri Nelerdir?

Endüstri devrimi üretim yapısını değiştiren, makineleşmeyi yaratan, teknolojik gelişme olarak ifade edilen ve toplumu her açıdan etkileyen dönüşümlerdir. Bir teknolojik gelişmenin devrim olarak adlandırılabilmesi için ekonomik ve toplumsal açıdan büyük bir değişmeye sebep olması gerekmektedir. Gerçek bir endüstri devrimi sadece teknolojik yeniliklerden değil, aynı zamanda endüstriyel örgütlenme düzeyinde etki yaratıp, üretim maliyetlerini azaltıp en uygun firma ölçeğinin de yakalanmasını sağlamaktadır. (Mokyr, 1997: 35). Teknolojik gelişmişlikle meydana gelen maliyet avantajı ve optimum ölçek ekonomileri ülke ekonomisini etkileyip büyüme avantajı sağlayabilir. Teknolojik gelişmenin yaratmış olduğu ekonomik büyüme için de önemli olanın kişi başına çıktıda bir artış meydana getirip insan verimliliğini arttırmasıdır. (Palmer, 2012: 82) İlk endüstri devrimlerinden günümüz devrimlerine kadar insan ihtiyaçları ve dönemin zorunluluklarından kaynaklanan, üretim sistemlerinin değişimi ve makineleşmesi yaşanmıştır. Belli başlı endüstri devrimleri dört tanedir ve bu bölümde ilk üç endüstri devriminin yaşanmasına neden olan gelişmeler, dördüncü endüstri devrimi açıklanmaya çalışılmıştır.

1.1.1.1. Birinci Endüstri Devrimi ve Etkileri

Birinci endüstri devrimi 1760-1830 döneminde büyük ölçüde İngiltere ile sınırlı kalmıştır. Üretim süreci el üretiminden makine üretimine geçerek, üretimde mekanizasyona dönüşüm gerçekleşmiştir. Birinci endüstri devrimi, kömürle çalışan makinelerin, buharla çalışan motorlara uyarlanmasıyla meydana gelmiştir; böylece bir fabrika ekonomisi ortaya çıkmıştır. Artan sayıda bu makinelere buhar gücü verilmiştir. Su gücünün verimliliği de artmıştır. (Rifkin, 2011: 200) Bu dönemde yaşam standardı düşük olmasına rağmen endüstriyel devrim ile birlikte teknoloji

ilerlemeye, üretim malzemeleri çeşitlenmeye üretilenlerde artmaya başlayınca insanların yaşam kalitesinde hissedilir bir artış gerçekleşmiştir. (Özdoğan, 2017: 16). İngiltere'nin sahip olduğu kömür ve demir rezervleri devrimin doğal yollardan bu ülkede başlamasını sağlamış ve ilk toplumsal etkilerde bu İngiltere'de görülmüştür. Aynı zamanda bu dönemde kömür, bio-yakıt ve odunun yerine geçmeye başlamıştır. İngiltere'de başlayan birinci endüstri devrimi ve yıllar sonra Avrupa ve ABD tarafından da uyarlanmıştır. (Rafferty, 2018: 1-2)

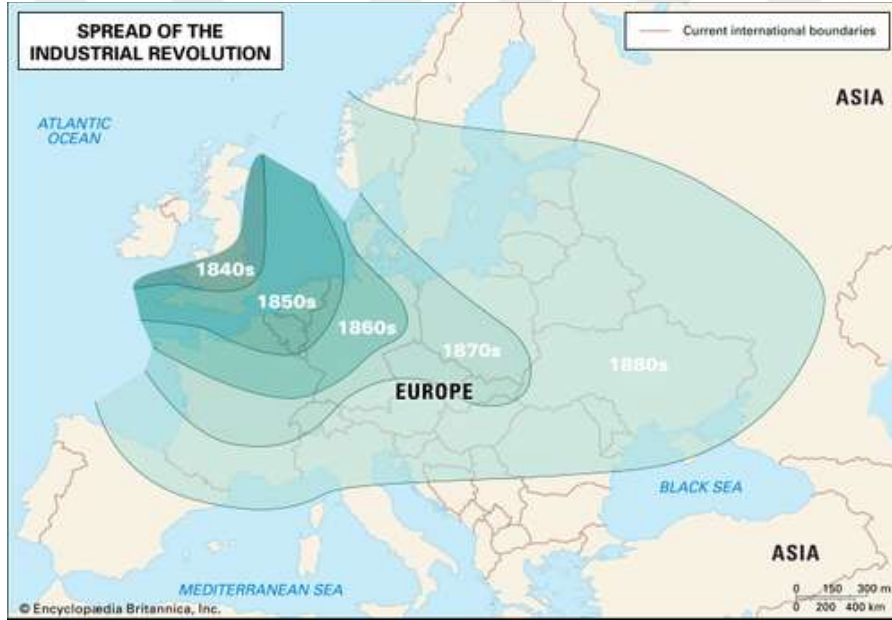
Birinci endüstri devriminin ana itici sektörü tekstil endüstrisi olmuştur. Özellikle tekstil endüstrisinde kullanılan yeni makineler bir işçinin üretim kapasitesinin yaklaşık kırk kat artmasını sağlamış ve bu sayede üretim hızı ve miktarı ciddi oranlarda artmıştır. (Özdoğan, 2017: 14). Bu, ortalama nüfusun günlük yaşamlarının değişmesine neden olmuştur. Gelirleri ve yaşam standartları, bu olumlu sonuçların yavaşça ortaya çıkmasına rağmen, sürekli büyümeye başlamıştır. (Rafferty, 2018: 1-2) Bu tür teknolojik gelişmelerin ekonomi üzerindeki etkisinin belirlenmesi ülke değerlendirmeleri açısından büyük önem taşımaktadır. Teknolojik gelişmişliğin ülkeler açısından ekonomik sonuçları daha sonraki dönemlerde ortaya çıkmaktadır. Teknolojik devrimi yakalayamayan ülkeler rekabet ortamından uzaklaşabilir ancak azimle yeniliklerin takip edilip ülke düzeyinde uyarlanmasıyla bu ülkeler açısından rekabet edebilirlik ve büyüme hedefleri yakalanabilir.

Birinci endüstri devriminin teknolojik gelişmelerinden biri olan buhar motoru, ilk kez 1709'da ortaya çıktı, ancak 1830'dan önce ekonomi üzerindeki etkisi o kadar da büyük değildi. 1830'dan sonra su gücünün bulunmadığı alanlarda yaygın olarak ulaştırma ve imalata uygulamasıyla buhar motorunun ekonomik önemi artmıştır. Bu önemin artmasında en önemli sebeplerden biri buhar motorunun diğer motorların geliştirilmesine öncü olması ve termodinamiğin de geliştirilmesinde önemli bir rol oynamasıdır. (Mokyr, 1997:2-32-33) Buhar gücü ve mekanize üretimin birleşimi çıktıda bir adım değişikliği yaratmıştır. Kapasite ve verimlilikteki bu dinamik artış, kentleşmeye, bölgesel ve küresel pazar ekonomilerinin büyümesine, demokratik hükümetlerin uygunluğuna ve batı yarımkürede yükselen bir orta sınıfa yol açmıştır. (Philbeck ve Davis, 2019: 19)

Dönemin başlarında İngiltere, makine, vasıflı işçi ve üretim tekniklerinin ihracını yasaklamıştır. (Rafferty, 2018: 1-2). Buna rağmen İngiltere, sanayileşmenin toplumsal sorunlarıyla ilk karşılaşan ülke olmuştur. İkinci endüstri devrimi, hem yönetimsiz gelişim ile hem de nüfusun büyük bir bölümünün kâr amacıyla

sömürülmesine izin veren yok denecek kadar az bir hükümet müdahalesi ile gerçekleştirilmiştir. Ancak İngiltere'nin koymuş olduğu tekel yıllarca devam etmemiştir. Joel Mokyr'in dediği gibi, “teknolojik ilerleme, İngiltere'nin avantajının hem nitel hem de geçici olduğu çok uluslu bir işbirliği çabasıydı”. (Palmer, 2012: 89) İki İngiliz William ve John Cockerill, Liege’de makine atölyeleri geliştirerek yaklaşık 1807 yılında endüstri devrimini Belçika’ya getirmiştir. Belçika Kıta Avrupa’sında ekonomik olarak dönüştürülen ilk ülke olmuştur. İngiliz ataları gibi Belçika’da da endüstri devrimini demir, kömür ve tekstil üzerinde yoğunlaşarak gerçekleştirmiştir. (Rafferty, 2018: 1-2)

Şekil 1: 19. Yüzyılda Endüstri Devrimi'nin Avrupa'ya Yayılmasını Gösteren Endüstri Devrimi Haritası.



Kaynak: Britannica, 2018: 2. <https://www.britannica.com/event/Industrial-Revolution>

Şekil 1’de endüstri devriminin İngiltere’de başlayıp diğer ülkelere yayılmasını göstermektedir. 1870 ikinci endüstri devrimine kadar üretim yöntemleri değişmeye devam etmiş, işçilerde uzmanlaşma gerçekleşmiş işçiler uzmanlıklarına göre ayrılmışla ve oraganizasyon şeması oluşmuş ve bu aşamalar zamanla tüm dünyaya yavaş yavaş yayılmıştır. (Özdoğan, 2017: 18). Fransa; İngiltere ve Belçika’dan daha yavaş ve daha az kapsamlı bir şekilde sanayileşmiştir. İngiltere endüstriyel liderliği kurarken, Fransa devrimine daldı ve belirsiz siyasi durum sınai yeniliklere yapılan büyük yatırımları cesaretlendirmiştir. 1848’de Fransa endüstriyel

bir güç haline gelmiştir, ancak büyük büyümeye rağmen diğer Avrupa ülkeleri gibi Fransa’da İngiltere’nin gerisinde kalmıştır. Fransız ve Belçika burjuvazisi, İngiliz meslektaşlarının zenginlik, güç ve fırsatlarından yoksundu. Diğer ülkelerdeki politik koşullar da endüstriyel genişlemeyi engellemiştir. Örneğin büyük kömür ve demir kaynaklarına rağmen Almanya 1870’te ulusal birliğe ulaşınca kadar endüstriyel genişlemesine başlamamış. Ancak başladıktan sonra Almanya’nın endüstri üretimi çok hızlı büyümüş ve çelik ve kimya endüstrisinde dünya lideri olmuştur. Japonya’da çarpıcı bir başarı ile endüstri devrimine katılmıştır. (Rafferty, 2018: 2-3) Doğu Avrupa ülkeleri 20.yy başlarında geride kalmıştır. 20.yy’ın ortaları endüstri devriminin Çin ve Hindistan gibi sanayileşmiş bölgelere yayılmasına tanık olmuştur. ABD endüstriyel gücünün 19. ve 20.yy’daki yükselişi Avrupa’nın çabasını çok fazla aşmıştır. 1900’lü yıllarda Amerika Birleşik Devletleri dünyanın öncü sanayileşmiş ülkesi haline gelmiştir. (Özdoğan, 2017: 17). Bu olumlu sonuçların yavaşça ortaya çıkmasına rağmen, gelirleri ve yaşam standartları, sürekli büyümeye başlamıştır. (Rafferty, 2018: 2-3) Amerikan ekonomisti ve 1995 Nobel Ekonomi Bilimleri Ödülü’nün İktisat Ödülü’nü kazanan Robert E. Lucas Jr., Ekonomik Büyüme dersleri kitabındaki ilk endüstri devriminin sonuçlarını şöyle açıklamıştır: (Lucas, 2002, s. 109’dan aktaran Sabo, 2015: 2)

“Tarihte ilk kez, sıradan kümeler halinde insanların yaşam standartları sürekli büyümeye başladı.”

Teknolojik üretimin yaygınlaşmaya başladığı andan itibaren insanların yaşam standartlarında ve ekonomik hayatta etkilerinin görüldüğü ilk devrim olan birinci endüstri devrimi, yenilikle ortaya çıkan teknolojik ürünlerin üretim faaliyetlerinde kullanıldığı ilk dönemdir.

1.1.1.2. İkinci Endüstri Devrimi ve Etkileri

İkinci endüstri devrimine geçiş 1870-1914 yılları arasında gerçekleşmiştir ve ikinci endüstri devrimi teknolojik devrim olarak da bilinir. (Rafferty, 2018: 3) Elektrik enerjisinin verimli kullanılması, insan gücünü minimuma indirip, ürün ve üretimin kısa sürede maksimuma ulaştırmayı amaçlayan seri üretim hatlarının devreye alınması dönemin özellikleri arasındadır. (Öztürk ve Ateş, 2021: 32).

İkinci endüstri devrimine doğru evrimleşme, yalnızca bilimsel bilginin, aslında ilk endüstri devriminin son aşaması olan endüstriye uygulanmasının bir

sonucu olarak değil, aynı zamanda bir endüstri çalışmasında endüktif yöntemin kullanılmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Devrim, farklı fikir gruplarının birleşiminden meydana gelmiştir. İlk fikir grubu fabrikaların farklı bölümlerinin göreceli karlılığını belirleyerek maliyet hesaplarının oluşturulmasını sağlamıştır. İkinci fikir grubu pratik kural veya deneme yanılma yöntemleriyle, kesin hesaplamalar ve ölçümlerle makine mühendisliği çalışmalarını hız kazandırmıştır. Son olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde 1865-96 yılları arasında ürün fiyatlarında meydana gelen büyük düşüş, maliyetlerinde azaltılmasının gerekliliğini ortaya çıkarmış ve üçüncü fikir grubu oluşmuştur. Bu sebeplerden Amerika'da tasarlanıp 1960'lı yıllarda İngiltere'ye getirilen sürekli seri üretim, bir ihtiyaçken zamanla zorunluluk haline gelen maliyetleri düşürmenin yollarını ararken keşfedilmiştir. (Jevons, 1931: 1-3). İkinci endüstri devrimi, bilim ve teknolojinin daha iyi bir yaşam için ileriye giden yol olduğuna ve ilerlemenin birçok yönden bir kader olduğuna dair modern inanç etrafında birleşen insanlık için bir sonraki sistem değişikliği dalgasıdır. Çağın getirmiş olduğu bir gereklilikle girişimciler bilimi üretime uygulayıp, doğrudan bilimin ve mühendisliğin imkânlardan yararlanarak farklı üretim yöntemlerine ulaşmışlardır. (Philbeck ve Davis, 2019: 19)

İkinci endüstri devrimi sırasında ABD her sektörde gelişmiştir. Dünyanın tüm ulusları ikinci endüstri devriminin fırsatlarından yararlanmıştır. İkinci endüstri devrimi sırasında küresel insanlık bilim temelinde gelişmeler yaşamıştır. (Mohajan, 2020: 21) İkinci endüstri devrimi sadece ABD'de değil, İngiltere ve Almanya'da da başlamıştır. Bu değişimin bir diğer önemli rolü de Japonya tarafından üstlenilmiştir. Japonya'da devrim hükümet tarafından desteklenmiş ve toplumun her seviyesi planlı bir şekilde yönlendirilerek bu süreçten güçlü ve zengin çıkmıştır. (Sabo, 2015:3).

Endüstri devrimi gerçek çalışma yöntemlerini değiştirmemekle birlikte daha yüksek üretim düzeylerine yol açmaktan ziyade, kitlesel toplumsal değişime yol açan asıl iş sürecini hızlandıran teknolojilerin icadıyla gerçekleşmiştir. İkinci endüstri devrimi, yirminci yüzyılın ilk on yılında, elektrikle iletişimin yağla çalışan içten yanmalı motorlarla yakınsamasıyla meydana gelmiştir. (Rifkin, 2011: 200) Dünyanın dört bir yanına gönderilen mesaj, İngiltere'de erken sanayileşmenin uluslararası önemi, buhar motorunun önemi ve çiftçilerin fabrika işçilerine dönüşmesiyle meydana gelen geniş toplumsal değişim olmuştur. (Palmer, 2012: 79) İkinci endüstri devrimi, birincisinin çok sınırlı ve yerelleşmiş başarılarını daha geniş bir yelpazedeki faaliyetlere ve ürünlere genişletmiştir. Bu dönem belli başlı alanlarda

bilimsel bilginin teknolojik hayata uygulanmasıyla gerçekleşen bir dönem olmuştur. Bu dönemde enerji, malzeme, kimyasal maddeler ve ilaç alanındaki büyük çığır açan icatlar gerçekleşmiştir. Bu icatlar üretimin kendisi üzerinde büyük bir etkiye sahip olmaları nedeniyle değil, mikro yaratıcı faaliyetlerde araştırma ve geliştirmenin etkinliğini arttırmaları nedeniyle önem arz etmiştir. (Mokyr & Strotz, 1998: 1-2)

Her yeni bilginin, teknolojinin gelişimine katkısı ve bununda ortaya çıkan ürün hareketlerinin devamını getirdiği açıktır. Teknoloji, bilgi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Simon Kuznets, 30 yıldan daha uzun bir süre önce tartışıp, modern ekonomik büyümenin faydalı bilginin büyümesine bağlı olduğunu söylemiştir. (Kuznets, 1965'den aktaran Mokyr, 1998: 1) Faydalı bilginin teknolojik ilerlemeye katkısının olduğu kadar teknolojinin de bilime hatırı sayılır geri bildirimi vardır. Yeni icatlar ışığında bilimsel düşüncenin yeniden odak noktası olması, bilimsel gerçekleri ve düzenlilikleri kayıt altına almak önemli bir husus haline gelmiştir. Bunun yanı sıra hipotezleri sınamak için daha iyi araçlar ve ekipmanlar yaratan teknolojiyi, yeniden şekillendirme bir amaç olmuştur. İlk endüstri devrimi ve bundan önceki teknolojik gelişmeler çok az bilimsel bir temele sahipti. 1850 yılına kadar mühendislik, tıp teknolojisi ve tarım, uygulamalı bilginin pragmatik organlarıydı, ancak nadiren neden çalıştıkları anlaşılmıştır. Bu, çoğu zaman insanların hangi şeylerin işe yarayıp yaramadığını bilmediği anlamına geliyordu. Bu bağlamda 1870 sonrası icatların kendisinden öncekinden farklı olduğu görülmüştür. 1859-1873 dönemi, tarihteki yeniliklerden en verimli ve en yoğun olanları olarak tanımlanmıştır. (Mowery ve Rosenberg, 1989, s. 22'den aktaran Mokyr & Strotz, 1998: 2) Ancak bu dönemdeki teknolojik yenilikler, 18. yüzyılın sonlarında İngiltere'de daha önce olanlarla tarihsel bir süreksizlik anlamına gelebilecek derecede dönüşüm getirmiştir, dahası sosyal dönüşüm süreci, nihayetinde 19. yüzyılın ikinci yarısına kadar çözülmeyen bir süreç olmuştur. (Palmer, 2012: 87) İkinci endüstri devrimi, bilim ve teknoloji arasındaki karşılıklı geri bildirimleri hızlandırmıştır. On dokuzuncu yüzyılın üçüncü çeyreğinde teknolojik ilerlemenin sürekliliği ve hızlanması giderek artan bir şekilde yararlı bilgi birikiminden kaynaklanmıştır. Sonuç olarak, ikinci endüstri devrimi, birincisinin çok sınırlı ve yerelleşmiş başarılarını daha geniş bir yelpazedeki faaliyetlere ve ürünlere genişletmiştir. Yeni teknolojiler daha önce hiç olmadığı kadar orta kesim ve işçi sınıfının günlük yaşamlarına ulaşmış ve yaşam standartları ve paranın satın alma gücü hızla artmıştır.(Mokyr & Strotz, 1998: 2)

İkinci endüstri devrimine ABD endüstri devrimi de denir. Taylor'un 1911 yılında yayınladığı ünlü Bilimsel Yönetim İlkeleri adlı eseri, ikinci endüstri devriminin kesin bir ivmesini başlatır. Taylor fikirlerinin yanı sıra, refah çalışması ve endüstriyel tükenmişlik araştırmaları, mühendislik ve diğer endüstrilerde büyük bir ivmeyle genel kabul görmüştür. (Jevons, 1931: 3). Bilim temelinde geliştirilen endüstriyel alandaki çabalar ekonomik refah ve üretkenliğin artmasına yöneliktir. Bu amaçla ikinci endüstri devriminde elektrik, içten yanmalı motor, kimya endüstrisi, petrol ve diğer kimyasallar, kağıt, elektrik iletişim teknolojileri (telgraf, telefon ve radyo), iç mekan su tesisatı ile akan su vb. gibi icatlar ve yenilikler bilimle temellenmiştir. Birinci Endüstri devrimi ile kıyaslandığında daha hızlı bir şekilde bilimsel düşünce, sanat ve kültür, mimari, yaşam tarzı vb. sosyal alanlarda değişim yaşanmıştır. (Mohajan, 2020: 4-5)

İkinci endüstri devriminin getirdiği en önemli yeniliklerden biri elektrik olduğu daha önce belirtilmişti. Elektrik de ekonomik sorunları çözmek için tamamen yeni bilgilerin kullanıldığı bir alan olmuştur. Bu süreçte, elektrikle çalışan ilk üretim bandı kullanılmıştır. (TOBB,2016:17). Dane Hans Oersted ve Amerikalı Joseph Henry gibi bilim adamlarının bilimsel keşiflerine dayanarak, 1821'de Michael Motorday, 1821'de elektrik motorunu ve 1831'de dinamoyu icat etmiştir. Telgraf, demiryolları ile birlikte, biçimlendirilmesi gereken ayrı icatların bir kombinasyonu olan teknolojik bir sistemin erken gerçekleşmiş bir örneği olmuştur. Bilim ve teknoloji arasındaki bu yakın işbirliğinde telgraf, açıkça ikinci nesil bir teknolojiydi. Elektrik kullanımı 1870'lerde hızlı bir şekilde genişlemiştir. 1879'da Berlin fuarında minyatür bir elektrikli demiryolu sergilenmiş, 1884'lerde Frankfurt ve Glasgow'da elektrikli tramvaylar çalışmıştır. Demiryolları ve elektrik gücü ile birlikte makinelerin kabiliyetleri sayesinde bir yerden diğerine büyük miktarlarda mal temin etme imkanı üretim hattı oluşumunu ve seri üretimin kullanımı sağlamıştır. Seri üretimin en çok bilinen örneklerden biri, Henry Ford'un 1910'ların sonlarında seri üretim tekniklerini uygulayan Ford Motor Şirketi olmuştur. (Mokyr & Strotz, 1998: 6-10)

İkinci endüstri devriminin getirdiği sonuçlar kısaca şöyledir: Üretim organizasyonunun doğası değişmiştir. Kimya endüstrisinde özellikle imalatla ölçek ekonomilerinin kullanımıyla maliyet düşmüş, petro rafine ve türev ürünlerin önemi artmış, ölçek ekonomileri seri üretimi gündeme getirmiştir. Değişen üretim teknolojileri sayesinde endüstriyel sistemlerin verimlerinde yükseliş artmıştır. İkinci

endüstri devrimi büyük ölçek ekonomileri kullanımını sağlamış, bazı endüstrilerde de büyüme ivmesi yakalanmıştır. (Hughes, 1983'den aktaran Mokyr & Strotz, 1998: 2). 1870-1914 yılları arasında teknolojiadaki en önemli gelişmeler arasında İngiltere'de demir çelik endüstrisinin kurulması, Almanya'da kimyasal ürünlerin, Amerika'da 1869'da kauçuk ve sentetik plastiğin bulunuşu ve sentetik malzemede atılımın yine bir Amerikan tarafından 1907'de gerçekleşmesi bir kez daha, bilim ve teknolojinin sıçrayan bir şekilde ilerlemeye devam etmesini sağlamıştır. (Mokyr & Strotz, 1998: 2-13).

İkinci endüstri devriminin diğer yenilikleri arasında başlıkları halinde ulaştırma, üretim mühendisliğinin gelişmesi, tarım ve gıda sektöründeki yenilikler yer almaktadır. Her bir yeniliğin ekonomik hayatta meydana getirdiği olumlu etki çok önemlidir. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) profesörleri Erik Brynjolfsson ve Andrew McAfee, 2014 yılında yayınladığı kitabında bu dönem için meydana gelen teknolojik gelişmelerin insanlık sürecinde ani keskin ve durdurulamaz bir patlamaya sebep olduğunu belirtmiştir. (Brynjolfsson ve McAfee, 2014, 6). 1900'lü yılların başlarında gelirlerin arttığı, çalışma saatlerinin yavaş yavaş azaldığı, bazı sosyal sigorta biçimlerinin ortaya çıktığı, beslenme ve barınakların yavaş yavaş geliştiği, açıkça yaşam standartlarının yükseldiği görülmüştür. Demografiden elde edilen istatistiksel kanıtlar bu durumu kanıtlamaktadır. Fransa'da 1870 ve 1914 arasında bebek ölüm oranı yaklaşık % 50 azalmıştır.. Fransa'da bu oran 1870'te binde 201'den 1914'te 111'e düşmüştür. Almanya'da ise bu oranlar 298 ve 164 olarak gerçekleşmiştir. Ortalama yaşam süresi İngiltere'de yaklaşık 40 yıldan 50 yıla çıkmıştır. (Özdoğan, 2017: 22). Ölüm oranlarındaki düşüş ve yaşam beklentisinin artması kısmen gelirlerin artmasından kaynaklanmıştır. Teknolojik gelişmeler ile insanlar daha yüksek gelir elde ettikçe daha fazla ve daha iyi yiyecek alabilmiş, daha az sıkışık ve daha iyi ısıtılmış konutlarda yaşayabilmiş, daha iyi kıyafetlere sahip olabilmiş, akan suya, kanalizasyona ve tıbbi bakıma erişim kolay hale gelebilmiştir. İkinci endüstri devrimi, gerçek ücretlerin yaşam standartları üzerinde doğrudan etkisinin olması ve teknolojik liderliğin coğrafi odağını İngiltere'den uzağa, daha da dağılmış bir bölgeye kaydırmasıyla birinci endüstri devriminden ayrılmıştır. (Mokyr & Strotz, 1998: 2-13)

Endüstri devrimi ilerledikçe ülkelerde de ekonomik büyüme görülmüştür. 1900'lü yıllarda dünya ekonomisinde en büyük pay %24 ile İngiltere'de ilk sıradayken, sırasıyla %19 ile Amerika, %13 ile Almanya, %9 ile Rusya ve %7 ile

Fransa yer almıştır. Avrupa %62 ile endüstri devrimin öncüsü olmuşken 1913 yılında Amerika üretimde dünyanın 1/3'üne sahip olmuştur. (Özdoğan, 2017: 22).

1.1.1.3. Üçüncü Endüstri Devrimi ve Etkileri

Üçüncü endüstri devrimi, sürdürülebilir kalkınmayı ve iklim hedeflerine ulaşılmasını sağlayacak enerji teknolojilerini bulma ihtiyacına ilişkin gelişmiş farkındalıkla gerçekleşmiştir. (Glasnovic ve diğerleri, 2016: 1195) İkinci endüstri devriminde keşfedilen icatlara ve kullanılmaya başlanan yeni teknolojik makinelere ek olarak üçüncü endüstri devriminde dijital devrim gerçekleşmiştir. Özellikle 1950'li yıllardan sonra bilişim ve bilgi bilimi alanında sıçrama yapan yenilikler oluşmuştur. (Özdoğan, 2017: 24). 1960'lı yıllarda dijitalleşmeyle birlikte artan sanayileşmenin yaratmış olduğu refah toplumu ve tüketim toplumu doruk noktasına ulaşmıştır. Ancak bu sıçramanın öncesinde teknolojik inovasyonu tetikleyen bazı gelişmeler yaşanmıştır. Refah toplumunun en önünde yer alan ABD ve Batı Avrupa ülkelerinde 1967 yılında ekonomik durgunluk ve kriz baş gösterirken, 1973'te Dünya Petrol Krizi ortaya çıkmıştır. 1972 yılında Meadows'larla birlikte çalışan bir ekip Büyümenin Sınırları adlı bir çalışma yayınlamış ve çalışmada nüfus ve endüstri üretiminin sabit hızla artacağı ve hammadde ihtiyacının artacağı ve nihayetinde tükenebileceği vurgulanmıştır. Petrol krizinin yarattığı etkiyle oluşan sıkıntıları aşma çabası, Batı Bloğunda yeni teknolojileri arama ve uygulama için bir fırsat yaratmıştır. Oluşan toplumsal sorun ve krizler, yeni teknolojileri ve yeni organik bilgiyi kullanmak için uygun bir ortam ve fırsat oluşturmuştur. (Erkan, 1993: 9-10) Bu ekonomik kriz ve doğan ihtiyaçlar neticesinde de 1960'ların sonlarında, 1970'lerin başında, programlanabilir mantık kontrol sistemleri olarak bilinen bilgisayar ve elektronik alanındaki gelişmeler ışığında artan verimlilik ve iyileştirmelerle birlikte üretimin giderek daha fazla optimize edilmesi ve otomatik hale getirilmesi üçüncü devrimin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Yeşil teknolojilerden yararlanılarak enerji bağımsızlığı dünyası oluşturmak için üçüncü endüstri devriminin işaretlerini hazırlandığı ve bu devrimin birinci ve ikinci endüstri devrimlerinin çok ötesinde olduğu ortaya çıkmıştır. İki yüz yıl boyunca, bu öncüler şirketler sınırlamasında kalmış ve bu perspektifle ekonomik ve politik manzaraya hakim olmuştur. Teknolojik gelişmeler var olan merkezi ve hiyerarşik kurumsal güç tarafından karakterize edilmiştir. Üçüncü endüstri devrimi

yeni yapılandırılmış teknolojik ve dijital düğümler arasında güç kazanarak ve toplumlar arasında organize olarak ortaya çıkmış ve yayılmıştır. (Rifkin, 2011: 199-200) Endüstri 4,0'a zemin hazırlayan üçüncü endüstri devrimi, elektronik ve bilgi teknolojisinin üretim otomasyonunda kullanımıyla gerçekleşmiş ve yaygın bir dijitalleşme dalgası üçüncü devrimde gerçekleşmiştir. (Schmidt ve diğerleri, 2015'den aktaran Müller ve diğerleri, 2018: 4). Üçüncü endüstri devriminin gerçekleştiği yıllarda fabrikalarda dijital mantık devreleri ve bu devrelere dayanan bilgisayarlar ve internet gibi teknolojileri kullanılmaya başlanmıştır. Bu dijital devrim aynı zamanda bilgi çağında temellerini oluşturmuştur. Dijital devrim ile ortaya çıkan üretim süreçleri ve karmaşıklığı, tüm endüstriyel üretim işlemlerinin yaklaşık yüzde 90'ında uygulanan bilgi ve iletişim teknolojisi (BİT) yardımıyla yönetilebilmiştir. (Kagermann, Wahlster, ve Helbig, 2013, s. 13) Bu dijitalleşme dalgası, endüstri 4.0 ve siber fiziksel sistem tabanlı ürünler ve makineler gibi akıllı nesnelerin tanıtımı için uygun ortamı yaratmıştır. (Lasi ve diğerleri, 2014:4) Bu nedenle, endüstri 4.0 ve dijital ve fiziksel teknolojilerin yakınlaşması üçüncü endüstri devrimine ve bu endüstrileşme aşamasındaki gelişmelere dayanmaktadır. (Maynard, 2015:1004-1005). Tüm bu gelişmeler, bilgi teknolojisinin şimdi ve üretimin geleceğinde öncü bir rol oynayacağını göstermektedir. (Sabo, 2015: 7) Endüstri devrimi içerisinde bilgi çağında yaşanan gelişmeler, yeni teknolojilerin üretimi ve yaşam biçimimizi değiştirmesi, bu çağın dönüşümünün çok hızlı olduğu sonucunu doğurmuştur. Sanayi toplumundan bilgi toplumuna dönüşümün çok daha hızlı gerçekleşmesinin temel nedeni; yeni teknolojilerin gelişme hızı ile insanların bu teknolojilere uyum esnekliğinin yüksekliğinden kaynaklanmıştır. Üçüncü endüstri devrimi sürecinde insanlık, birinci ve ikinci endüstri devrimleri sürecine göre teknolojik yenilikler konusunda daha bilinçli hale gelmiş ve daha geniş olanaklara sahip olmuştur. (Erkan, 1992: 11)

M.U. Porat, 1978'de ABD'nin bir bilgi toplumu olduğunu belirterek şöyle ifade etmiştir: 1967'de ABD sosyal hasılasının %25'i bilgi-iletişim mal ve hizmetlerinin üretim, işleme ve dağıtımından kaynaklanmıştır. 1970'te çalışanların yaklaşık yarısı "bilgi işçisi" olarak adlandırılmıştır. Bunlar toplam işgücü gelirin %53'ünün üzerinde bir pay almıştır. (Porat, 1978: 29'dan aktaran Erkan, 1992: 71) 1977 yılında ise ABD milli gelirin yaklaşık yarısı bilgi sektöründen kaynaklanmıştır. 1990'lı yıllarda ise Naisbitt ve Aburdene temelinde bilgi işlem veya kısaca bilişim teknolojisi yer alan çağ; insanlık tarihinde akıllara durgunluk veren

bir teknolojik yenileme, benzeri görülmemiş ekonomik olanaklar ve şaşırtıcı siyasi gelişmeler ile kültürel varoluşlardan dolayı 2000’li yılları büyük yönelimler çağı ilan etmişlerdir. (Naisbitt ve Aburdene, 1990: 11’den alan Erkan, 1992: 72)

Üçüncü endüstri devrimi ve bilgi çağının getirmiş olduğu teknolojik değişimin temelinde yenilikçi ve yaratıcı bir toplum yatmaktadır. İnsan beyninin yerine geçmeye çalışan akıllı bilgisayarlar üretme çabaları mikrobiyolojide insan beyninin yapısına kadar uzanan yenilikler, uzayla ilgili gelişmeler, güneş sistemi dışında evren arayışları gibi bilimsel gelişmeler, teknolojik yeniliklere dayalı olarak üretilen yeni makineler, elektronik iletişim, uzay araçları, otomobil ve tıp alanındaki gelişmeler üçüncü endüstri devriminin yeniliklerinin ötesine geçip bilgi çağını yaratmış ve dördüncü endüstri devriminin temelini oluşturmuştur. Günümüzde popülerliğini arttıran ve temelleri üçüncü endüstri devriminde atılan bir diğer teknolojik yenilik yapay zeka olmuştur. Bilgisayar sistemlerinin gelişmeye başladığı 1960’lı yıllarda ortaya çıkan derin öğrenme ve makine öğrenmesine dayanan yapay zeka veri kümelerinin işlenmesini de kolaylaştırmıştır. Yapay zeka ile karmaşık veriler algılanıp büyük sistemlerin davranışları tahmin edilip son derece hassaslık gerektiren büyük fiziksel sistemlerin uygulanması ve kontrolü sağlanmıştır. (Öztürk ve Ateş, 2021: 36). Bilgisayarlar ile yapay zeka, bilgi işlem ve üretim tasarımlarının gerçekleşmesiyle otomobil, uçak ve mühendislik harikalarının ortaya çıkması, bilimsel bilginin teknolojiyle buluşmasıyla oluşmuştur. Örneğin bu teknolojiler ile insansız hava araçları ile sipariş, zark küçük paket taşınması gerçekleşmekte ve günümüzde adrese teslim uygulamalarında artışlar yaşanabilecektir. İlk programlanabilir akıllı kontrol cihazı (PLC) Modicon 084 bilgisayar ve yapay zeka ile üretilen tanıtılan cihazlardan biri olmuştur. (TOBB,2016:17). 1980’li yıllarda görüntü sentezlemeyle tıp, kimya, jeoloji ve diğer bilim dallarındaki teknolojik gelişmeler, CD-ROM üretimi, iletişim teknolojileri temelinde mikro elektronik gelişmeler, robotlar, biyoteknolojik gelişmeler üretimde etkinlik ve verimliliğin de artmasını sağlamıştır. (Erkan, 1992: 73-84)

Tablo 1: Gelişmiş Kapitalist Ülkelerdeki Teknolojik Devrimlerin Özellikleri

Dönem	Sınai teknolojik devrimin ve teknolojinin ismi	Otomasyon derecesi	Bilimle Bağlantılılık Derecesi	Araştırma yoğunluğu derecesi	Baskın nitelikler ve yenilikler	Temel Motive edici güç	Öncü sektörler ve ülkeler
1760-1860	*İlk devrim, Erken-modern teknoloji	Düşük	Düşük	Neredeyse sıfır	*Sanat-zanaat, *usta-zanaatkar, *Yaratıcı makine işçisi, *Bireysel mühendis	*Buhar	Tekstil ve Demir çelik, İngiltere
1860-1960	*İkinci Devrim, *Standart Modern Teknoloji	Vasatın Üstü	Vasatın Üstü	Vasatın Üstü	Mühendis ve bilim adamı, Arge departmanı	*Buhar, *Elektrik, *Petrol	* Çelik, demiryolu donanımı, Otomobil, Kimya, elektrik Donanımı, Sentetik ve Tekstil. *ABD, Almanya, Fransa, İngiltere
1960 sonrası	*Üçüncü Devrim *Yüksek-Modern Teknoloji	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	*Bilim Adamı *Tasarım Mühendisi *Sistem Mühendisi *Sistem Uzmanı * Ar-Ge Derartmanı	*Petrol, *Elektrik, *Nükleer Reaktör	*Telekom, Uçak Teknolojisi, *Bilgisayar, *Mikro Elektronik, Enformatik, *Biyo- teknoloji, * Yeni Metaller, (fiber optik gibi) Japonya ve ABD.
2011 Sonrası	*Dördüncü devrim *Endüstri 4.0	Maximum	Maximum	Maximum	*Siber Fiziksel Sistemler (CPS), *Nesnelerin İnterneti (IoT) ve *Büyük Veri, *Yapay zeka, *Akıllı fabrikalar (Sabo, 2015: 4-7).	*Teknoloji, *Bilgi Teknolojisi, *inovasyon, *Dijital endüstriyel teknolojiler ve *Veri Bilimi. (WEF ve McKinsey& Company, 2018)	*Genel olarak İmalat sektörü (otomotiv, makina, beyaz esya, tekstil, kimyasallar, gıda, sanayileri) robotlar, *Bilgisayarlar, Dijital Makineler, *2011 Almanya, 2012-2013 yılları arası ABD, İtalya ve Fransa daha sonraki yıllarda Asya ülkeleri(Güney Kore, Japonya ve Çin)(WEF ve McKinsey& Company, 2018:20)

Kaynak: Bhagavan, 1990, s.22'den aktaran Soyak, 2017, s. 73¹.

Gelişmiş kapitalist ülkelerdeki teknolojik devrimlerin dönemleri ve özellikleri Tablo 1’de özet şeklinde belirtilmiştir. Endüstri 4.0’ın söze döküldüğü 2011 yılı ve sonrasında otomasyonun, bilimin, araştırma yoğunluğu derecesinin maksimuma olduğu sonucuna varılmıştır. Bir sonraki bölümde açıklanmış olan dördüncü endüstri devriminin baskın nitelikleri arasında siber fiziksel sistemler (CPS), nesnelerin interneti (IoT), büyük veri, yapay zeka, akıllı fabrikalardır. Son endüstri

¹ Tablo 1’in 2011 ve sonrası bölümü tarafımda eklenmiştir.

çağında öncü sektörlerin ise genel olarak imalat sektörü (otomotiv, makina, beyaz esya, tekstil, kimyasallar, gıda, sanayileri) robotlar, bilgisayarlar, dijital makinelerdir. Bu aşamada öne çıkan ülkeler ise 2011 yılında Almanya, 2012-2013 yılları arası ABD, İtalya ve Fransa daha sonraki yıllarda Asya ülkeleri (Güney Kore, Japonya ve Çin) gelmektedir. (WEF ve McKinsey& Company, 2018:20)

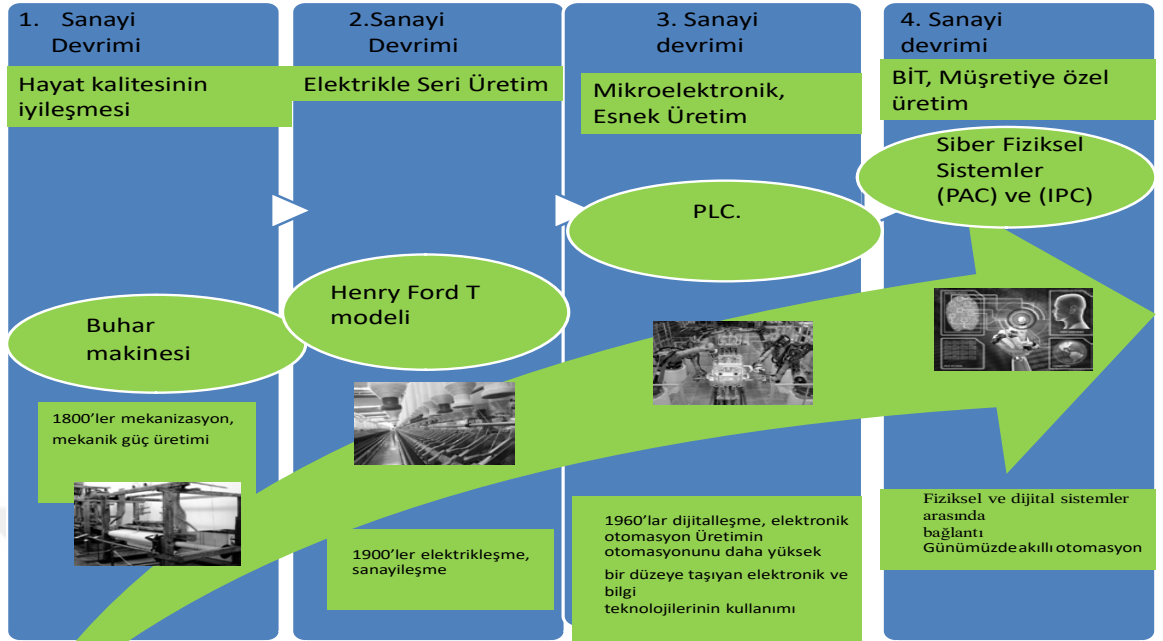
1.2. ENDÜSTRİ 4.0'IN DOĞUŞU VE ÖNEMİ

1.2.1. Endüstri 4.0'ın Doğuşu ve Konusu

Endüstri 4.0'ın temeli Almanya'da atılmış ve Almanya'da ifade edilmiştir. Endüstri 4.0 terimi, imalat sanayinin uzun vadeli rekabetçiliğini korumak için Alman hükümeti tarafından başlatılan bir inisiyatiften türetilmiştir. Endüstri 4.0, geleneksel olarak endüstriyel sektörün gelişimini büyük ölçüde destekleyen Alman hükümetinin stratejik bir girişimidir. Bu anlamda, endüstri 4.0, Almanya'nın makine ve otomotiv üretiminde en etkili ülkelerden biri olarak konumunu korumasına yönelik bir eylem olarak görülebilir. Bu doğuşun gerçekleşmesinde teknolojik gelişmişliğin ve inovatif düşüncenin önemi göz ardı edilemeyeceği bir gerçektir. (Kagermann ve diğerleri, 2013: 5)

Endüstri 4.0 kendi kendine ortaya çıkmış bir gelişim değil, temelleri önceki devrimlere dayanan ve insan ihtiyaçları doğrultusundaki icatlar ile temelleri atılmış bir süreçtir. Teknolojik devrimler, ilk devrimden günümüze kadar icat edilen buhar makinesi, elektrik, makineli seri üretim, bilgi endüstrisiyle dijitalleşme ve son aşamada ortaya çıkan siber fiziksel sistemlere kadar birbirine bir zincirle bağlı halkalardan oluşmaktadır. Teknolojik gelişmeler, endüstri devrimi'nin başlangıcından bu yana endüstriyel üretkenlikte önemli artışlar sağladı. Şekil 2'de endüstri devrimlerinin aşamaları belirtilmektedir.

Şekil 2: Endüstri Devrimleri Aşamaları



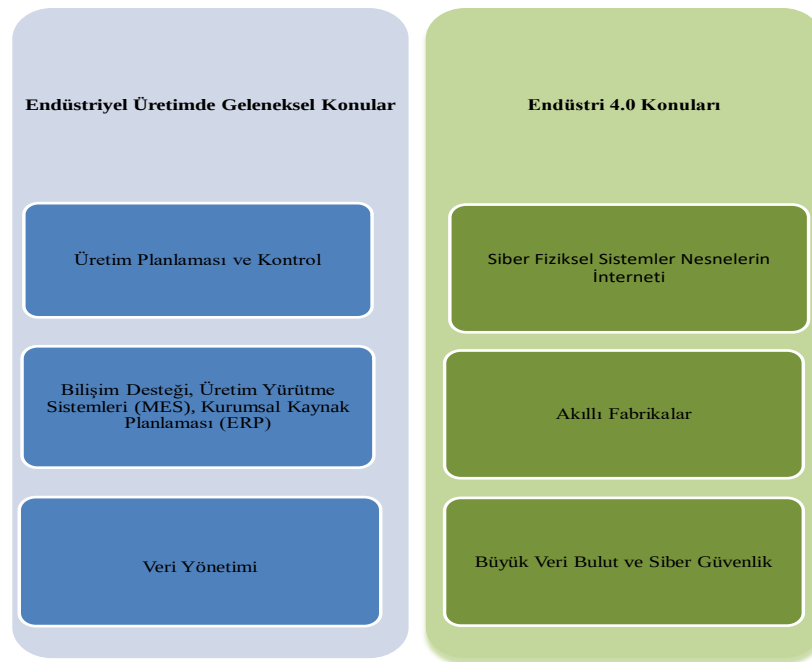
Kaynak: Rojko, A. (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *Special Focus Paper*. 11(5). 79'dan yararlanarak tarafımda oluşturulmuştur.

18. yüzyılın sonlarında buhar motoruyla çalışan fabrikalar kurulmuş, makinelerle üretim başlamıştır. 19. yüzyılın sonları ve 20. yüzyılın başında ise ivme kazanan ikinci endüstri devrimi ile elektriğin ve montaj hattının sağladığı makinelerin daha verimli kullanılmasıyla seri üretim mümkün olmuştur. Böylece üçüncü endüstri devrimi ile 1970'lerdeki endüstri, bilgisayar ve dijital dünya ile birleşerek mükemmel bir hıza ulaşıp otomatikleşmiştir. (Özdoğan, 2017: 25) Takip eden yıllarda, üçüncü endüstri devrimiyle endüstriyel teknolojik ilerlemeler, özellikle bilgi teknolojileri (BT), mobil iletişim ve e-ticareti dönüştüren atılımlar kademeli olarak yükselmiştir. Üçüncü endüstri devrimin özelliğine giren Programlanabilen Akıllı Kontrolör (PLC) dördüncü endüstri devriminde yerini benzer özelliklerin dışında çok daha esnek kabiliyetlere sahip Programlanabilen Otomasyon Kontrolörü (PAC) ve Endüstriyel PC'lere (IPC) yani aşırı sıcaklık, toz, nem, titreşim, enerji dalgalanmalarına dayanacak şekilde tasarlanmış bilgisayarlara bırakmıştır. (TOBB,2016:18).

Dördüncü endüstri devrimiyle birlikte yeni ve diğer devrimlerden çok farklı bir teknolojik ilerleme dalgası gerçekleşmektedir. Endüstri 4.0, mevcut olanlardan tamamen farklı olarak, yeni nesil endüstriyel üretim sistemlerinin önünü açacak yıkıcı bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Dördüncü endüstri devrimi,

gerçekleştikten sonra değil, önceden ilan edilen ilk endüstri devrimi olduğu için daha yakından incelenmesi gerekli endüstri devrimi olmuştur. Öte yandan, endüstri 4.0, dijitalleşme eğiliminin tetiklediği sınai üretim sistemlerinin doğal bir dönüşümü olarak algılanabilir. Bu hipotez, endüstriyel üretim sistemlerinde geleneksel konuların ve Şekil 3’de gösterilen endüstri 4.0 konularıyla karşılaştırılmasıyla desteklenmektedir. Temel soruların ve sorunların gerçekte değişmediği, değişenin; inovasyonla değişen teknolojinin olduğu yani yeniliğin uygulamaya geçmesidir. (Rojko, 2017: 88) Şekil 3’de endüstri 4.0’ın başlı başına konusunun farklılaştığı, geçmiş üretim sistemlerinin dönüşümünü sağlayan teknolojiler yer almaktadır. Endüstri 4.0’ın en önemli teknoloji ayağı siber fiziksel sistemlerle başlayıp, akıllı fabrikalar, büyük veri ve siber güvenlikle devam etmektedir. Endüstri 4.0’ın konuları bu kadarla sınırlı olmamakta endüstri 4.0’ın unsurları başlığı altında ayrıntılı açıklanmaktadır.

Şekil 3: Geleneksel Endüstriyel Üretim Konuları İle Endüstri 4.0 Konularının Karşılaştırılması



Kaynak: Rojko, A. (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *Special Focus Paper*. 11(5). 88’den yararlanarak oluşturulmuştur.

Dördüncü endüstri devrimi dijital devrim üzerinde yükselmektedir. Devrimin karakterini üçüncü endüstri devriminden çok daha yaygın kullanılan mobil internet, ucuzlayan daha küçük ama daha güçlü sensörler ve yapay zeka ile makine öğrenmesi

oluşturmaktadır. Massachusetts teknoloji enstitüsü (MIT) profesörleri Erik Brynjolfsson ve Andrew McAfee, 2014 yılında yayınladığı kitabında bu çağdan ikinci makine çağı olarak bahsetmişler ve dünyanın bir dönüm noktasında olduğunu ve dijital teknolojilerin etkisinin otomasyon vasıtasıyla tüm gücünü ortaya koyup benzeri görülmedik gelişmelere yol açacağını ileri sürmüşlerdir. (Brynjolfsson ve McAfee, 2014, 4-6)

1.2.2. Endüstri 4.0'ın Önemi

Endüstri 4.0, teknolojide meydana gelen hızlı dönüşümün, dijitalleşmeyle sistemlerin bütünü ve ülke yapılarını dönüştüren ve toplumun her alanını etkilemeye aday süreçler bütünüdür. Endüstri 4.0'ın önemi de bu hızlı dönüşümden gelmektedir. Bu sürece çok hızlı adapte olan ülkelerin öncelikle ekonomik açıdan olmak üzere toplumsal kalkınmışlığının artacağı beklenmektedir.

Üretim aşamalarında bilişim sektörünün artan oranda yer almasını ifade eden bu süreç, artan arge yoğun teknolojilerin uygulanmasıyla ve akıllı fabrikaların artmasıyla daha da başarıya ulaşacaktır. Endüstri 4.0'dan ilk kez 2011 yılında Hanover Fuarı'nda bahsedilmiştir. O zamandan beri, Alman hükümeti bu terimi aldı ve onu Almanya'nın işleri için bir strateji projesine dönüştürdü. (Sabo, 2015: 4). Önceki gerçekleşen devrimlerde temelleri atılan ve Almanya'da söze dökülmeden çok önce gerçekleşmeye başlayan endüstri 4.0'ı yakalayabilmek için bazı uygulamaların gerçekleşmesi gerekmektedir. Endüstri 4.0'ı yakalamayı amaçlayan tüm ülkeler de gerek kamu sektörü gerekse özel sektör yeterince bilinçlendirilmeli ve bu doğrultuda yeterince kaynak aktarımı sağlanmalıdır. Bu konuda bilinçlenen ve hem finansal hem de sosyal açıdan destek gören bir toplum, bilgi teknolojisi ve yenilik konusunda diğer gelişmiş ülkelerle rekabet edebilme noktasına gelebilir.

Davos toplantılarının başkanı ve Dünya Ekonomik Forumu'nun kurucusu ve başkanı Klaus Schwab 4. endüstri devrimini hakkında şu ifadeyi kullanmıştır: “Benim dördüncü endüstri devrimi olarak gördüğüm şey; ölçeği, kapsamı ve karmaşıklığı bakımından insanlığın daha önce yaşadıklarının hiç birine benzemiyor.” Ona göre yaşamımızı, çalışmamızı ve birbirimizle olan ilişki kurma biçimimizi kısaca hayatımızı kökten değiştiren bir devrimin içinde bulunmaktayız. (Schwab, 2016'dan çev. Dicleli, 2017: 9)

Endüstri 4.0 ekonomik, politik ve sosyal değerin yaratılması, değıştirilmesi ve dağıtılması biçiminde bir dizi önemli değışimi temsil etmektedir. Toplumsal değerlerdeki bu değışimler, dijital, fiziksel ve biyolojik dünyalara yayılan yeni teknolojilerin ortaya çıkmasıyla yakından ilişkilidir ve birbirlerini birleştirip güçlendirdiklerinde daha da güçlü olmaları beklenir. (Philbeck ve Davis, 2019: 17) Endüstri 4.0'ı oluşturan teknolojik yeniliklerin takibinde geri kalındığı durumda küresel boyutta rekabet edilebilirlik tehlikeli bir hal alabilir. Ülkelerin dünya ekonomisindeki yerinin ve teknolojik gelişim düzeyinin belirlenmesi katma değeri yüksek ürünlerin üretiminden pay alması ve endüstri 4.0 düzeyine ulaşması, ülkelerin büyüme ve gelişmesine çok önemli katkılarda bulunması beklenir. Bu açıdan gelişmekte olan ülkelerin rekabet gücü yüksek ülkeler arasında yer alma hedefini göz önüne alarak ekonomik, beşeri ve sosyal tüm kaynakların organize edilerek endüstri 4.0'ın gerçekleşmesi amacıyla teknoloji üretimi ve inovasyon faaliyetlerine yatırım yapması ve bu yöndeki gelişmelerin yakından takip edilmesi yüksek önem arz etmektedir.

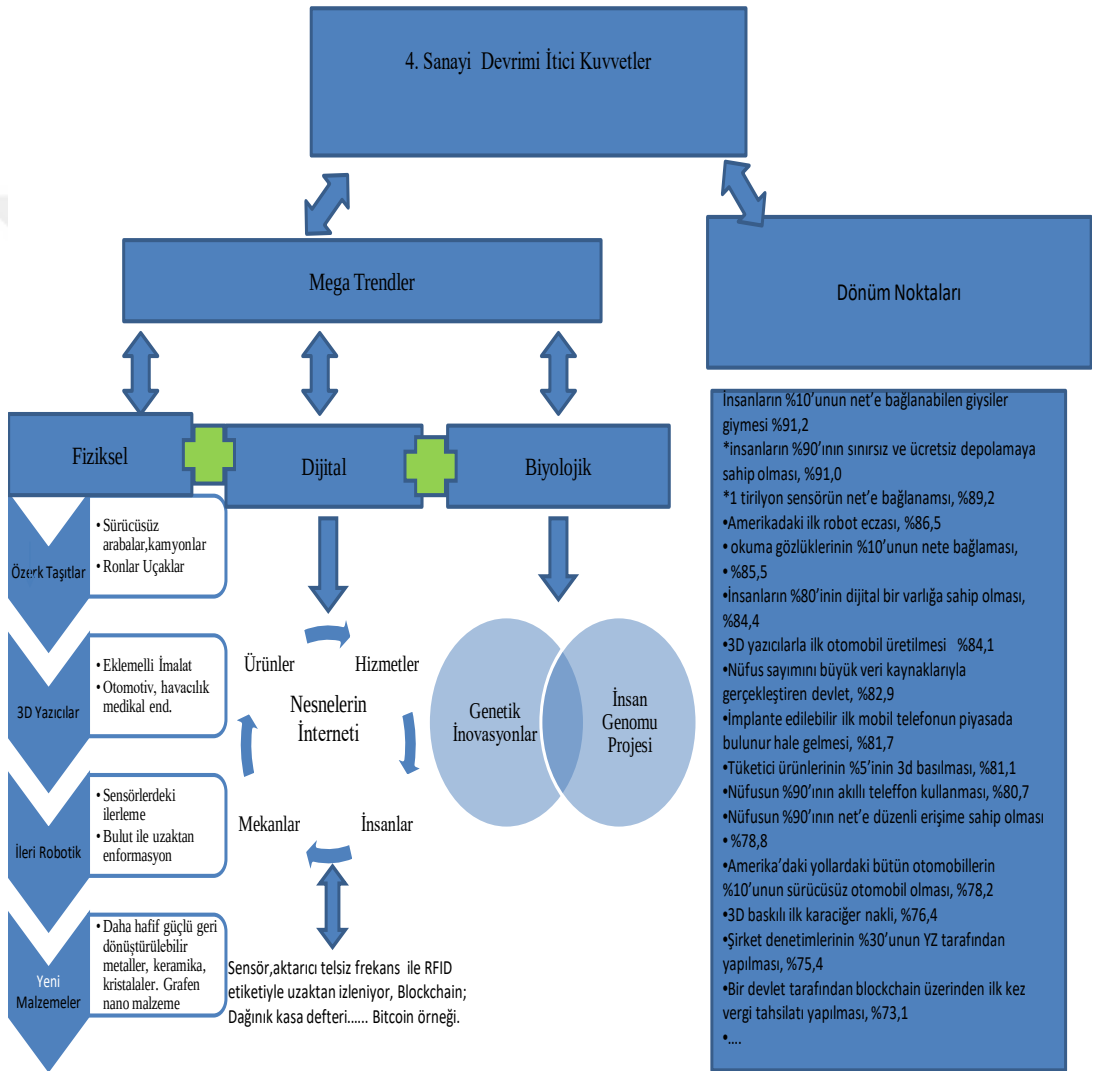
1.3. ENDÜSTRİ 4.0'IN ANA UNSURLARI

Dördüncü endüstri devrimi on teknolojik faktör tarafından şekillenmektedir. Bu on teknolojik faktör nesnelerin interneti, büyük veri, siber fiziksel sistemler, bulut bilişim sistemi, akıllı fabrikalar (robotlar), simülasyon, yatay ve dikey entegrasyon, siber güvenlik, eklemeli üretim ve artırılmış gerçekliktir. Endüstri 4.0'ın temelini oluşturan bu teknolojik ilerlemelerin birçoğu, üretimde zaten kullanılmaktadır, ancak bu faktörlerin endüstri 4.0 ile üretimi dönüştürecekleri beklenmektedir. Bu faktörlerin faaliyet akışı içerisinde tam entegre, otomatik ve optimize edilmiş bir üretim akışı ile bir araya gelerek; tedarikçiler, üreticiler ve müşteriler arasında olduğu kadar insan ve makine arasında da daha fazla verimlilik ve geleneksel üretim ilişkilerinin değışmesine yol açması beklenmektedir. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 4)

Temelinde dönüşümü gerçekleştiren ve ifadeye dökülebilen on teknolojik faktörün yer aldığı dördüncü endüstri devrimi itici kuvvetleri bir şema altında şekil 4'te yer almaktadır. Şekil 4'e göre dördüncü endüstri devriminin fiziksel, dijital ve biyolojik unsurları olduğu; fiziksel ayağında; özerk taşıyıcılar, 3D yazıcılar, ileri robotik makineler yer alırken, dijital ayağında; insan- makine ve makine-makine

iletişimine imkan veren nesnelerin internetinin yer aldığı ifade edilmiştir. Bir diğer itici kuvvet endüstri 4.0'ın biyolojik ayağı olup genetik inovasyonları içermektedir. Endüstri 4.0'ın dönüm noktalarından bazıları da tabloda ter almaktadır ve dönüşümün içerisinde dönüşüm geçirmeye fırsat veren akıllı makinelerin insan hayatında yer almasının uygulamaları verilmiştir.

Şekil 4: Endüstri 4.0'ın İtici Kuvvetleri



Kaynak: Schwab, 2017: 23-36².

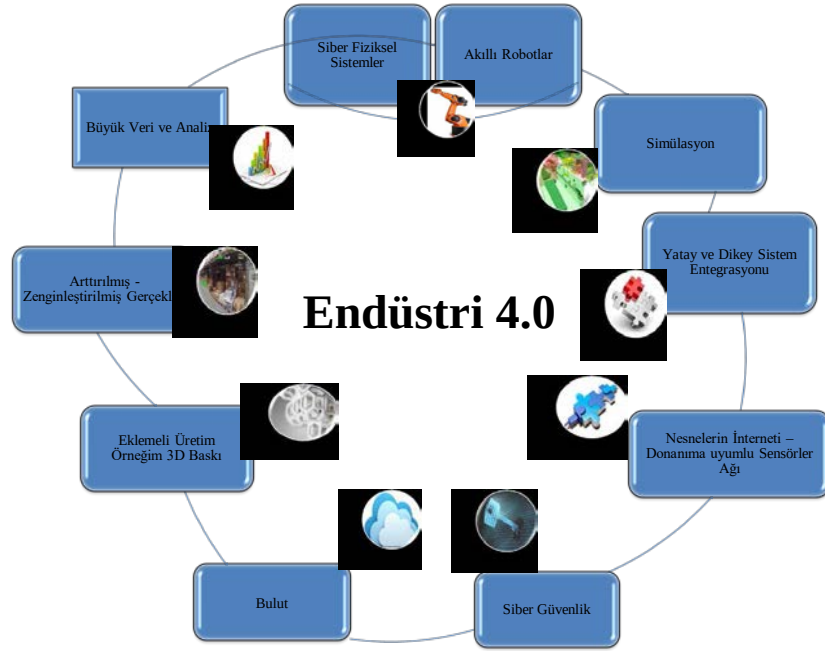
Endüstri 4.0 fiziksel, dijital ve biyolojik küreler arasındaki çizgileri bulanıklaştıran teknolojilerin bir araya gelmesiyle özellik kazanmaktadır. Dördüncü

² Bu tablo Schwab (2017) kitabının 23-36 arası sayfaları referans alınarak tarafımda oluşturulmuştur.

endüstri devriminin diğer devrimlerden ve özellikle üçüncü endüstri devriminden ayrıldığı noktalar; hız, kapsam ve sistem etkisidir. Mevcut buluşların hızının tarihsel bir benzeri yoktur. Önceki endüstri devrimleri ile karşılaştırıldığında, dördüncü endüstri devrimi, doğrusal bir hızda değil, üstel bir şekilde gelişmekte ve her ülkedeki hemen hemen her sektörü etkileyip dönüştürmektedir. Bu değişikliklerin genişliği ve derinliğinin önemi, tüm üretim, yönetim ve yönetim sistemlerinin dönüşümünün habercisi olmasından kaynaklanmaktadır. (Schwab, 2016: 3, Caruso, 2018: 382)

Şekil 5'te görüldüğü gibi endüstri 4.0 içinde endüstri 4.0'ın temel unsurları olan nesnelerin interneti, büyük veri, siber fiziksel sistemler, bulut bilişim sistemi, akıllı fabrikalar (robotlar), simülasyon, yatay ve dikey entegrasyon, siber güvenlik, eklemeli üretim ve artırılmış gerçeklik açıklanmaya çalışılmıştır.

Şekil 5: Endüstri 4.0'ın Temel Unsurları



Kaynak: BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 3.

1.3.1. Siber Fiziksel Sistemler

Siber fiziksel sistemler ve dinamik veri işleme ile değer zincirlerinin uçtan uca bağlandığı teknolojik devrimi ifade etmektedir. Endüstri 4.0 vizyonunu gerçekleştirmek için, makineler, depolama sistemleri ve kamusal hizmet alanlarını da

kapsayan teknik unsurlar; bilgi paylaşımı, birbirlerinden özerk olarak hareket etme ve aynı zamanda birbirlerini kontrol etme özelliklerine sahiptir. Bu tür sistemler siber-fiziksel sistemler (CPS) olarak adlandırılır. (Thoben ve diğerleri, 2017: 4-5). Bu yeni bağlaşıklık sistemler, standart internet tabanlı protokoller kullanarak birbirleriyle etkileşebiliyor ve aynı zamanda hataları öngörmek, parametreler tanımlamak ve değişen şartlara uyum sağlamak amaçlarıyla verileri analiz edebilmektedirler. (TUSIAD ve BCG, 2016: 20)

Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinden biri ve diğer akıllı ürünlerin temeli siber fiziksel sistemlerdir. Siber fiziksel sistemler, algılama, hesaplama, kontrol ve ağ oluşturmayı fiziksel nesnelere ve altyapıya entegre ederek bunları internete ve birbirine bağlayıp karma teknoloji tarafından yönetildiği sistemler bütünüdür. (NSF, 2020) Siber fiziksel sistemlerin gerçekleştirilmesi sayesinde akıllı ürünler ve akıllı fabrikalar inşa edilmekte ve bu da endüstri 4.0'ın temel konseptini oluşturmaktadır. (Jiang, 2018: 1).

Siber fiziksel sistemler, makineler arası hesaplamanın yani fiziksel süreçlerin entegrasyonudur. Gömülü bilgisayarlar ve ağlar, genellikle fiziksel süreçlerin hesaplamaları etkilediği geri bildirim döngüleri ile fiziksel süreçleri izleyip ve kontrol edebilmektedir.(Lee, 2006: 1)

Üretim ortamında, siber fiziksel sistemler, bağımsız olarak bilgi alışverişinde bulunup, eylemleri tetikleyip ve birbirlerini bağımsız olarak kontrol edip, akıllı makineler, depolama sistemleri ve üretim tesisleri içerip, sanal ve fiziksel dünyaların bir araya getirildiği, akıllı makinelerin birbirleriyle etkileşime girip iletişim kurdukları, belirli bir ağa ve birbirlerine entegre bir dünya yaratan teknolojileri etkinleştirmektedir. (Caruso, 2018: 382)

1.3.2.Endüstriyel Nesnelerin İnterneti

Dördüncü endüstri devrimi, akıllı fabrikaların dikey ve yatay olarak entegre üretim sistemleri ile üretimini mümkün kılan nesnelerin interneti (IOT) ve hizmetlerin interneti kavramlarının üretime sokulması şeklinde ifade edilebilir. (Thoben ve diğerleri, 2017: 4) Nesnelerin interneti, uygulamaların ve hizmetlerin, sensör gibi davranan ve fiziksel dünyayla ara yüz oluşturan cihazlardan toplanan veriler tarafından yönlendirildiği bir ekosistemi ifade etmektedir. (OECD, 2017: 19). IOT ile ilgili kurumsal kaynak planlaması; üretim, enerji, zaman ve diğer süreçler ve

parametrelerle ilgili faaliyetler hakkındaki verileri okuyabilen ve depolayabilen üretim ekipmanlarını içeren akıllı fabrikaların kurulmasıyla bağlantılıdır. IOT, tüm üretim süreçlerinin bakım, üretim kalitesi ve enerji yönetimi optimizasyonu amacıyla izlenmesine olanak tanımaktadır. (Roblek ve diğerleri, 2016: 5) Dünya çapındaki endüstrilerde, hızlıca değiştirilebilen oldukça esnek süreçler, bireysel seri üretime olanak sağlamaktadır. Değişim, kendi üretim verilerini, çevreyi bilen akıllı makinelerle teslim eden, üretim ve lojistikteki bilgi alışverişi ve kontrol süreçlerini kendi başlarına belirleyen öğeler aracılığıyla kendiliğinden oluşmaktadır. (Thoben ve diğerleri, 2017: 4) Üreticilerin algılayıcılarından ve makinelerinden sadece bazıları ağa bağlanmakta ve bilgisayar donanımı ve yazılımını kombinasyonundan (gömülü bilgi işlem) oluşan bilgi işleminden yararlanmaktadır. Bunlar tipik olarak, sınırlı istihbarat ve otomasyon kontrol cihazlarına sahip sensörler ve saha cihazları, kapsamlı bir üretim süreci ve kontrol sistemiyle beslendiği bir dikey otomasyon piramidi içinde düzenlenmektedir. Ancak, endüstriyel nesnelerin interneti ile, bazen bitmemiş ürünler de dahil olmak üzere daha fazla aygıt, gömülü bilgisayarla zenginleştirilecek ve standart teknolojiler kullanılarak bağlanabilecektir. Bu durum, saha cihazlarının, gerektiğinde birbirleriyle ve daha merkezi kontrolörlerle iletişim kurmasına ve birbirleriyle etkileşime girmesine izin verebilecektir. Aynı zamanda analitik bir biçimde karar vermeyi merkeziyetçilikten uzaklaştırarak gerçek zamanlı yanıtları mümkün kılacaktır. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 6)

Nesnelerin interneti kavramı, sürecin herhangi bir zamanda insan katılımı olmadan ürünün siparişini, üretimini, uygulanmasını ve teslimini sağlamaktadır. Eğer sanayi şirketleri bu eğilimi kaçırmak istemiyorsa, yeni müşterilere ve yeni personele ulaşmak için modern teknolojilere ve yönetim modellerine yatırım yapmak zorundadırlar. (Slusarczyk, 2018: 232). Önemli IOT uygulama alanları, sağlık, eğitim, tarım, ulaşım, imalat, elektrik şebekeleri ve daha birçokları dahil olmak üzere hemen hemen bütün büyük ekonomik sektörleri kapsamaktadır. IOT'nin altında yatan altyapının bir kısmı makineden makineye (M2M) haberleşmedir. Makineler arası iletişim (M2M), IOT'yi etkinleştirmenin anahtarı olmuştur. (OECD, 2017: 19). Endüstri 4.0'a öncülük eden ülkelerde bu teknolojinin endüstriyel kullanımı ve yaygınlaşması için büyük teknoloji şirketleri, IOT platformunda çalışmakta ve aşırı ölçeklendirilebilir IOT platformlarına büyük yatırım yapmıştır. (WEF ve McKinsey & Company, 2018: 5)

Dünya Ekonomik Forumu çalışmasına göre 2025 yılına kadar benimsenmesi muhtemel teknolojiler arasında nesnelerin interneti teknolojisini kullanan şirketlerin oranı 2018 yılında yaklaşık %75 iken, %9 artış ile 2025 yılında %84 civarına yükselmesi beklenmektedir. Nesnelerin interneti teknolojisinin önceki yıllarda oluşturulmuş bir eğilimi takip eden yüksek öncelikli teknoloji olmaya devam etmesi beklenmektedir. (WEF, October 2020: 27)

Endüstriyel nesnelerin interneti uygulamasına örnek olarak bir sürücü ve kontrol sistemi satıcısı olan Bosch Rexroth, bir valf üretim tesisine yarı otomatik, merkezi olmayan bir üretim tesisi kurmuştur. Bu süreçte ürünler, radyo frekansı tanımlama kodları ile tanımlanmış ve her bir ürün hangi üretim aşamasından geçmesi gerektiğini bilmiş ve yapılması gereken neyse ona göre hareket edebilmiştir. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 6)

1.3.3. Büyük Veri ve Analiz

Büyük veri, boyutu tipik yazılım araçlarının yakalama, saklama, yönetme ve analiz etme yeteneğinin ötesinde olan veri kümelerini ifade eder. Zamanla teknoloji ilerledikçe, büyük veri olarak nitelendirilen veri kümelerinin boyutunun da artacağı varsayılır. Yazılım araçlarının türü ve veri kümelerinin türü ve büyüklüğü sektörden sektöre farklılık göstereceğinden tanımda sektöre göre değişebilir. (McKinsey & Company, 2011:1). Büyük veri genellikle üç ana bileşen 3V'ler kullanılarak tanımlanır: Hacim (volume - büyük miktarda veri), çeşitlilik (variety - çeşitli birimler ve gelişen yapı) ve hız (velocity - hızlı oluşturma, yakalama ve tüketim). (Golov ve Rönnbäck, 2017:2). Büyük veri, gelişmiş içgörü ve karar verme için uygun maliyetli, yenilikçi bilgi işleme biçimleri talep eden yüksek hacimli, yüksek hızlı ve çok çeşitli bilgi varlıklarıdır. Üç V'ye ek olarak büyük verinin diğer boyutları ise gerçeklik (veracity) ve değer (value) ve karmaşıklık (Variability)tır. (Gandomi ve Haider, 2015: 138-139). Büyük veri, Gartner tarafından "... gelişmiş içgörü ve karar verme için uygun maliyetli, yenilikçi bilgi işleme biçimleri gerektiren yüksek hacim, hız ve çeşitli bilgi varlıkları" olarak tanımlanmaktadır. Büyük veri analitiği, maliyet düşürme, hız, daha iyi karar verme, yeni ürün ve hizmetler geliştirme yeteneği gibi birçok avantaj sağlamaktadır. (Karthiban ve Raj, 2019: 130)

Üretim dünyasında üretim kalitesini optimize eden, enerji tasarrufu sağlayan ve ekipman servisini geliştiren, büyük veri setlerine dayanan analizler, son yıllarda

ortaya çıkmıştır. Üretim süreçlerinde çok fazla yararlı veya yararsız bilginin bulunduğu bu ortamdan gerçek ve güvenilir olanların ayıklanıp, saklanmasını mümkün kılan teknolojik yenilik büyük veri ile gerçekleşmektedir. (EBSO, 2015: 19). Bilgi ve belge saklama her sektör açısından çok önemli olduğundan büyük veri teknolojisi küresel rekabet ortamında ülkeler açısından fark yarattırmaktadır. Endüstri 4.0 bağlamında, büyük veri teknolojisi sayesinde veriler tüm yaşam döngüsü boyunca büyük miktarlarda toplanmakta ve yerel kararların alınabilmesi için ademi merkezîyetçi olarak depolanmaktadır. Söz konusu veriler değiş tokuş yapmak için şeffaflığını korumuştur. (Thoben ve diğerleri, 2017: 4) Üretim ekipmanı ve sistemleri ile kurumsal ve müşteri yönetimi sistemleri gibi birçok farklı kaynaktan elde edilen verilerin toplanması ve kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi üretim yönetiminde önem arz etmektedir. Bu sistemlerden elde edilen verilerin toplanması işlemleri, gerçek zamanlı karar vermeyi desteklemek için zamanla standart hale geleceği beklenmektedir. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 4) Endüstri 4.0 ile bu sistemler yaygınlaşarak, daha hızlı, esnek ve verimli süreçler oluşmasını sağlayacak ve daha yüksek kalitedeki malları, daha düşük maliyetle üretmek mümkün olacaktır. Söz konusu yapısal değişiklikler eşliğinde üretimde verimlilik artarken sanayide büyüme hız kazanacak ve beraberinde işgücü profilleri değişecektir. (TÜSİAD and BCG, 2016 :20) Büyük veri teknolojisini kullanan ülkeler ve firmaların üretim maliyeti ve harcamalarında önemli azalmalar, kar marjlarında ise artışlar görülecektir. (McKinsey ve Company, 2011:2)

Dünya Ekonomik Forumu çalışmasına göre 2025 yılına kadar benimsenmesi muhtemel teknolojiler arasında büyük veri teknolojisi kullanan şirketlerin oranı 2018 yılında yaklaşık %86 iken, %2 artış ile 2025 yılında yaklaşık %88 civarına yükselmesi beklenmektedir. Büyük veri teknolojisi önceki yıllarda oluşturulmuş bir eğilimi takip eden yüksek öncelikli teknoloji olmaya devam etmesi beklenmektedir. (WEF, October 2020: 27)

Büyük veri teknolojisine örnek olarak; yarı iletken üretici “Infineon Teknolojileri” üretim sürecinin sonunda test aşamasında elde edilen tek çipli veriyi, işlemin önceki aşamalarında bulunan süreç verileriyle ilişkilendirerek ürün hatalarını azaltmıştır. Bu sayede “Infineon Teknolojileri”, üretim sürecinin başında hatalı çipleri tahliye etmeye ve üretim kalitesini iyileştirmeye yardımcı olan kalıpları belirleyebilir. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 5)

1.3.4. Akıllı Robotlar –Akıllı Fabrikalar

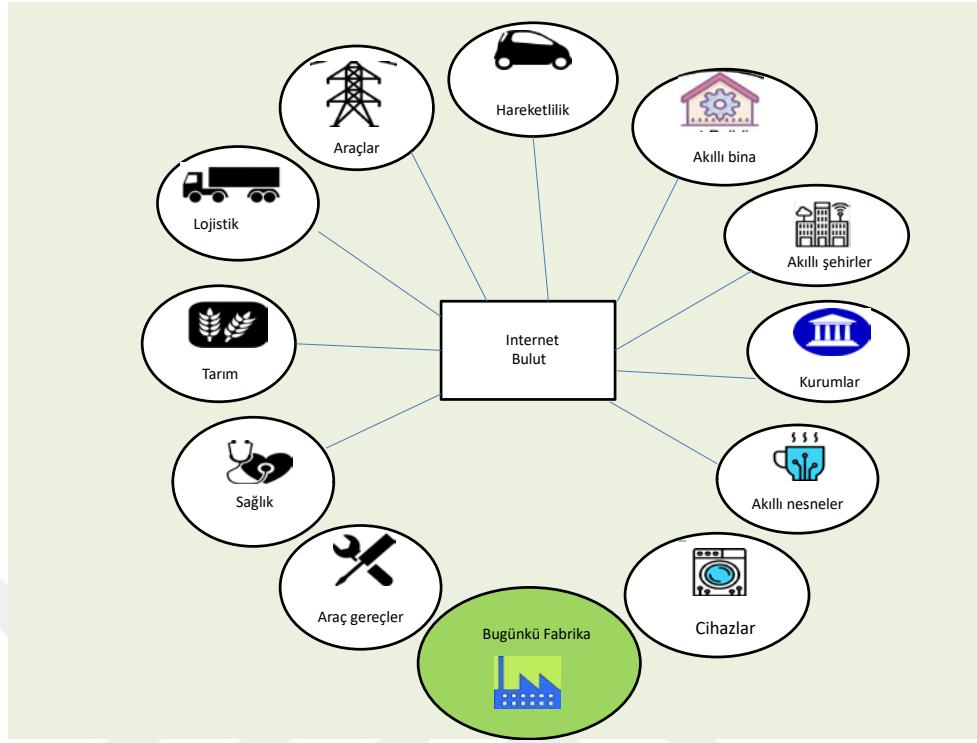
Küresel boyutta gelişimi devam eden endüstri 4.0'ı yakalayabilmek için gerçekleştirilmesi gereken en önemli teknolojik gelişmelerden biri kendi kendini yöneten üretim süreçlerini oluşturabilmek için akıllı robotlardan oluşan akıllı fabrikaların gerçekleştirilmesidir. Akıllı fabrika, ortam şartlarına duyarlı, insanlara ve makinelere görevlerini yerine getirmede yardımcı olan bir fabrika olarak tanımlanır. Akıllı fabrika daha akıllı, esnek ve dinamik olacaktır. Üretim; sensörler, aktörler ve otonom sistemlerle donatılacaktır. Makineler ve ekipmanlar, kendi kendine optimizasyon ve otonom karar verme yoluyla süreçleri iyileştirme becerisine sahip olacaktır.(Roblek ve diğerleri, 2016: 5). Arka planda çalışan sistemler, sessiz, durgun (insansız) makineleri ifade ederken, bu durumun ortama duyarlı uygulamalarla sağlanacağı kuşkusuzdur. Akıllı makinelerden oluşan ortama duyarlı sistemlerin bir nesnenin konumu ve durumu gibi ortam bağlam bilgilerini dikkate alabileceği anlamına gelir. Bu sistemler, fiziksel ve sanal dünyadan gelen bilgilere dayanarak görevlerini yerine getirir. (Lucke ve diğerleri, 2008: 115-116).

Akıllı fabrikaların belli başlı şu özellikleri endüstri devrimine öncülük etmede rol oynamaktadır: Akıllı fabrikalar karmaşık üretim süreçlerini hızlı ve sorunsuz bir şekilde çözer. Akıllı fabrikalardan çıkan ürünler daha sorunsuz ve uzun ömürlü olurlar. Akıllı fabrikalarda insan, makine ve üretim kaynakları birbiriyle derin bir etkileşim halindedir. (EBSO, 2015: 16)

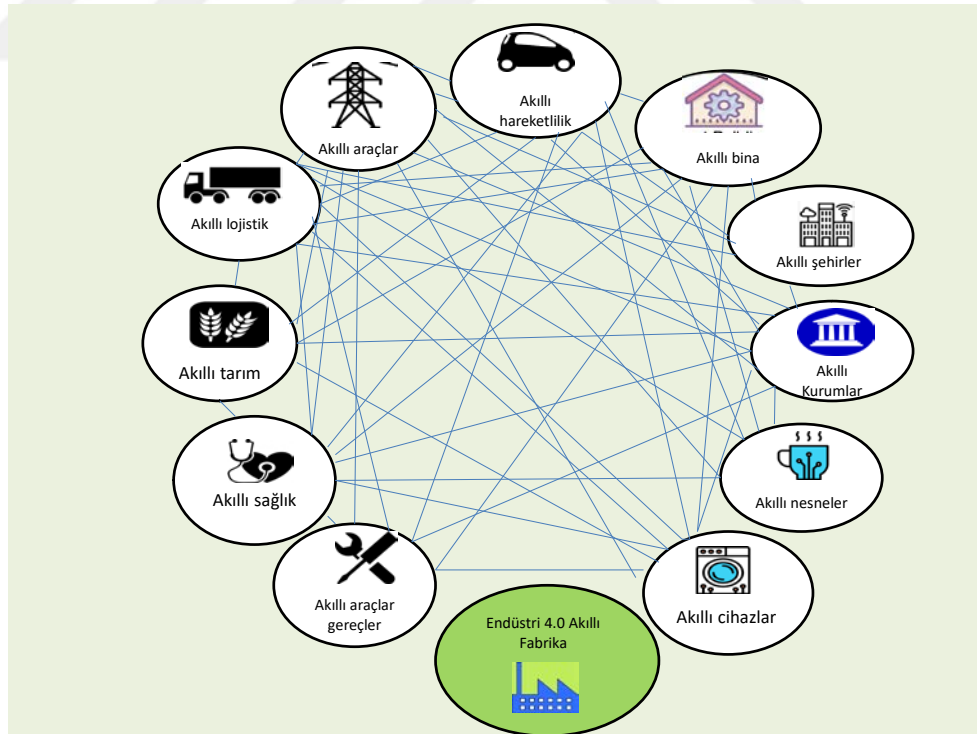
Dünya Ekonomik Forumu çalışmasına göre 2025 yılına kadar benimsenmesi muhtemel teknolojiler arasında robot teknolojisi kullanan şirketlerin oranı 2018 yılında yaklaşık %24 iken, %11 artış ile 2025 yılında yaklaşık %35 civarına yükselmesi beklenmektedir. (WEF, October 2020: 27)

Şekil 6 (A) modern fabrika üretim sistemlerini gösterirken (B), endüstri 4.0'ın yaygın kullanımı durumundaki akıllı fabrikadaki işleyişi göstermektedir.

Şekil 6: İletişim Mimarisinin Evrimi: Modern Fabrikadan Endüstri 4.0 Akıllı Fabrikaya
(A)



(B)



Kaynak: Carames ve Lamas, 2019: 45202.

Pek çok sektörde çalışan imalatçılar karmaşık görevlerin üstesinden gelmek için uzun süredir robot kullanmışlardır, ancak endüstri 4.0 ile robotlar daha fazla fayda sağlamak için geliştirilip; daha özerk, esnek ve işbirlikçi hale getirilmiştir. Böylece gelişen teknolojiyle birlikte ve ülkelerin bu teknolojiye uyum sağlama hızıyla orantılı olarak robotlar birbirleriyle etkileşime girerek insanlarla güvenli bir şekilde yan yana çalışıp, onlardan bir şeyler öğrenme potansiyeline ulaşma fırsatını yakalamaktadır. Bu robotlar zamanla daha ucuza mal olacak ve üretimde kullanılanlardan daha büyük yere sahip olmuşlar ve olacaklardır. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 5) Akıllı robotlardan oluşan akıllı fabrikanın amacı, tüm akıllı cihazları daha yüksek karar verme ile birbirine bağlamaktır. (Dutta & Bose, 2015'den aktaran Roblek ve diğerleri, 2016: 5)

Örneğin, Avrupalı bir robotik ekipman üreticisi olan Kuka, birbiriyle etkileşime giren özerk robotlar sunmaktadır. Bu robotlar birbirleriyle bağlantılıdır, böylece birlikte çalışabilirler ve eylemlerini bir sonraki bitmemiş ürüne göre otomatik olarak ayarlayabilirler. Üst seviye sensörler ve kontrol üniteleri, insanlarla yakın işbirliğini mümkün kılmaktadır. Benzer şekilde, endüstriyel robot tedarikçisi ABB, insanlarla birlikte ürün montajında çalışabilmesi için özel olarak tasarlanmış “Yumi” adlı iki kollu bir robot üretmiştir. Bu robot, iki kol , bilgisayar vizyonu ve sanal görüş yeteneği sayesinde hem güvenli etkileşime girebilmekte ve hem de parçaları tanıyabilmektedir. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 5)

1.3.5. Simülasyon (Benzetme-Taklit)

Simülasyon gerçek bir sistemin, olayın veya mekanizmanın bilgisayar ortamına aktarılıp modellendikten sonra tekrar gerçek dünyaya farklı bir şekilde uyarlanması işlemidir. Bu uygulamayla sistem ve süreçlerin gerçeğe çok yakın benzerinin yapay ortamda taklit edilmesiyle insan emeğinin azaltılması, maliyetlerin düşürülmesi, hata ve kazaların önüne geçilmesi gibi birçok olumlu getiriler sağlanmıştır. Mühendislik aşamasında, ürünlerin, malzemelerin ve üretim süreçlerinin 3-D simülasyonları hali hazırda kullanılmaktadır, ancak zamanla simülasyonların tesis operasyonlarında daha yaygın olarak kullanılması beklenmektedir. (TUSİAD, 2016: 26)

Tüm üretim ve üretimi destekleyen araçların büyük ölçüde dijitalleşmesi, kontrol ve analiz işlevlerini destekleyebilecek aktör ve sensör verilerinin

kaydedilmesine neden olmaktadır. Dijital süreçler, benzer şekilde artan teknik bileşen ağlarının bir sonucu olarak gelişmiş ve üretilen mal ve hizmetlerin dijitalleşmesinin artmasıyla birlikte tamamen dijitalleştirilmiş ortamlara yol açmıştır. Bu dijitalleşmiş ortamlar simülasyon gibi bir çok teknolojinin itici gücü olmuştur. (Lasi ve Kemper, 2014: 240) Bu simülasyonlar, fiziksel dünyayı makineler, ürünler ve insanlar da dahil olmak üzere sanal bir modelde yansıtmak için gerçek zamanlı verileri kullanmıştır. Bu, operatörlerin sanal dünyada fiziksel olarak değişmeden önce bir sonraki ürün için makine ayarlarını test etmesine ve optimize etmesine izin vermiş, böylelikle makine kurulum sürelerinin düşmesi ve kalitenin artması sağlanmıştır. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 5)

Endüstri 4.0'ın özelliklerinden biri olan simülasyon teknolojisi son yıllarda kullanımı artan kripto paraların üretimi dahil birçok farklı alanda yer almaktadır. Bu teknolojinin yanında blockchain (blok zinciri) olarak adlandırılan teknoloji sayesinde kişisel veya kurumsal akla gelebilecek her türlü bilgi bloklar halinde saklama, yönetme ve depolama gibi işlemler için kullanılmaktadır. (Zheng ve diğerleri, 2017: 557). Blockchain ile birbirine bağlı işbirlikçi teknoloji, simülasyon yazılımında kullanılabilirliği arttırılmış birden çok kaynaktan veri toplanmasını sağlamıştır. Böylece veri gerçekliğini doğrulayarak, belirsizliklerinin bir kısmını ortadan kaldırmıştır. Blockchain, simülasyonları hızlandırmak için görevleri ve hesaplamaları farklı düğümler arasında dağıtabilmiştir. (Caramés ve Lamas, 2019: 10-11) Dünya Ekonomik Forumu çalışmasına göre 2025 yılına kadar benimsenmesi muhtemel teknolojiler arasında blockchain teknolojisi kullanan şirketlerin oranı 2018 yılında yaklaşık %36 iken, %11 artış ile 2025 yılında yaklaşık %47 civarına yükselmesi beklenmektedir. (WEF, October 2020: 27)

Simülasyon teknolojisine örnek olarak, Siemens ve bir Alman makine araç gereç satıcısı, fiziksel makineden verileri kullanarak parçaların işlenmesini simüle edebilen bir sanal makine geliştirmiştir. Bu sayede gerçek işleme sürecinin kurulum süresini yüzde 80'e kadar düşürmüşlerdir. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 5)

1.3.6. Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu

Yatay ve dikey sistem entegrasyonu uygulaması, bilgisayar ağları, kurumsal uygulama entegrasyonu, iş süreç yönetimi veya programlama gibi çeşitli teknikleri kullanarak ayırık sistemlerin bir araya getirilmesidir. Sistem entegrasyonu için birçok

sistemin ve alt sistemin birbiri ile entegre olması gerekmektedir. (EBSO; 2015: 21) Yatay ve dikey entegrasyon, fabrikalar içindeki veri alışverişini otomatikleştirmek, tedarikçiler ve müşterilerle iletişim kurmak için gereklidir. Geleneksel olarak, Üretim-Yürütme Sistemi, Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi, Kurumsal Kaynak Planlaması, ve IOT platformları aracılığıyla bu tür entegrasyonlar sağlanmıştır, ancak endüstri 4.0, bahsedilen platformlardan daha yüksek entegrasyon seviyeleri talep etmektedir. (Caramés ve Lamas, 2019: 7) Endüstri 4.0'ın tam olarak yaygınlaşmadığı ülkelerde bilgi teknolojisi sistemlerinin çoğu tam olarak entegre olamamıştır. Şirketler, tedarikçiler ve müşteriler nadiren birbirine bağlanmıştır. Mühendislik, üretim ve servis gibi bölümler de işletmeden atölye seviyesine kadar olan fonksiyonlar tamamen entegre değildir. Ancak, endüstri 4.0'ın yaygınlaşması ile şirketler, departmanlar, fonksiyonlar ve yetenekler, şirketler arası, evrensel veri entegrasyon ağları geliştikçe ve otomatik değer zincirleri sağlandıkça, entegrasyon çok daha tutarlı hale gelmiştir. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 5)

Yatay ve dikey sistem entegrasyonuna örnek olarak, Dassault Systèmes ve BoostAeroSpace, Avrupa havacılık ve savunma endüstrisi için bir işbirliği platformu başlatmıştır. AirDesign adlı bu platform, tasarım ve imalat işbirliği için ortak bir çalışma alanı olarak hizmet vermiş ve bunu bulut tabanlı bir hizmet olarak sunmuştur. Bu sayede ürün ve üretim verilerinin birden çok ortak arasında değiş tokuş edildiği karmaşık görevi verimli bir şekilde idare etmiştir. (TUSİAD, 2016: 27 ve BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 6)

1.3.7. Siber Güvenlik

Tüm dünyada gelişen teknolojiyle birlikte bireysel ve kurumsal açıdan ülkeler güvenlik tehditleriyle karşılaşmaktadır. Teknolojinin olduğu andan itibaren ürün, üretim, bilgisayar destekli makine, kullanılan veri kısaca üretimden sorumlu her şeyin güvenlik korumasında olması gerekmektedir. Sistemlerle bağlantı kabiliyetinin artmasıyla birlikte, üretim hatlarını ve siber fiziksel sistemleri güvenlik tehditlerine ve siber saldırılara karşı korumak amacıyla, sistemdeki her makinenin kimliğinin belirlenmesi ve bunlara erişimin sağlanması için güvenli iletişim daha da önem kazanmıştır. (Evans, 2011: 9)

Birçok şirket hala bağlı olmayan veya kapatılmış yönetim ve üretim sistemlerine güvenmektedir. Endüstri 4.0 ile gelen standart iletişim protokolleri

sonucu artan bağlantı sayesinde, kritik endüstriyel sistemleri ve üretim hatlarını, siber güvenlik tehditlerinden koruma ihtiyacı önemli ölçüde artmıştır. Sonuç olarak, makinelerin kimliklerinin belirlenmesi ve makinelere erişimin yönetilmesi temelli güvenli iletişim önem kazanmıştır. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 6)

Günümüzde endüstri 4.0'ın getirmiş olduğu dönüşümle birlikte siber güvenlik, siber saldırılar nedeniyle tehditlerle karşılaşmaktadır. Bu tehditlerin önceden fark edilmesi ve daha kapsamlı anlaşılması kurumlar ve bireyler açısından büyük bir önem arz etmektedir. Kurumların ve bireylerin gelecek gerçek tehditlerin yöntem ve tekniklerinin boyutunu fark etmeleri ve görmeleri, hedefli saldırılara ve tehditlere karşı koruyucu olmaktadır. (Miller, 2016:23-24)

Siber güvenliğin önemini ifade eden “Nesnelerin İnterneti (IOT) Teknolojisinin Veri Yönetimi Açısından Veri Güvenliği ve Gizlilik için Ortak Politika İlkeleri ve Veri İşleme Çerçevesi" konulu bir makale, IOT ile ilgili verilerin güvenliği ve gizliliğini güvence altına almak ve sürdürmek için şu ilkeler ve önemli noktaları önermektedir: “1) Tüketiciler kendi verilerine sahip olmalıdır, 2) Veriler ekonomik büyümeyi yönlendirebilir ve çok sayıda toplumsal ve bireysel fayda sağlayabilir, 3) Tüm veriler eşit derecede duyarlı değildir, 4) Tüketicilerin, verilerinin nasıl kullanıldığına, depolandığına ve taşındığına güvenleri tam olmalıdır. 5) Teknoloji çözümün önemli bir parçasıdır ve 6) IOT'nin potansiyelini ortaya çıkarmak için farklı veri türlerini ve ilişkili yönetim sistemlerini katagorize eden bir veri işleme çerçevesi gereklidir” tartışılan önemli ilkelerdir. (ARD ve AMD, 2020:3-4)

Alman hükümeti, dijital güvenlik alanında yüksek inovasyon potansiyeline sahip iddialı araştırma ve geliştirme projelerini finanse etmek ve desteklemek için 2018 yılında Siber Güvenlikte İnovasyon Ajansı'nı kurmuştur. 2020'de ise OECD ülkelerinin çoğunun ulusal bir dijital güvenlik stratejisi geliştirilmiştir. Çoğu strateji için kapsayıcı vizyon; ulusal ve uluslar arası güvenliği korumak, ekonomik ve sosyal refahı desteklemek veya dijital ortama güven beslemek olmuştur. (OECD, 2020:187-190) Dünya Ekonomik Forumu çalışmasına göre 2025 yılına kadar benimsenmesi muhtemel teknolojiler arasında siber güvenlik teknolojisi kullanan şirketlerin oranı 2018 yılında yaklaşık %55 iken, %29 artış ile 2025 yılında yaklaşık %84 civarına yükselmesi beklenmektedir. (WEF, October 2020: 27)

1.3.8. Bulut

Endüstri 4.0'ın içerdiği teknolojik yeniliklerden bir diğeri “bulut”dur. Dönemin teknolojik yeniliklerinin birbirini tamamlaması için ihtiyaç haline gelen bulut teknolojisinin de hızlı bir şekilde kullanıma sunulması gerekmektedir. Bulut teknolojisi de büyük veri, nesnelerin interneti, siber güvenlik gibi endüstri 4.0'ın birbirini tamamlayan unsurlarından biri haline gelmiştir. Bulut teknolojisi, verilerin üretilme oranını, üretilen veri miktarını ve verilerin sırasıyla farklı şekillerde mevcut olduğu bilgisini saklı tutar ve söz konusu büyük verilerin çoğunu depolanmaktadır. (Karthiban ve Raj, 2019: 133). Şirketler bazı kurumsal ve analitik uygulamaları için bulut tabanlı yazılım kullanmışlardır, ancak endüstri 4.0 ile birlikte üretim sözleşmeleri, tesisler ve şirketler arasında kullanımı daha da artmıştır. Bulut tabanlı hizmetlerin çalışmasının özü, yazılım verilerini yerel veri depolama yerine bulut olarak adlandırılan uzaktaki bir cihazda depolamaktır. Depolanan bu bilgilere internet bağlantısı olan herhangi bir yerden ve cihazdan erişilebilmektedir. (Guban ve Kovacks, 2017: 113). Aynı zamanda, bulut teknolojilerinin performansının artmasıyla tepki süreleri sadece birkaç milisaniyeye düşmüştür. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 6-7)

2018-2019 yılları arasında OECD ülkeleri arasında yapılan bir araştırmada internet kullanıcılarının yaklaşık %42'si bulut teknolojilerini kullanmıştır. (OECD, 2020:98) Diğer yandan kurumsal olarak bakıldığında teknolojik gelişmişlikle birlikte üretim yürütme sistemi üreten şirketler, bulut tabanlı çözümler sunmaya başlayan şirketler arasındadır. Örneğin, 2017 yılında OECD bölgesindeki çoğu şirket geniş bant bağlantısına sahipken, sadece %25'i bulut bilişim hizmetlerini kullandığını bildirmiştir. Bu oranda küçük firmaların %22'si büyük firmaların ise %47'lik oranı vardır. (OECD, 2017:14) İlerleyen yıllarda bulut bilişim hizmetleri, ağ yoğunluğu ve hızındaki patlama ve sunulan bilgi işlem gücündeki sürekli artışlarla popülerlik kazanmıştır. 2019 yılı itibarıyla OECD'deki firmaların üçte biri bulut bilişim hizmetlerini satın almıştır ve oranla bulut bilişim hizmetleri 2014-2019 yılları arasında yani beş yılda %10'dan fazla bir artış yaşamıştır. (OECD, 2020:105) Dünya Ekonomik Forumu çalışmasına göre 2025 yılına kadar benimsenmesi muhtemel teknolojiler arasında bulut teknolojisi kullanan şirketlerin oranı 2018 yılında yaklaşık

%73 iken, %17 artış ile 2025 yılında yaklaşık %90 civarına yükselmesi beklenmektedir. (WEF, October 2020: 27)

1.3.9. Katmanlı- Eklemeli Üretim 3D Yazıcılar

Şirketlerin, makineleri veya makine parçalarını veya ürettikleri ürünleri üç boyutlu yazıcılar ile üretmeleri endüstri 4.0'ın bir diğer teknolojik yeniliğidir. Bu üretim sistemlerinde daha çok tek tek bileşenlerin prototipi oluşturulup üç boyutlu baskı gibi ilave üretim yöntemleri kullanılıyor. Eklemeli üretim olarak da adlandırılan 3D makine teknolojisi, dijital bir tasarımdan fiziksel bir nesne oluşturmak için eritilmiş çok ince katmanların birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Şekil 7'de bu durum ifade edilmiştir. (EBSO; 2015: 10-11)

Şekil 7: 3D Teknolojisi



Kaynak: BCG, TUSİAD, 2016: 29.

Endüstri 4.0 ile, bu ilave üretim yöntemleri, karmaşık ürün veya hafif tasarımlarda maliyet avantajları sunan küçük boyutlu özel ürünler üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek performanslı, merkezi olmayan ilave üretim sistemleri, nakliye mesafelerini ve stokları azaltmıştır. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 7) 3D baskı gibi teknolojilerin geliştirilmesinin sonuçları, araba hizmetleri gibi çevrimiçi satış hizmetlerinin geliştirilmesi, evden tıbbi muayeneler, doğrudan

mağazadan buzdolabına gönderilen yiyeceklerin sipariş edilmesi vb. küçük ve orta ölçekli işletmelerdeki değişimler üzerinde önemli bir etkiye sahip olmuştur. (Roblek ve diğerleri, 2016: 1) Yedek ve özel parçaların üretimi için de 3 boyutlu baskı kullanılabilmekte böylece ihtiyaç duyulan stok azaltılırken nakliye maliyetleri azaltılmakta ve hammadde veya yarı mamul ürünlerin ithalatına gerek kalmayabilmektedir. (Grabowska, 2020: 93) Eklemeli üretim yönteminin kullanılabileceği bir diğer uygulama, akıllı tasarım odası veya bilgisayar destekli montaj hücresi gibi bilgi ile zenginleştirilmiş üretimdeki çalışma ortamı olmuştur. Bu ortamlar 3D yazıcılar kullanılarak mekansal olarak dijitalleştirilmiştir. Çalışma ortamındaki gerçek varlıkların sanal dünya kaydı için ölçülmüş nokta kümeleri analiz edilmiş ve alt sistemler oluşturulmuştur. Bu alt sistemlere ek olarak, karmaşık üretim hizmetlerinin de gerçekleştirilmesi için 3D uygulama yazılımı zorunlu hale gelebilmiştir. (Onosato ve diğerleri, 2008, 110)

Dünya Ekonomik Forumu çalışmasına göre 2025 yılına kadar benimsenmesi muhtemel teknolojiler arasında 3D ve 4D baskı ve modelleme teknolojisi kullanan şirketlerin oranı 2018 yılında yaklaşık %42 iken, %10 artış ile 2025 yılında yaklaşık %52 civarına yükselmesi beklenmektedir. (WEF, October 2020: 27) Eklemeli üretim yöntemine örnek olarak, havacılık şirketleri verilebilir. Havacılık şirketleri uçak ağırlığını ve titanyum gibi hammaddelere yönelik masrafları azaltan yeni tasarımlar uygulamak için ilave üretim yöntemlerini kullanmışlardır. (BCG, TUSIAD, 2016: 29)

1.3.10. Arttırılmış Gerçeklik

Arttırılmış gerçeklik teknolojisi, gerçek dünyanın bilgisayar ortamında ses, görüntü, grafik ve GPS verileri yardımıyla canlı, doğrudan veya dolaylı fiziksel görüntüsüdür. (EBSO, 2015: 21) Arttırılmış gerçeklik bulunduğumuz ortamda fiziksel nesnelerin yanında fiziksel olarak ortamda bulunmayan ancak bir şekilde varlığını hissettiğimiz sesler, videolar ve iki yada üç boyutlu nesneleri hissetmemizi ve görmemizi sağlayan teknolojilerdir. Bu teknolojiye gözlük, kask, bilgisayar ve tablet gibi cihazlar yardımıyla etkinlik kazandırılmıştır. (TÜBİTAK, Şişman, 2021: 60) Arttırılmış gerçeklik temelli sistemler, bir depodaki parçaların seçilmesi ve mobil cihazlar üzerinden onarım talimatları gönderilmesi gibi çeşitli hizmetleri desteklemektedir. Teknolojik gelişmeyle birlikte bu sistemler aracılığıyla şirketler,

karar verme ve çalışma prosedürlerini iyileştirmek ve gerçek zamanlı bilgi sağlamak için artırılmış gerçeklikten çok daha fazla faydalanacaktır. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 7) Arttırılmış gerçeklik teknolojisi, mimari, tıp, eğlence, üretim, bakım gibi alanlarda başa takılan ekranlar ve izleme sistemleri aracılığıyla kullanılmıştır. Diğer yandan endüstriyel çalışma bağlamında örneğin montaj hattında başarılı bir şekilde kullanılmış ve ihtiyaç duyulan yerde güncellenerek doğru ve faydalı bilgileri sağlama potansiyeline sahip olmuştur. Böylelikle bu teknoloji sayesinde daha kısa üretim süresine, daha az eğitim çabasına, hataların azaltılmasına ve sonuçta daha düşük maliyetlere ulaşılabilir. (Stoessel ve diğerleri, 2008: 245)

Örneğin, Bir dil öğrenme platformu kurarak, kendi sanal dil asistanınızla konuşma yeteneklerinizi test etmenize yardımcı olacak bir artırılmış gerçeklik uygulaması meydana getirilebilir. Bu dijital asistan, birçok farklı dilde bireylerle sohbet edebiliyor, konuşma tanıma, chatbot teknolojisi ve yapay zeka gibi gelişmiş özellikleri sayesinde, bireylerin telaffuzu hakkında geri bildirim verip ve artırılmış gerçeklik teknolojisini kullanarak sanal hayvanları, enstrümanları ve diğer nesneleri karşısına getirerek dersleri mümkün olduğunca ilgi çekici hale getirebilmektedir.

Dünya Ekonomik Forumu çalışmasına göre 2025 yılına kadar benimsenmesi muhtemel teknolojiler arasında arttırılmış gerçeklik teknolojisi kullanan şirketlerin oranı 2018 yılında yaklaşık %58 iken, %1 artış ile 2025 yılında yaklaşık %59 civarına yükselmesi beklenmektedir. Arttırılmış gerçeklik teknolojisinin önceki yıllarda oluşturulmuş bir eğilimi takip etmesi beklenmektedir. (WEF, October 2020: 27) Başka bir örnek uygulama sanal eğitim olmuştur. Siemens, acil durumlarla başa çıkmak için fabrika personeli için eğitmek üzere artırılmış gerçeklik gözlükleriyle gerçekçi, veri tabanlı 3 boyutlu bir ortam kullanan Comos yazılımı için sanal bir tesis operatörü eğitim modülü geliştirmiştir. Bu sanal dünyada, operatörler siber sunumları tıklayarak makinelerle etkileşimde bulunmayı öğrenebilirler. Ayrıca parametreleri değiştirebilir ve operasyonel veri ve bakım talimatlarını alabilirler. (BCG, Rüßmann ve diğerleri, 2015: 7)

İKİNCİ BÖLÜM

ENDÜSTRİ 4.0 KAPSAMINDA İNOVASYONLU TEKNOLOJİK GELİŞMELER VE SEÇİLMİŞ OECD ÜLKELERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1. TEKNOLOJİK İNOVASYONUN GELİŞİMİ, DİJİTALLEŞMESİ VE ÜRETİMDEKİ İŞLEVİ

2.1.1. Teknolojik İnovasyon Kapsamı

Günümüzde “inovasyon” kelimesi her türlü terimde kullanılmaktadır bu nedenle inovasyonun tanımı son zamanlarda belirsizleşmiştir. Ancak yeniliklerin modellenmesi ve tahmin edilmesi görevi, bu konu üzerinde çalışan bilim insanları tarafından her zaman çözülmesi gereken temel bir problem olmuştur. İnovasyonun ne olduğu konusuna ilişkin literatürde birçok tanım yapılmıştır ve birçok olası yaklaşım vardır. (Napoletano ve diğerleri, 2018: 1) "İnovasyon", özellikle teknolojik açıdan daha gelişmiş ekonomilerde, çoğunlukla teknolojik başarılar ve keşiflerle ilişkilendirilir. Bir ülkede toplumsal, ekonomik, kültürel kısaca yaşamsal alanda yeni yöntem ve uygulamaların kullanılmaya başlanması inovasyonu tanımlayabilir. Geleneksel olarak bilim, teknoloji ve inovasyon sektördeki gelişmeleri izlemek için kullanılan göstergeleri içerir ve bunları politika ilgi alanlarına yeni bakış açıları sağlayarak yeni ve deneysel göstergelerle tamamlar. (OECD, 2017:3) Teknolojik inovasyonun dünyanın ekonomik refahında kritik bir rol oynamaya başladığını ve dünyanın yaşam standardında benzeri görülmemiş iyileşmelerle sonuçlandığını kabul etmek gerekmektedir. (Baskaran ve Mehta, 2016: 4) Yeniliği sürdürmek, hayati ama zor bir görevdir. İnovasyon, (1) yenilik üretmek için fikirlerin yeniden birleştirilmesi, (2) gerçek zamanlı problem çözme ve (3) mevcut inovasyon çabaları ile geçmiş deneyimler ve gelecekteki beklentiler arasındaki bağlantıları kolaylaştırmak için birçok faktörün koordineli çabasını gerektirir. (Bartel ve Garud, 2009:107)

Endüstri 4,0'ın kapsamlı çerçevesi içinde, dijitalleştirme, kurumsal dönüşüm, üretim ve üretim sistemlerinde verimlilik artışı gibi unsurlar arasındaki ilişkiye odaklanan daha dar, hayati bir odak noktası olan önemli bir bileşenler kümesi vardır. Ayrıca, tarihin belirli aşamalarında, teknoloji değişim kümelerinin, verimlilikteki artışların çok ötesinde bir etkiyle ortaya çıktığı ve bir araya geldiği fikri

vurgulanmaktadır. Endüstriyel devrimler, insanlar ve teknoloji arasındaki karmaşık etkileşim adımlarını değiştirerek yeni algıyla hareket etme ve varlık biçimlerine yol açan dönüşüm olarak ortaya çıkmaktadır. (Philbeck ve Davis, 2019:17). İlk endüstri devrimi üreticilerin işleyişini iyileştirmiş, ikincisi sanayiye elektrik vermiş ve üçüncüsü hat işçilerinin tekdüze görevlerini otomatikleştirmekle dijital çağ ve bilgisayarlar ile bilgi yönetimini ve karar vermeyi geliştirmiştir. Dördüncü endüstri devriminde inovasyon gerçeği öncekilerden tüm yaşam alanlarıyla ilgili olması gerçeğiyle farklıdır. Bu çerçevede, dördüncü endüstri devriminde, endüstri; insanlar arasında, insanlar ve nesneler arasında ve aynı zamanda nesnelerin birbiri arasında bilgi alışverişini işlemekte ve ticarileştirmektedir. (Slusarczyk, 2018: 232)

Endüstri 4.0 ile birlikte, temelinde çarkı döndüren gücün teknolojik inovasyon olduğu; ekonomik, tarihsel ve de politik değişimle bağlantılı olarak, toplumda devam eden ve ileriye dönük değişikliklerin, bilgi akışlarının, istihdam eğilimlerinin, çevresel sonuçların ve küresel güç dengesindeki değişimin öneminin ortaya çıktığı tartışılmaz bir gerçek olmuştur. (Philbeck ve Davis, 2019:18). Amerika Birleşik Devletleri inovasyon stratejilerini bilim ve teknolojiyle ilgili üç odak noktaya yoğunlaştırmıştır: İlk olarak, işgücünü bilgi yoğunluğunun giderek arttığı ekonomiye hazırlarken uluslararası düzeyde rekabetçi ve yenilikçi bir eğitim sistemi oluşturulmasının önemi vurgulanmıştır. İkinci önemli nokta özel sektör yeniliklerini destekleyen bilimsel ve teknolojik atılımları yaratmada söz konusu ülkenin liderliğini yeniden kurmak için bilimsel araştırmaya yatırım yapmıştır. Son olarak da insanları ve fikirleri 21. yüzyıl hızında hareket ettiren birinci sınıf bir altyapıya yatırım yapmanın önemi, enerji ve sağlık gibi alanlarda atılımların başarılmasının gerekliliği vurgulanmıştır. (National Economic Council, 2011: 15).

Inovasyon potansiyellerinin değerlendirilip hayata geçirilmesi, özel ve kamu kurumları tarafından etkinlik, verimlilik, ekonomik fırsatlar ve gelecek konusunun önemi bakımından vazgeçilmezdir. Artık yeni inovasyon döngüsüne atfedilen pozitif potansiyeller, bilgi ve iletişim teknolojilerine bağlı önceki inovasyon dalgalarına atfedilenleri ortaya çıkarmıştır. (Caruso, 2018:379) Öncelikle sayısal olarak son teknolojiler, zaten bazı endüstrilerin ve ekonomik sektörlerin durumunu etkilemiştir. Bu süreçler, ekonominin vade derecesi, yatırım fırsatları ve inovasyon kültürü ile bağlantılı olarak farklı bir hızda gerçekleşirken, ekonomik eğilim de kilit önemi taşımıştır. Endüstri 4.0, insanların işi ile makinelerin işi arasındaki farkları ortadan kaldırmayı varsaymıştır. Teknolojik inovasyon ile bu fark ortadan kaldırılmakta ve

çeşitli ekonomik fırsatlar da doğmuş olmaktadır. (Slusarczyk, 2018: 232). Benzer şekilde, mevcut pazarlarda sürekli performans iyileştirmeyi hedefleyen bir kesimin ve üst düzey pazarların “inovasyonu sürdürme” taleplerini karşılayan bir toplumun var olması teknolojik gelişimi de çağırılmaktadır.

Bu yeni teknoloji olanaklarının verdiği fırsatlarla sürdürülen ve tekrarlayan, sürekli inovasyonla desteklenmiş teknolojik kalkınma, fabrika işçisini ve fabrika yöneticisini, neredeyse tamamen otomatikleştirilmiş görevlerin üçte biriyle güçlendirecek, böylece tekrarlayan ve verimsiz görevlerin yürütülmesinden kaynaklanan sorun ve ihtiyaçlar tekrar inovasyon talebini ortaya çıkarmaktadır. (WEF ve McKinsey&Company, 2018: 4).

İnovasyonun rolü, makro yönden ülke açısından, mikro bakımdan ise şirket açısından dünyada pazar değerini artıran temel faktör olarak kabul edilmektedir. Her ülkenin ve ekonomik topluluğun asıl görevi, Ulusal İnovasyon Sistemi kurmaya yönelik çalışmalar yapmak ve daha fazla inovasyon çalışmasının gerçekleşmesini sağlamak ve ekonomik değer yaratılmasının fırsatını yakalamak olmalıdır. (Çerkini K. ve Çerkini B., 2016:96) Üretimin Geleceğini Şekillendirmeye Yönelik Dünya Ekonomik Forum Sistemi Girişimi, daha kapsayıcı ve sürdürülebilir bir üretim geleceği oluşturmak için kamu ve özel sektördeki liderlerin birlikte çalışması için bir platform sağlamaktadır. Bunu sürdürürken, ekonomik büyümeyi artırmak için teknolojiye ve yeniliğe bakıp herkesin yararına insan merkezli bir yaklaşım geliştirmektedirler. (WEF ve McKinsey&Company, 2018: 3)

2.1.2. İnovasyonun Temelleri

İnovasyon hakkında ilk varsayım modern ekonomiyi inovasyon teorisi açısından açıklayan, “İnovasyonun Babası” olarak adlandırılan Avusturyalı ekonomist Joseph Alois Schumpeter tarafından yapıldı. Orijinal “yeni kombinasyonlar” konseptine göre, inovasyon yeni şeylerin yeni yöntemler kullanılarak yapıldığı yaratıcı bir süreçtir. Schumpeter’a göre inovasyon, elimizdeki malzemeleri ve güçleri birleştirmek için araçlar üretmek, dahası başka şeyler veya aynı şeyleri farklı bir yöntemle üretmek konusunda malzemeleri ve güçleri farklı bir şekilde birleştirmek anlamına gelir. Başka bir deyişle, yenilikler sadece mevcut boyutlarda yapılmaya devam edilen iyileştirmeler ve düzenlemeler değildir. Aksine, inovasyon, yeni hizmetler veya teknolojiler oluşturmak, tüketicilerin henüz bilmediği

bir ürünün veya varolan bir ürünün yeni bir niteliğinin pazara sürülmesi, onları pratik yapmak ve daha sonra popülerleştirmek ve diğer ürünlere alternatif olması ve ticarileştirilmesi anlamına gelmektedir. “Yeni kombinasyon”, zaman içinde küçük adımlarla sürekli ayarlama yaparak eskisinden büyüebildiği sürece, kesinlikle değişim, muhtemelen büyüme vardır. (Amemiya, 2014: 173) Teknolojik yenilik, bilgi kaynaklı bir ekonomi için temel faktör olarak kabul edilir ve format ve çeşitli modlardan bağımsız olarak, ekonomik gelişim sürecinin her aşamasında önemlidir. (Çerkini K. ve Çerkini B., 2016:96)

Schumpeter inovasyon anlayışını iki şey karakterize etmiştir; süreksizlik ve yaratıcı yıkım. Süreksizlik özellikle geçmişe bir ara vermek anlamına gelir. Sadece geçmiş üzerinde gelişmeye çalışmak, inovasyon sayılmaz; inovasyon yoluyla üretilenlerin de daha önce gelenden net bir şekilde ayırmak için yeterli etkiye sahip olması gerekmektedir. Başka bir deyişle, O’na göre, inovasyon geçmişten gelen sürekli bir değişim değildir; bu süreksiz bir değişimdir. Benzer şekilde, yaratıcı yıkım var olanı yıkmak ve daha önce var olanı aşan yeni bir şey yaratmaktır. (Basılğan, 2011: 28). Başka bir deyişle, inovasyon hüküm süren durumu parçalara ayırma ve yeni bir yaratımı şekillendirme eylemidir. Bu eski fikirleri aktararak yeni değer yaratmak demektir. Schumpeter, inovasyonu gerçekleştiren girişimcilerin, uyarlanabilir bir süreçten ziyade yaratıcı bir süreçle meşgul olduklarını anlamıştır. Yaratıcı girişimcilik süreci inovasyonla eş anlamlıdır. İnovasyonun ekonomik meyveye sahip olduğu fikrine dayanan Schumpeter, girişimcilerin dâhil olduğu işlevlerin her zaman ekonomik değişiklikler getirmesi gerektiğini savunmuştur. (Amemiya, 2014: 174)

İnsan ihtiyaçları yeni bilgi arayışları ve yeni buluşların doğmasını sağlamıştır. Bu açıdan bakıldığında genel bilgi de, teknolojik bilgiden çok daha hızlı bir oranda yaratılmış ancak üretimde bir uygulama bulamadığı durumlarda, teknolojik evrimin bir parçası olmayıp ve son derece tesadüfi olarak kabul edilmiştir. Açıkça bir amaca hizmet etmiyor gibi görünen yenilik yine de yaratılmış ve muhafaza edilmiş ve gerektiğinde kullanıma hazır olarak bekletilebilmiştir. (Mokyr, 1997: 14) İnovasyon ve Girişimcilik adlı kitabında, Drucker inovasyonu şu şekilde ele alıyor: “sistematik inovasyon, değişiklikler için amaçlı ve organize bir aramadan oluşur. Kural olarak, bunlar daha önce olmuş veya devam etmekte olan değişikliklerdir. Başarılı inovasyonların ezici çoğunluğu değişimi kullanıyor.” Drucker’in argümanının özü, eğer girişimciler yenilik geliştirerek yeni müşteri değeri yaratmazsa, işletmelerinin

büyümesi mümkün olmayacaktır, bu nedenle ticari büyümeyi sağlamak için yapılması gereken sürekli yenilikler yapmaktır. (Drucker, 1985: XII) Schumpeter ve Drucker'in fikirlerini bir arada ele alarak, mevcut ürün, hizmet veya teknolojilerin iyileştirilmesinin veya düzeltilmesinin inovasyon olarak adlandırlamayacağını kavramak gerekir. Inovasyon, süreksizlik veya yeni müşteri değeri yaratmayı amaçlamalıdır. Başka bir deyişle, inovasyonun, geçmişi silip, müşteri değerinde ve dolayısıyla toplumda ve insanların yaşam tarzında çarpıcı ve önemli değişiklikler getiren bir etkiye sahip olması gerekmektedir. (Amemiya, 2014: 174)

Clayton M. Christensen'a göre inovasyon önemli bir stratejik gelişimdir. Christensen, inovasyonu formüle ederken, inovasyon türlerini tanımlamış ve inovasyon sürecini açıklayarak inovasyonu bir strateji olarak kullanmayı önererek önemli bir yaklaşıma hizmet etmiştir. Christensen, yenilikleri "sürdürülebilir" veya "yıkıcı" olarak sınıflandırmış ve her iki tür için de inovasyon sürecini tanımlamıştır. Çoğu inovasyon, potansiyel müşterilerin önemsedığı ve pazarların sahip olduğu performans boyutları boyunca ürün ve hizmetleri geliştiren sürekli yeniliklerdir. Tarihsel olarak değerli olan bu tür yenilikler, yerleşiklerin mevcut en iyi müşterilerine daha yüksek marjlar ve daha yüksek karlılık ile daha fazla ürün satmasını sağlar. Daha nadir olan tür, yıkıcı bir yeniliktir. Christensen, yıkıcı inovasyonu, inovasyonu sürdürmenin karşıt kavramı olarak tanımlar. Christensen'e göre bireyler düşük marjlar vaat eden, daha küçük pazarları hedefleyen ve mevcut müşterilerinin kullanamayacağı daha düşük ürün ve hizmetleri sunan yıkıcı yenilikler geliştirme konusunda motive olmazlar. (Christensen ve diğerleri, 2018: 1047-1048) Ancak yıkıcı teknolojiler düşük veya yeni pazarlarda kabul görmeye başladığında, şirketler teknolojik gelişmeleri sürdürerek performansını artırmaya çalışırlar ve sonunda bu teknolojiler zorlu şartlara sahip yüksek kaliteli pazarlarda yaygınlaşmaya başlar. Performansı artmakta olan yıkıcı ürünler ucuz ya da rekabetçi fiyatlara sahip olduğundan, genel piyasaları tehdit ederler. (Amemiya, 2014: 175) Christensen, çoğu yeni teknolojinin ürünlerin performansını artırdığını; yerleşiklerin mevcut en iyi müşterilerine daha yüksek marjlarla daha fazla ürün satmasını sağladığını belirtmiş ve bu teknolojileri yüksek karlılık olarak adlandırmıştır. (Christensen ve diğerleri, 2018: 1047-1048)

Inovasyonu modellemek için Stuart Kauffman tarafından geliştirilen bir çerçeve de Komşu Olasılık (yakın-bitişik) yaklaşımıdır. Bu görüşe göre bir inovasyon şu anda mümkün olanın sınırından bir adım ötede oluşur ve sırayla bir

sonraki keşfin sınırını genişletir. Her yeni keşiften sonra, komşu olasılığın sınırı daha da genişler ve yeni düşünce olanakları ortaya çıkar. (Napoletano ve diğerleri, 2018: 1) Bu görüşe göre, bir keşif bir sonraki keşif için temel olmaktadır.

2.1.3. İnovasyonun Ditalleşme ve Üretimdeki İşlevi

Endüstri devrimleri ve özellikle de endüstri 4.0 da inovasyonlu teknolojik gelişmenin temelinde birçok farklı buluşun arasından dönüşüme en uygun olanın seçilmesi ve bu aşamaya gelinceye kadar toplumsal olarak dönüşümün yakından takip edilmesi ilkesi olmalıdır. Dördüncü endüstri devriminde inovasyon kavramının, teknolojik değişimin tüm endüstriler ve toplumun her kesimiyle ilgili bir dönüşümün itici gücü olduğunu ortaya koymak gerekmektedir. (Philbeck ve Davis 2019: 17) Endüstri 4.0'ın önde gelen unsurları düşünülerek, yeni bir teknolojik yenilik dalgası uygulanmasından kaynaklanan ürün ve hizmet üretimi kısaca dönüşümle gerçekleşerek ortaya çıkan birbirine bağlı işbirlikçi robotlar, makinelerin öğrenmesi, yapay zeka, dijital geliştirme yazılımına bağlı 3D yazıcılar, birbirine bağlı makinelerin simülasyonu, bilgi akışının değer zinciri boyunca entegrasyonu, üretim süreçleri ve ürünler arasında çok yönlü iletişim yani nesnelerin interneti gibi yenilik üzerine inşa edilmiş kavramlar hayata geçirilerek değişim yakalanabilir. (Caruso, 2018: 379)

Üretimin nasıl değiştiği ve geliştiği konusunun merkezinde teknoloji ve inovasyon konusu hakimdir. 2000'li yıllardan itibaren, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki endüstrilerdeki işçi verimliliği, başta teknoloji kullanımı ve yenilikçilik olmak üzere, % 47 arttı. (WEF ve McKinsey&Company, 2018: 5) Ancak Dünya Ekonomik Forumu tarafından yapılan Geleceğin Meslekleri Anketine göre eldilen veriler şirketlerin yeni teknolojilere yanıt olarak işgüçlerini yeniden yapılandırmayı beklediklerini göstermektedir. Özellikle ankete katılan şirketler daha derin teknolojik entegrasyonun bir sonucu olarak değer zincirlerinin bileşimini dönüştürmek (ankete katılan şirketlerin %55'i), daha fazla otomasyon sağlamak, mevcut işgücünü azaltmak (ankete katılan şirketlerin %43'ü) veya iş gücünü genişletmek (ankete katılan şirketlerin %34) gibi sonuçlar çıkmıştır. (WEF, October 2020: 27-29).

Toplum, temel olarak teknolojiadaki dönüşümlerin sağladığı yeni iş modelleri tarafından yönlendirilen artan üretim ve tüketim yakınsamasının birleştiği

noktadadır. Dördüncü endüstri devrimi bağlamında üretimde tam ölçekli benimseme ve faydaları henüz belirlenememesine rağmen gerçekleştirilen üretim, eşi benzeri görülmemiş hız ve genişliğe ulaşmaktadır. Küresel büyümede zaman zaman meydana gelen dalgalanmaya rağmen, üretim gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde ekonominin kritik bir itici gücü olmaya devam etmektedir. (WEF ve McKinsey&Company, 2018: 5) Dönüşümün temelinde şekil 8’de belirtilen üç teknolojik mega trendin varlığı gelmektedir. Dijital dönüşümün gerçekleşmesi ve otomasyon, birçok üretim yapısını ve iş gücü piyasalarını yeniden şekillendirmiştir. Ancak COVID-19 salgınının yaratmış olduğu ekonomik kriz ile birlikte çalışan becerilerinin geliştirilmesi ve eğitilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu süreçte iş gücünde meydana gelebilecek değişim için gerekli olan bütçe ve zaman olgusunu minimize edebilecek dijital sıçrama tetiklenmiştir. World Economic Forum’un Future of Jobs 2020 yılı raporuna göre, insanlar ile makineler arasındaki işbölümündeki değişiklikler, otomasyonun yalnızca beş yıl içinde 85 milyon işin yerini alabileceğini ve insanlar, makineler ve algoritmalar arasında 97 milyon yeni rolün ortaya çıkacağı tahmin edilmektedir. (WEF, October 2020: 5).

Şekil 8: Üretimi Dönüştüren Anahtar Teknoloji Mega Trendler



Kaynak: WEF ve McKinsey & Company. 2018. 5.

OECD tarafından bilim, teknoloji ve sanayi üzerine 2017 yılında yapılmış bir çalışma dijital dönüşümün bilimi, inovasyonu, ekonomiyi ve insanların çalışma ve yaşam tarzını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Ülkelerin, hızla değişen dijital çağda daha etkili bilim, inovasyon ve endüstri politikaları tasarlamalarına gerekli önemi vermeleri küresel açıdan yer edinmeleri açısından hayati önem taşımaktadır. (OECD,2017:3)

Dijital stratejinin belirlenmesi küresel rekabet ortamının vazgeçilmezidir. Bu dijital strateji, ülke bazında şirketlerin küresel ortamda ülkelerin rekabet ortamını iyi değerlendirmesi, değişimin başladığı anın kaçırılmaması ve değişimin ne şekilde olduğunun çok yönlü analiziyle gerçekleşir. Yeni teknolojiler ekonomileri radikal olarak yeniden şekillendirip güç dengelerinin bir ülkeden diğerine geçmesini sağlayabilir. Dijitalleşmenin etkisi ve fırsatları endüstri yapısına ve endüstrinin işlevlerine göre değişir. Endüstri 4.0 sayesinde tedarik zincirleri yeniden yapılandırılarak müşteri taleplerine özel uyarlanmış yeni ürünler hızla müşteriye ulaşabilecek şekilde hizmete sunulmaktadır. Önemli olan birey, kurum ve ülke olarak dijitalleşmenin getirdiği tüm stratejik olanaklara ve risklere algıların açık olmasıdır. Şekil 9’da dijital stratejinin beş kuralı yer almaktadır.

Şekil 9: Dijital Stratejinin Beş Kuralı



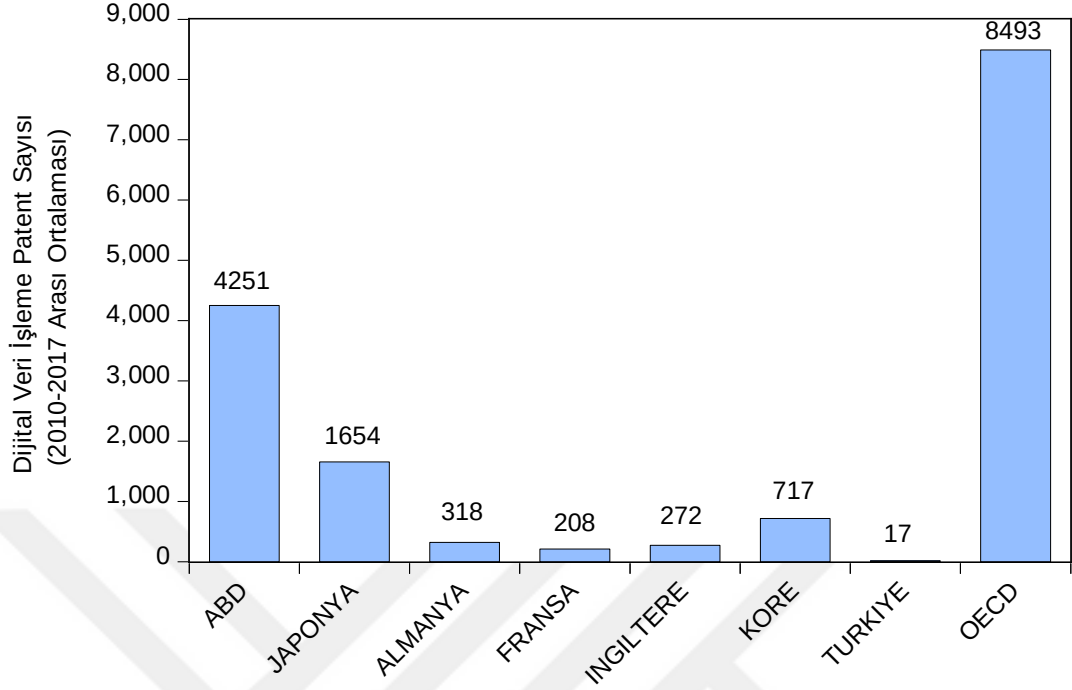
Kaynak : BCG. Wald ve diğerleri. 2019. 2

Dijital stratejinin belirlenmesi, kural koyup stratejinin dönüşümle birlikte aktif değişimlere uyumlanması çok önemlidir. Dijitalleşme stratejisi sürecinde teknolojik fırsat ve yenilikleri çok yönlü düşünmek, hızlı hareket etmek ve inovasyonun değer yaratma kapasitesi düşünülerek seçilmesi önem arz etmektedir. Dijital alanda doğru yönü seçen, hızlı hareket eden ülkeler küresel rekabette öne çıkmaktadır. Faaliyet alanları farklı olan ancak dijitalleşmede geçmişte hızlı hareket ederek öne çıkan şirketler arasında Starbucks, Google, Dominos, Unilever, Netflix, Kodak gibi şirketler yenilik ve dijitalleşmeyi kullanarak uygun teknolojik fırsatları yakalayarak kendi alanlarında pazar lideri konumuna gelmişlerdir. (Wald ve diğerleri, 2019: 1)

Ülke bazında değerlendirecek olunursa dijital stratejilerin giderek artan bir ekonomik sistem içerisinde olduğu unutulmamalı ve uzmanlık, fikri mülkiyet ve müşteri erişimine gerekli önemi verecek yeterli kaynak aktarımı sağlanmalıdır. Uygulanabilir bir teknolojik yeniliğin katma değeri yüksek üretim değeri yaratması için ve bunun devamının sağlanması için dijital bir kültür oluşturmak özellikle gelişmekte olan ülkelerin ana görevi olmalıdır. Dijital dönüşümde sektör alanlarının yakından takip edilmesi inovasyon hareketine nereden başlanacağını planlanması endüstri için kritik öneme sahip teknolojik değişimin altında yatan stratejilerin tekrar tekrar gözden geçirilip hızla ayak uydurulması küresel rekabetin vazgeçilmezidir.

Teknolojik gelişmişliğin yenilikle birlikte geliştiği tartışılmaz bir gerçektir. İnovasyonun nerede gerçekleştiği ve hangi ülkenin buna öncülük ettiği önem arz ettiğinden söz konusu inovasyonun patentini almak zorunluluğu ortaya çıkmakta ve inovasyonun patentini alan ülkenin yeniliğin öncüsü olduğu kabul edilmektedir. (Napoletano ve diğerleri, 2018: 1-2) Bu anlamda Şekil 10 dijitalleşme yolunda özellikle bilgi iletişim teknolojilerine dayalı dijital veri işlemeyi ifade eden dijital veri işleme patent sayısını göstermektedir. Seçilmiş OECD ülkeleri arasında 2010-2017 yılları patent sayıları göz önünde bulunarak oluşturulmuş şekil 10'dan anlaşıldığı gibi ABD OECD ülkeleri arasında yaklaşık %50'lik payla ilk sırada, Türkiye ise son sırada yer almaktadır.

Şekil 10: Seçilmiş OECD Ülkelerinde 2010-2017 Yılları Arası Ortalama Dijital Veri İşleme Patent Sayısı

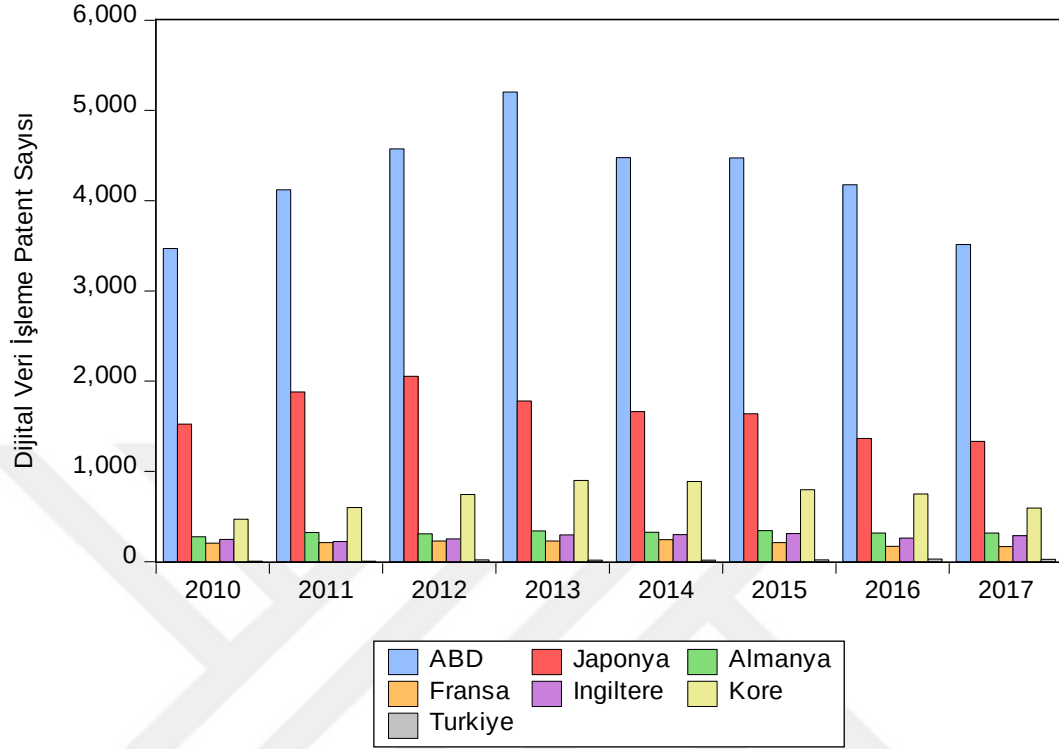


Kaynak: OECD'den alınan veriler Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü(WIPO)'nda belirtilen uluslar arası patent numaralarına göre elde edilmiştir.³ (<https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en>) 26.04.2021.

Şekil 11'de ise 2010-2017 yılları arası bazı seçilmiş OECD ülkelerinin her yıl dijital veri işleme patent sayısı görülmektedir. Buna göre ABD dijital veri işleme patent sayısı 2010-2013 yılları düzenli artış yaşayıp yaklaşık 5000 civarına ulaşırken, bu sayı 2014-2017 yılları arası azalışla birlikte durağan seyir izleyip 4000 küsurlara gerilemiştir. Japonya'da dijital veri işleme patent sayısı 2012 yılı itibariyle yaklaşık 2000'lere ulaşırken daha sonraki yıllarda düşüşe geçerek 1500 kusurlara gerilemiş Kore'de ise 2010 yılına göre 2013-2014 yıllarında iki katı artış gerçekleşmiş ancak daha sonraki yıllarda gerileme görülmüştür. Türkiye bu alanda da seçilmiş OECD ülkeleri içerisinde son sırada yer almaktadır.

³ Şekil'de kullanılan veriler 2020 Temmuz ayında güncellenen OECD veri tabanından Uluslararası Patent Sınıflandırmasına göre IP5 patent ailesinden elde edilmiştir. [OECD Statistics](https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en), 26.04.2021.

Şekil 11: 2010-2017 Yılları Arası Seçilmiş OECD Ülkelerinin Her Birinde Gerçekleşen Dijital Veri İşleme Patent Sayısı



Kaynak: OECD'den alınan veriler Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü(WIPO)'nda belirtilen uluslar arası patent numaralarına göre elde edilmiştir.⁴ (<https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en>) 26.04.2021.

2.2. ENDÜSTRİ 4.0'IN BENİMSENMESİ YOLUNDA TEKNOLOJİK İNOVASYONUN SEÇİLMİŞ BAZI OECD ÜLKELERİNDEKİ YERİ

Daha önceki bölümlerde ifade edildiği gibi 4. endüstri devrimi bir diğer adıyla endüstri 4.0 2011 yılında Alman imalat sanayinin rekabet edebilirliğinin artırılmasına yönelik bir fikrin ortaya konulduğu bir anda, Almanya'da doğmuştur. Alman hükümeti, endüstri 4.0'ın teknolojik yenilik liderliğini hedef alan “Almanya İçin Yüksek Teknoloji Stratejisi 2020” girişiminin bir parçası olacağını açıklayarak bu fikri desteklemiştir. Bundan sonra Avrupa'da da terim Endüstri 4.0 olarak kabul edilmiştir. (Lasi ve Kemper, 2014: 239) Daha sonra dünyanın diğer bölgelerindeki ülkeler de örneğin, Amerika Birleşik Devletleri ve Çin gibi ülkeler de teknolojik inovasyona odaklanan kendi projelerini benimsemiştir. Zamanla tüm ülkelerde

⁴ Şekil'de kullanılan veriler 2020 Temmuz ayında güncellenen OECD veri tabanından Uluslararası Patent Sınıflandırmasına göre IP5 patent ailesinden elde edilmiştir. [OECD Statistics](https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en), 26.04.2021.

Endüstri 4.0'ın gelişiminde, teknolojik inovasyonun vazgeçilmez bir itici güç olduğu kabul edilmiştir. (Vieira ve diğerleri, 2018: 377) Temel olarak, endüstri 4.0 ekonomik, politik ve sosyal değerin yaratılması, değiştirilmesi ve dağıtılması yönündeki bir dizi önemli değişikliği temsil etmektedir. Toplumsal değerlerdeki bu değişimler, dijital, fiziksel ve biyolojik dünyaları kapsayan yeni teknolojilerin ortaya çıkmasıyla yakından ilgilidir ve birbirlerini birleştirip güçlendirdiklerinde güçlü bir değişim meydana gelir ve bu değişim sürdürülebilir radikal inovasyonla gerçekleşir. (Philbeck ve Davis, 2019: 17)

Şekil 12'de ülke düzeyinde teknoloji ve inovasyon alanında öncülük eden ülkeler yer almaktadır. Şekil 12'ye göre, teknoloji ve inovasyon alanında farkındalık çalışması yapan iki ülke Almanya ve Fransa, bu alanda finansal destek alan iki ülke Fransa ve Çin'dir. Teknoloji ve inovasyon alanında yasal çerçeve oluşturan iki ülke Almanya ve ABD, akreditasyon sağlayan ülke Fransa'dır. Bağlantı ve veri güvenliği olan ülke Almanya, arge ve nesnelerin interneti üzerine temel test çalışmaları yapan ülke Hindistan'dır. Yapay zekâda temel test çalışmaları yapan ülke Kanada, artırılmış ve sanal gerçeklik üzerine temel test çalışmaları yapan Kore'dir. 3D baskının yapıldığı pilot uygulama ABD'de gerçekleştirilmiştir. Endüstri 4.0 üzerine kurslar düzenleyen ülke İngiltere olmuştur.

Şekil 12: Endüstri 4.0 Yolunda Teknoloji ve İnovasyon Konusunda Öncülük Eden Ülkelerde Görülen Uygulamalar

Teknoloji ve İnovasyonu Ülke Düzeyinde Yaygınlaştırma Çabaları			
Örnekler			Diğer ülke analizleri
Farkındalık:		Hannover Messe'nin 2017 baskısına 225.000'den fazla ziyaretçi katıldı	    
		"Sanayi Haftaları" sırasında düzenlenen 2.300'den fazla etkinlik.	
Finansal Destekler:		KOBİ üretim olanaklarının Endüstri 4.0 teknolojilerine dönüşümünü artırmak için 3,3 milyar değerinde iki yıllık bir plan	   
		ABD Senatosundaki Drone Operatör Güvenliği Yasası'nın tanıtımıyla düzenlenmiş dron işlemleri	
Yasal Çerçeve:		Ju-RAMI 4.0, en yaygın kullanım durumlarının ana yasal yönlerini anlamak için bir çerçeve	  
		ABD Senatosundaki Drone Operatör Güvenliği Yasası'nın tanıtımıyla düzenlenmiş dron işlemleri	
Akreditasyon:		Alliance Industrie du Futur: İlgili endüstri paydaşlarını koordine eden Ajans (özel ve kamu sektörleri, akademi ve sivil toplum)	 
Bağlantı ve Veri Güvenliği:		Frauenhofer-Gesellschaft'ın bir araştırma projesi olan Geleceğe yönelik Siber Güvenlik, ağların ve sistemlerin endüstriyel güvenliği için özel bir görev gücüne sahip	  
R&D&I: Teknoloji Geliştirme Temel Testi:		Nesnelerin interneti	      
		Yapay zeka	
		Artırılmış ve sanal gerçeklik	
Yetenek ve Eğitim:		İlköğretim ve ortaöğretim müfredatı, 3D baskının dahil edildiği programlama becerileri ve plot uygulamaları.	   
		Üniversitelerde yeni müfredat: Massachusetts Institute of Technology'nin (MIT) Endüstri 4.0 büyük açık çevrimiçi kursu; Stanford Hukuk, Bilim ve Teknoloji Programı	

Kaynak: WEF ve McKinsey & Company. 2018. The Next Economic Growth Engine Scaling Fourth Industrial Revolution Technologies in Production 20.

Teknolojik inovasyonun temelini oluşturmak ve küresel zorlukların üstesinden gelmek için temel araştırma finansmanı önem arz etmektedir. Mali konsolidasyon zemininde hükümetler bilim politikaları gerektiren kamu finansmanından sosyal ve ekonomik getirileri hesaplama baskısı altındadır. Merak odaklı araştırmalar için finansman korunmalı ve proje bazlı finansman desteklenmeli ve korunmalıdır. Bilim ve inovasyon sistemlerinin temelinde bulunan araştırmacılar, eğitim politikalarıyla bilimin veri odaklı, işbirlikçi ve çok disiplinli doğasına yanıt verecek şekilde desteklenmeleri gerekmektedir. Bilimsel araştırmalarda sürdürülebilir finansman ve etkili yönetim mekanizmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. (OECD, 2015:94).

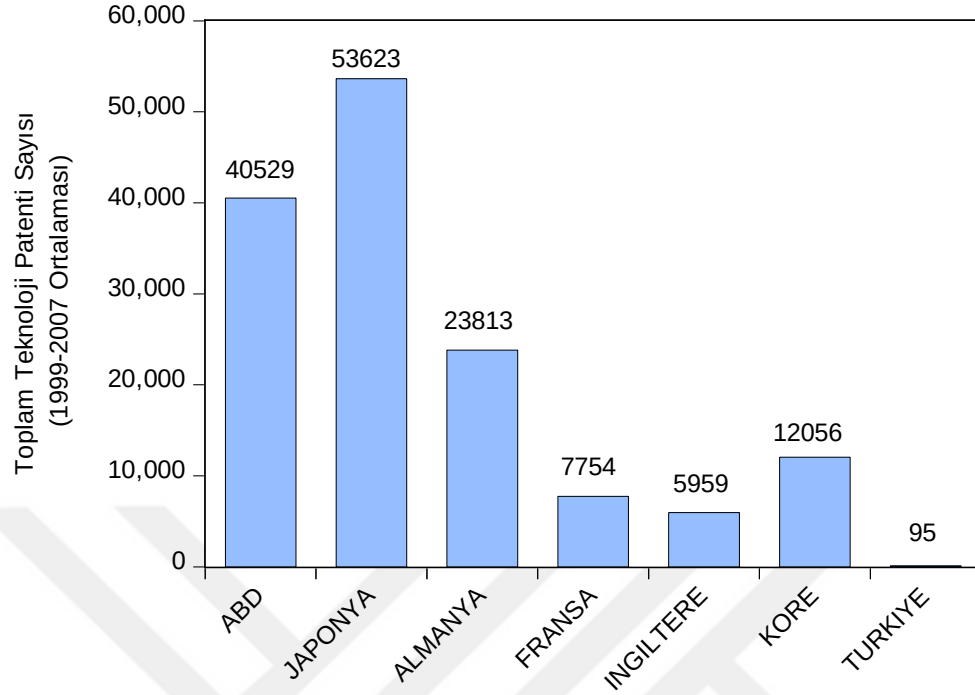
2.2.1. Seçilmiş OECD Ülkelerinin Patent Sayılarının Analizi

Bir yenilik, tanımı gereği, daha önce görülmemiş bir olay olduğu için, gerçekleştiğinde, sistem sınıflandırmaya hazır değildir. Radikal bir inovasyonun nerede patentleşmesinin daha muhtemel olduğu belirlenmelidir. Bir ülkenin teknolojik üretimini, her patent sahibinin uyuşuna bakarak değerlendirilmek ve bu bilgilerle her bir ülkenin küresel patent verme faaliyetine katkısını tahmin etmek ve belirli bir inovasyon etkinliğinin nasıl ortaya çıktığının belirlenmesi açısından önemli uğraşılardır. Hem global patent verme aktivitesi hem de ülkenin patent verme faaliyeti ile ilgili olarak, patent verdikleri yeniliklerin yüzdesine bakarak her ülkenin teknolojik performansı değerlendirilebilir. (Napoletano ve diğerleri, 2018: 2)

Patent göstergeleri ülkelerin, bölgelerin, teknolojilerin, firmaların vb. yaratıcı performansını yansıttığından, patentler inovasyon çıktısının önemli bir ölçütüdür. Patent göstergeleri, ar-ge'nin çıktısını, verimliliğini, yapısını ve belirli bir teknolojinin ve endüstrinin gelişimini ölçmeye hizmet edebilir. Patentler çoğu zaman çıktı göstergesi olarak yorumlanır; bununla birlikte, patentler müteakip mucitler tarafından bir bilgi kaynağı olarak kullanıldığı için bir girdi göstergesi olarak da görülebilirler. (<https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en>)

Şekil 13'de 1999-2007 yılları arasında seçilmiş OECD ülkeleri arasında toplam teknoloji patenti sayısı en fazla 53623 ortalamayla Japonya'da gerçekleşmiştir.

Şekil 13: 1999-2007 Yılları Arası Seçilmiş OECD Ülkelerinde Toplam Teknoloji Patenti Sayısı

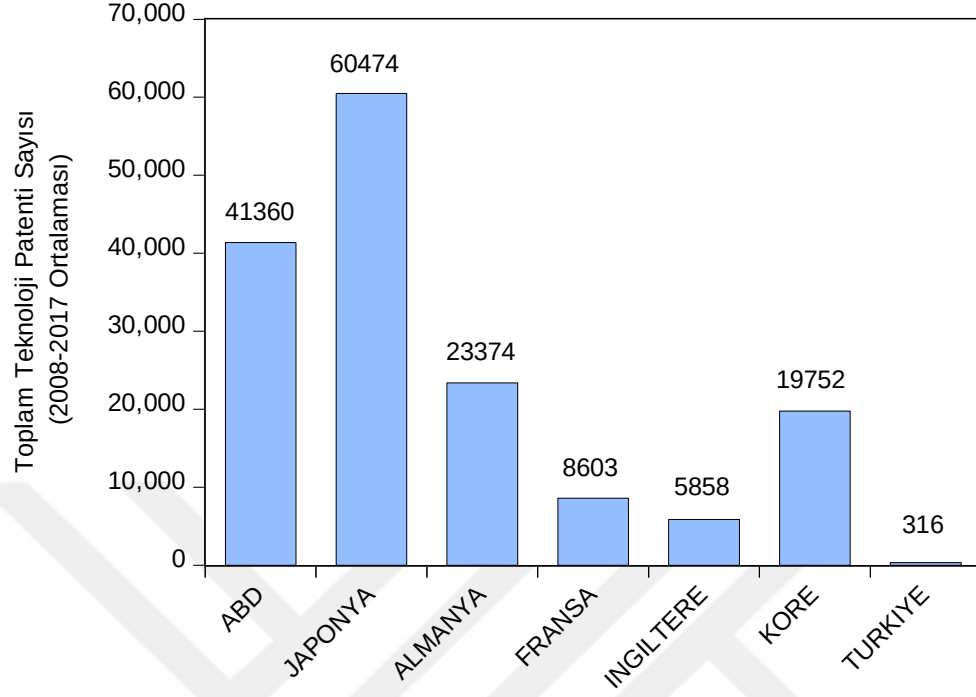


Kaynak: OECD'den alınan veriler Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü(WIPO)'nda belirtilen uluslar arası patent numaralarına göre elde edilmiştir.⁵ (<https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en>) 26.04.2021.

1999-2007 ortalaması ile kıyaslandığında Şekil 14'de ifade edildiği gibi 2008-2017 yılları arasında seçilmiş OECD ülkeleri arasında dikkat çeken ülkeler Japonya, Kore ve Türkiye'nin hızlı bir yükseliş göstermiş olmalarıdır. Teknoloji patenti sayısı en fazla 60474 ortalamayla Japonya'da gerçekleşmiştir. Burada 1999-2007 yılları arasında Japonya'daki toplam teknoloji patenti sayısı ile ABD'deki toplam teknoloji patenti sayısı arasındaki fark yaklaşık %25 iken 2008-2017 yılları arasında bu oran Japonya'nın yükselişiyle yaklaşık %33'lere kadar çıkmıştır. Kore ise 1999-2007 yılları ortalamasına göre yaklaşık %60 artış yaşamıştır. Türkiye ise 1999-2007 yılları ortalamasına göre 2008-2017 ortalamasında en fazla sıçramayı yapan ülke konumuna gelmiştir. Türkiye yaklaşık 3,3 kat artış yaşamıştır ancak hala en son sıradadır ve rekabet olanağı yok denecek kadar azdır.

⁵ Şekil'de kullanılan veriler 2020 Temmuz ayında güncellenen OECD veri tabanından Uluslararası Patent Sınıflandırmasına göre IP5 patent ailesinden elde edilmiştir. [OECD Statistics](https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en), 26.04.2021.

Şekil 14: 2008-2017 Yılları Arası Seçilmiş OECD Ülkelerinde Toplam Teknoloji Patenti Sayısı

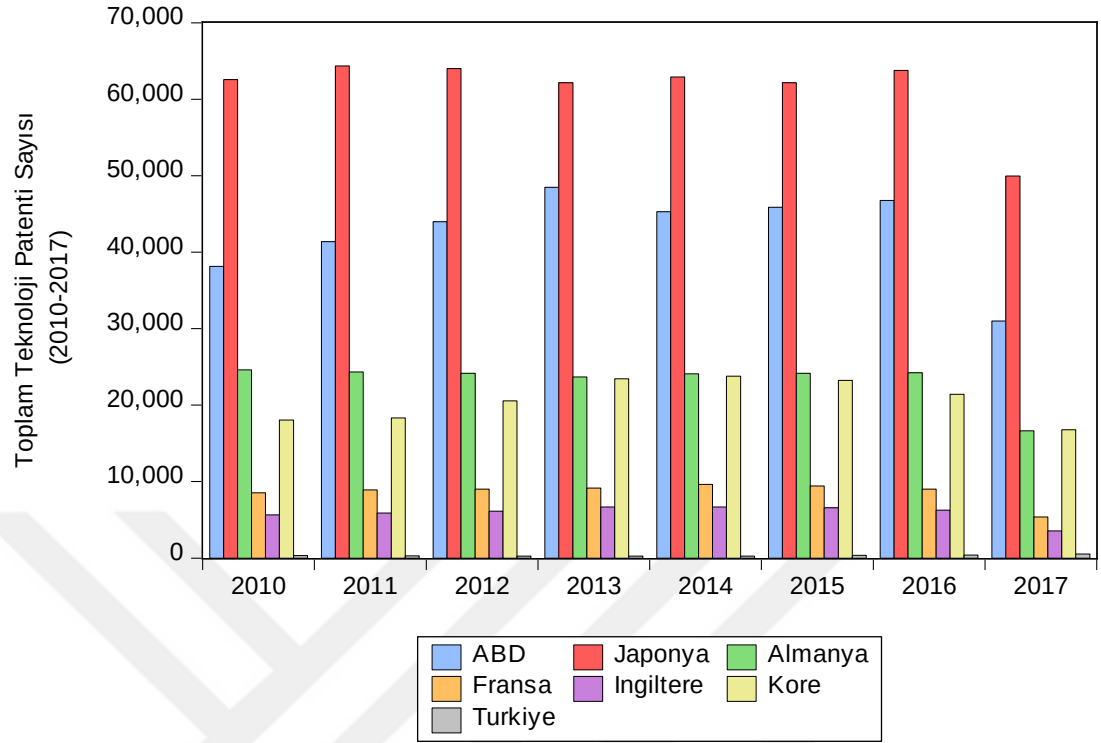


Kaynak: OECD'den alınan veriler Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü(WIPO)'nda belirtilen uluslar arası patent numaralarına göre elde edilmiştir.⁶ (<https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en>) 26.04.2021.

Şekil 15'de 2008-2017 yılları arasında seçilmiş OECD ülkeleri arasında toplam teknoloji patent sayısı yıllar itibariyle üst sıralarda olan ülkeler Japonya ve ABD'dir. Bu iki ülkeyi Almanya ve Kore takip etmektedir. Tüm ülkeler incelendiğinde her yıl istikrarlı teknoloji patentleri sundukları 2017 yılında ise tüm ülkelerde bir azalış olduğu görülmektedir. Şekil 15'den Türkiye'nin teknoloji patent sayısı çok fazla belli olmasa ve az olsa da Türkiye teknoloji patent sayısında 2017 dahil istikrarlı bir artış gerçekleştirmiştir. Türkiye'nin diğer ülkelere bakıldığında rekabetten çok uzak olan teknoloji patent sayıları 2010 yılında 335, 2017 yılında 532 olarak gerçekleşmiştir.

⁶ Şekil'de kullanılan veriler 2020 Temmuz ayında güncellenen OECD veri tabanından Uluslararası Patent Sınıflandırmasına göre IP5 patent ailesinden elde edilmiştir. [OECD Statistics](https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en), 26.04.2021.

Şekil 15: 2008-2017 Yılları Arası Seçilmiş OECD Ülkelerinin Her Birinde Gerçekleşen Toplam Teknoloji Patenti Sayısı

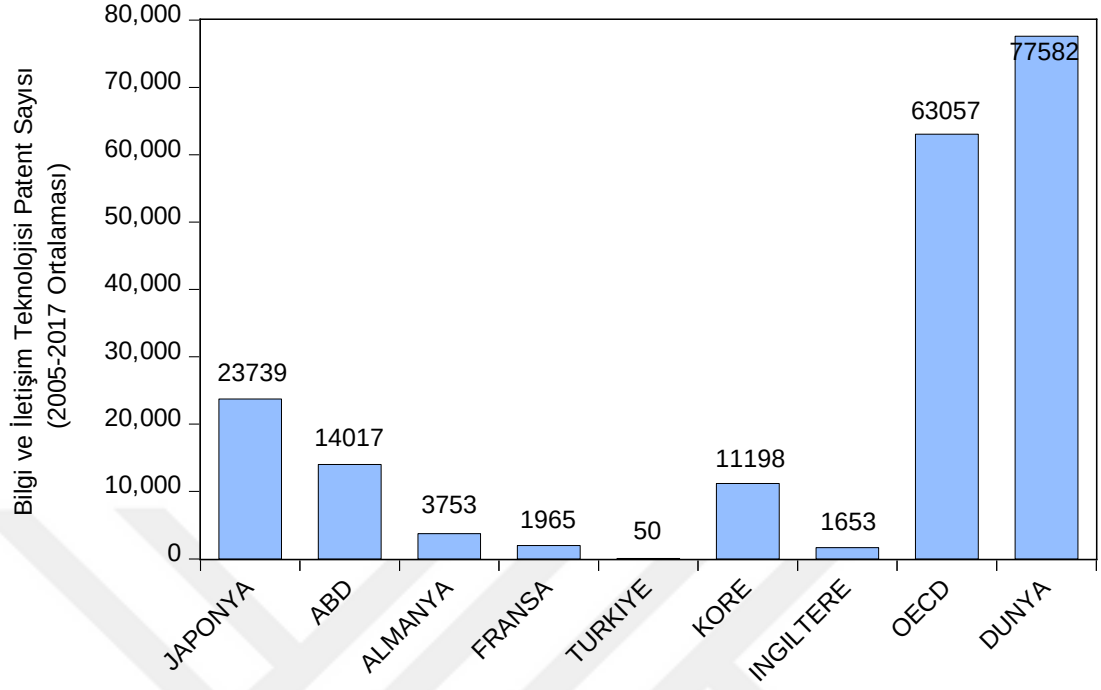


Kaynak: OECD'den alınan veriler Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü(WIPO)'nda belirtilen uluslar arası patent numaralarına göre elde edilmiştir⁷.(<https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en>) 26.04.2021.

Bilgi ve iletişim teknolojisinin gelişimi ülkelerin gelecek imajını ve beklentilerini kapsamlı bir şekilde temsil etmeye ve yönlendirmeye başlamıştır. Devam eden teknolojik gelişmeyle birlikte, ekonomik büyüme ve kalkınma, ülkelerin muhtemel demokratikleşme umutları, rekabet ortamında devam etmektedir. (Caruso, 2018: 379) Bilgi ve iletişim teknolojisi alanında 2005-2017 yılları arasında elde edilmiş patent sayıları Şekil 16'da ifade edilmiştir. Dünya genelinde bilgi ve iletişim teknolojisi alanında patent sayısında OECD ülkelerinin payı yaklaşık %80'dir. Bu alanda, OECD ülkeleri içerisinde yaklaşık %37'lik payı Japonya olarak ilk sırada yer alırken ABD yaklaşık %22'luk pay ile ikinci sırada yer almaktadır.

⁷ Şekil'de kullanılan veriler 2020 Temmuz ayında güncellenen OECD veri tabanından Uluslararası Patent Sınıflandırmasına göre IP5 patent ailesinden elde edilmiştir. [OECD Statistics](https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en), 26.04.2021.

Şekil 16: Seçilmiş OECD Ülkelerinde 2005-2017 Yılları Arası Ortalama Bilgi ve İletişim Teknolojisi Patent Sayısı



Kaynak: OECD'den alınan veriler Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü(WIPO)'nda belirtilen uluslar arası patent numaralarına göre elde edilmiştir.⁸ (<https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en>) 26.04.2021.

2.2.2. Seçilmiş OECD ülkelerinin Bilim, Teknoloji ve İnovasyon Göstergeleri

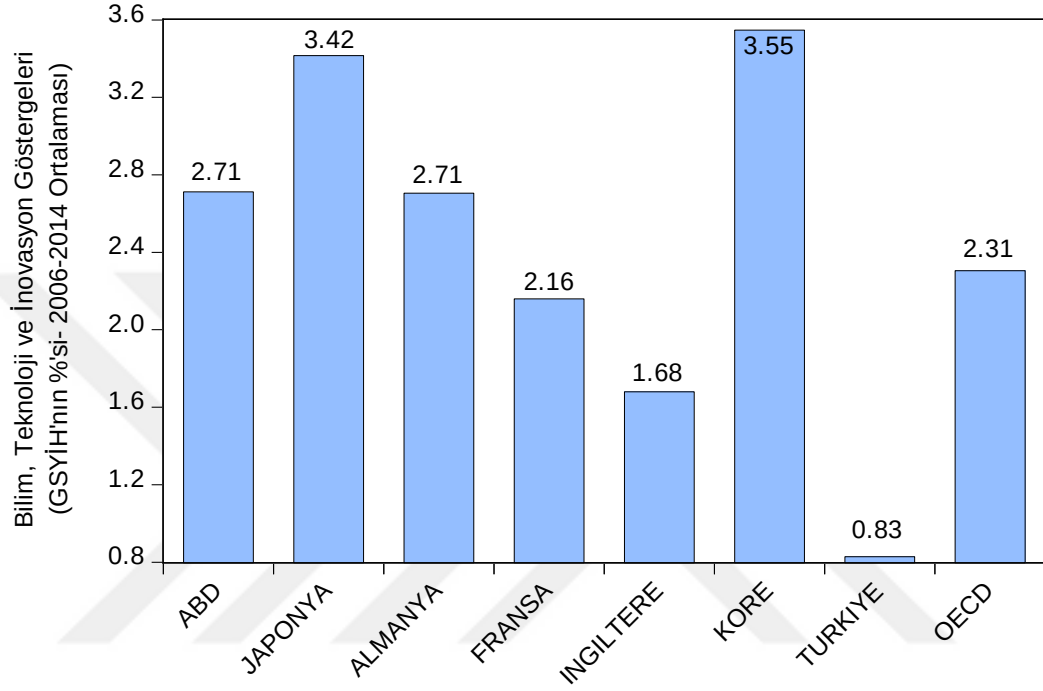
Bilim, teknoloji ve inovasyonun gelişimi ülkelerin küresel rekabette öne çıkmasının en önemli fırsatıdır. İnovasyon, teknoloji ve endüstri arasındaki kesişme noktasıdır ve ekonomik kalkınmayı teşvik etmek için birincil güç olarak kabul edilmektedir. Küresel olarak birçok ülke yenilikçi teknolojik, endüstriyel ve mekanik atılımlar arıyor. İnovasyonun olumlu etkisi reddedilemez bir şekilde kanıtlanmıştır. (Jun, 2017: 20)

Şekil 17 mevcut en son verilere dayalı olarak hazırlanan OECD istatistiklerinde, bilimin ve yeniliğin büyümeye ve küresel ve toplumsal zorluklara katkısını artırmak için son politika ve araçların karşılaştırmalı analizini sağlayan rapordan elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuştur. 2006-2014 yıllarına ait bilim, teknoloji ve inovasyon göstergeleri GSYİH'nın ortalaması şeklinde alınmıştır.

⁸ Şekil'de kullanılan veriler 2020 Temmuz ayında güncellenen OECD veri tabanından Uluslararası Patent Sınıflandırmasına göre IP5 patent ailesinden elde edilmiştir. [OECD Statistics](https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en), 26.04.2021.

Kore, Japonya, ABD ve Almanya’da bilim, teknoloji ve inovasyonun GSYİH’den aldığı pay sırayla %3,55, %3,42, ve %2,71’dir ve bu ülkeler OECD ortalamasının üstünde yer almaktadır.

Şekil 17: Seçilmiş OECD Ülkelerinde 2006-2014 Yılları Arası Bilim, Teknoloji ve İnovasyon Göstergeleri

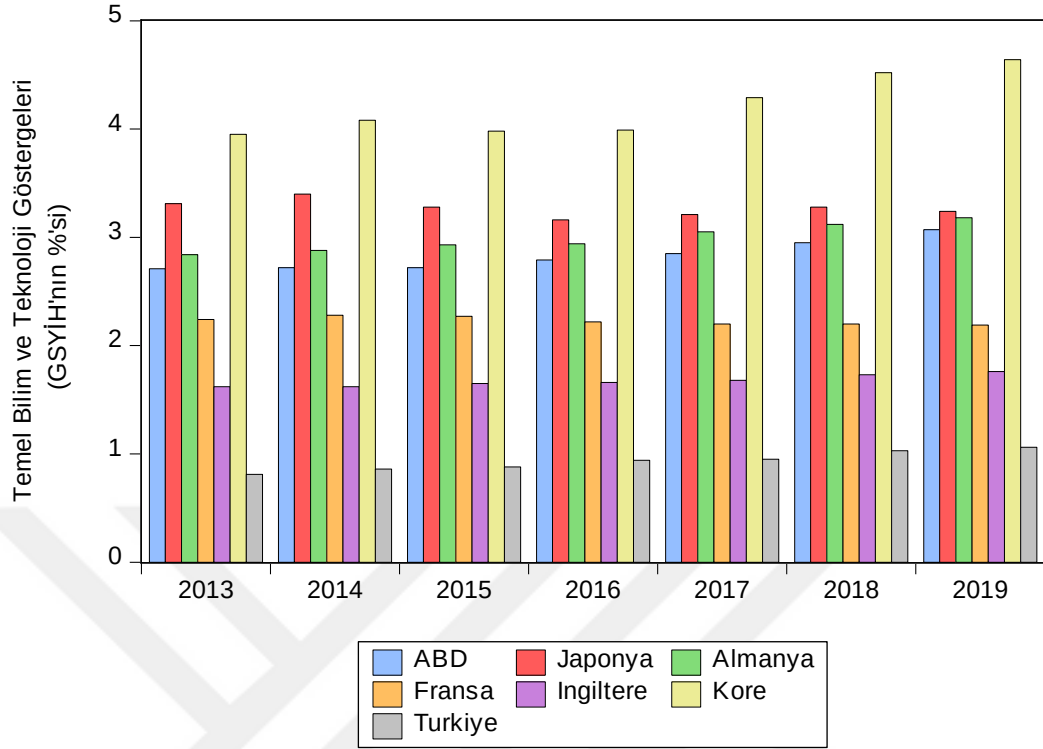


Kaynak: OECD.⁹ (<https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en>) 26.04.2021.

Şekil 18’de 2013-2019 yılları arasında seçilmiş OECD ülkelerinin GSYİH’den temel bilim ve teknolojiye ayrılan pay verilmiştir. 2013-2019 yılları itibariyle temel bilim ve teknolojiye GSYİH’den ayrılan pay sırayla Kore, Japonya, Almanya ve ABD’de en yüksek çıkmıştır.

⁹ OECD’den alınan veriler OECD tarafından en son 01.01.2017 tarihinde güncellenmiştir.

Şekil 18: 2013-2019 Yılları Arası Seçilmiş OECD Ülkelerinin Her Birinde Gerçekleşen Temel Bilim ve Teknoloji Göstergeleri



Kaynak: OECD, 02.02.2020¹⁰. (<https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en>)

2020 yılında ortaya çıkan Covit-19 virüsü bilim, teknoloji ve inovasyon çalışmalarının farklılaşmasına ve bu çalışmaların Covid 19'a belli bir tepkiyle karşılık vermelerini sağlamıştır. İnovasyon ve teknolojik gelişmelerin belli bir ihtiyaçla ortaya çıkması, Covit 19 ile birlikte bir zorunluluk haline gelmiş ve belki yıllar sonra gerçekleşecek teknolojik uygulamalar hızlanmıştır. Bu süreçte bilim, teknoloji ve inovasyon Covit-19'a destek olmuşken Covit-19 genel olarak bilim, teknoloji ve inovasyon çalışmalarını yavaşlatmıştır. Teknoloji ve inovasyon çalışmaları hastalığın tedavisi amacıyla geliştirilmeye çalışılan ilaç ve aşı çalışmalarına yoğunlaşmıştır. Ekim 2020'nin ortasına kadar Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Ulusal Sağlık Enstitüsü veritabanı, dünya çapında Covid 19 ile ilgili 3600'den fazla denemenin yapıldığını veya halen devam ettiğini göstermektedir. Çalışmaların büyük çoğunluğu Covid 19'u tedavi etmek için yapılan klinik araştırmalardır ve bunların yaklaşık %30'u Amerika Birleşik Devletleri'nde kayıtlıdır. (OECD, 2021:18-19)

¹⁰ OECD'den alınan ve iki yılda bir yapılan yayına ait veriler OECD tarafından en son Mart 2021 tarihinde güncellenmiştir.

2.2.3. Seçilmiş OECD Ülkelerinin Patent, Bilgi Teknolojileri ve İnovasyon Göstergeleri ve Endüstri 4.0 İle Potansiyel Büyüme

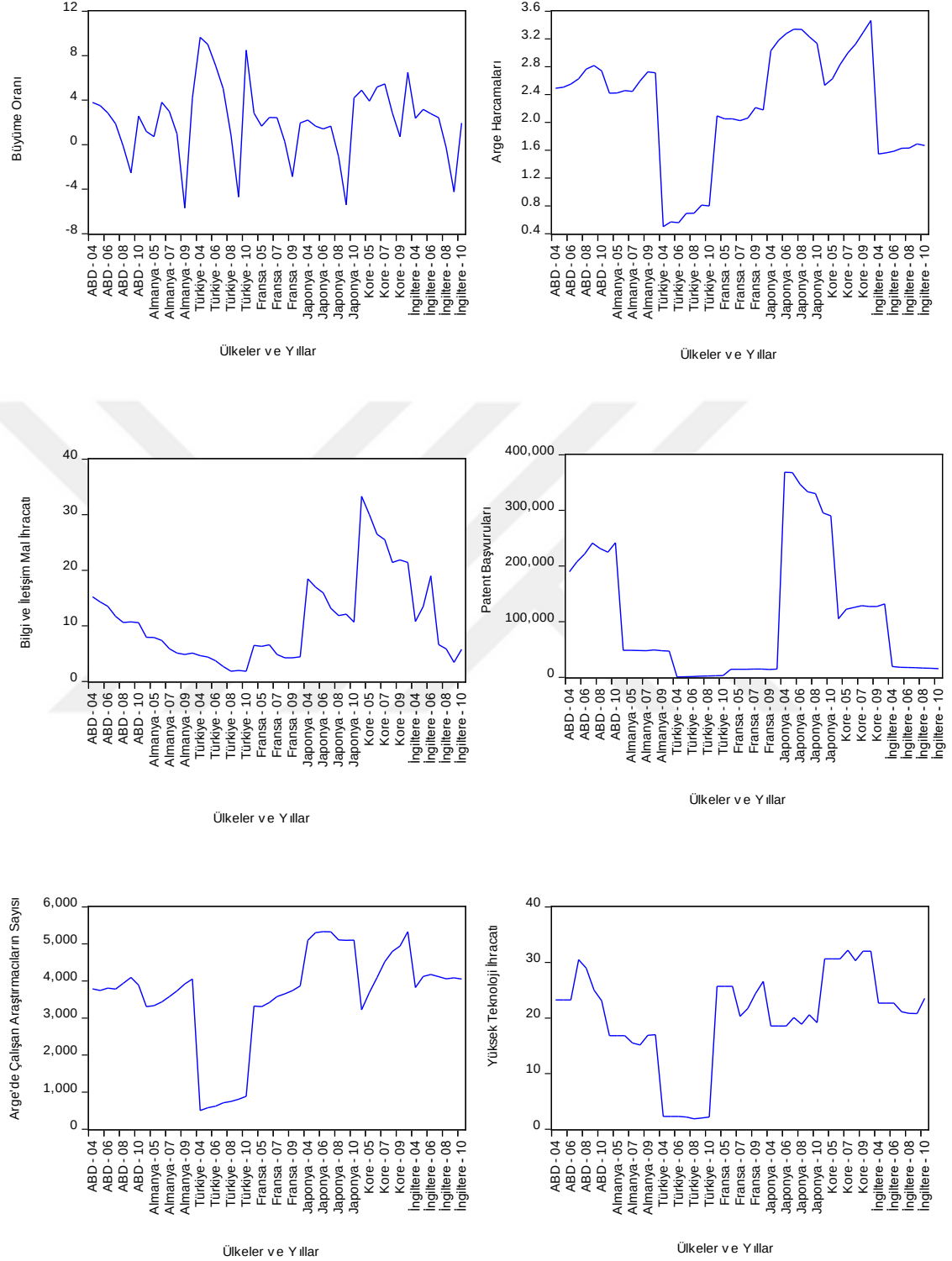
Dördüncü endüstri devrimi, imalatçı ülkeler arasında artan belirsizliklerin yanı sıra ülkeler arasında ve içinde yeni bir rekabete yol açmıştır. İlerleyen yıllarda teknolojik gelişmelerin gerisinde kalan ülkelerin rekabet edebilirliğinin azalması ve küresel ticaretten aldığı payında düşmesi tahmin edilebilmektedir. Bununla birlikte, son teknolojik gelişmeleri yakalayan ülkeler açısından üretim, ticaret hacmi, rekabet edebilirlik artacak bunun sonucunda da ülkenin uluslararası varlığını ortaya koyması için eşzamanlı bir fırsat ortaya çıkmış olacaktır. Ülkelerde, endüstri politikası ve stratejisi var olsa da, son yıllarda odak noktası teknolojiye ve yeniliğe odaklanan hükümetler dördüncü endüstri devrimi'nin fırsatları ve zorluklarına ayak uydurmaya çalışıyor. Bu aşamada ülkeler yaratılan inovasyon ve teknolojinin değer yaratması ve ticarileştirilmesi için uygun altyapının oluşturulması ve güçlendirilmesi ve üretilen malları destekleyen uygun ticaret politikalarının geliştirilmesini amaçlamaktadır. Dördüncü endüstri devrimi'nin teknolojileri fabrikanın dört duvarının ötesinde faydalar sağlayarak kapsamlı bir büyüme gerçekleştirip küresel ekonomide önemli bir gelir yaratıp ve toplum tüketimine yeni ürünler ve hizmetler sunacaktır. (WEF ve McKinsey&Company, 2018: 3-4)

Aşağıda Şekil 19 ve Şekil 20'de, inovasyon ve teknolojik gelişmeleri temsil eden arge harcamaları, bilgi ve iletişim mal ihracatı, patent başvuru sayısı, arge de çalışan araştırmacı sayısı, ileri teknoloji ihracatı ve büyüme değişkenleri arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Şekil 20, 2004-2010 yılları verilerinden yararlanılarak Şekil 21, ise 2011-2017 yılları verilerinden yararlanılarak oluşturulmuştur. Ancak büyüme değişkeni birçok ekonomik faktörden etkilendiği için elimizdeki değişkenlerin büyüme üzerindeki etkisini sınırlı olarak görmekteyiz. Şekil 19 de görüldüğü gibi 2004-2010 yılları arasında ABD'de büyüme; arge harcamaları, patent başvuruları, argedeki araştırmacı sayısı ile ters oranlı, bilgi ve iletişim mal ihracatıyla doğru orantılı, Japonya'da büyüme; patent ve bilgi ve iletişim mal ihracatı arasında doğru orantılı, arge harcamaları arasında ters orantılı, Kore'de patent, arge harcamaları ve argede çalışan araştırmacılar arasında doğru orantılı olduğu ve aynı yönlü pozitif bir ilişki ortaya çıkmıştır.

Şekil 20’de, Şekil 19’ye göre değişkenlerin yönü arasında uyum daha fazladır. Buna göre ABD’de büyüme oranı patent başvuruları arasında doğru orantılı olduğu, nispeten ileri teknoloji ihracatının da aynı yönlü olduğu, Türkiye’de arge harcamaları, patent başvuru sayısı, araştırmacı sayısı ve yüksek teknolojili ürün ihracatı arasında doğru orantı olduğu görülmektedir. Fransa’da büyüme ve arge de çalışan araştırmacı sayısı ve yüksek teknoloji ihracatı arasında doğru orantı, Japonya’da patent başvuru sayısı, bilgi ve iletişim mal ihracatı ve ileri teknoloji ihracatı arasında doğru orantı, Kore’de arge harcamaları, bilgi ve iletişim mal ihracatı, patent başvuru sayısı, ileri teknoloji ihracatı ve arge de çalışan araştırmacı sayısı arasında doğru orantı çıkmıştır.



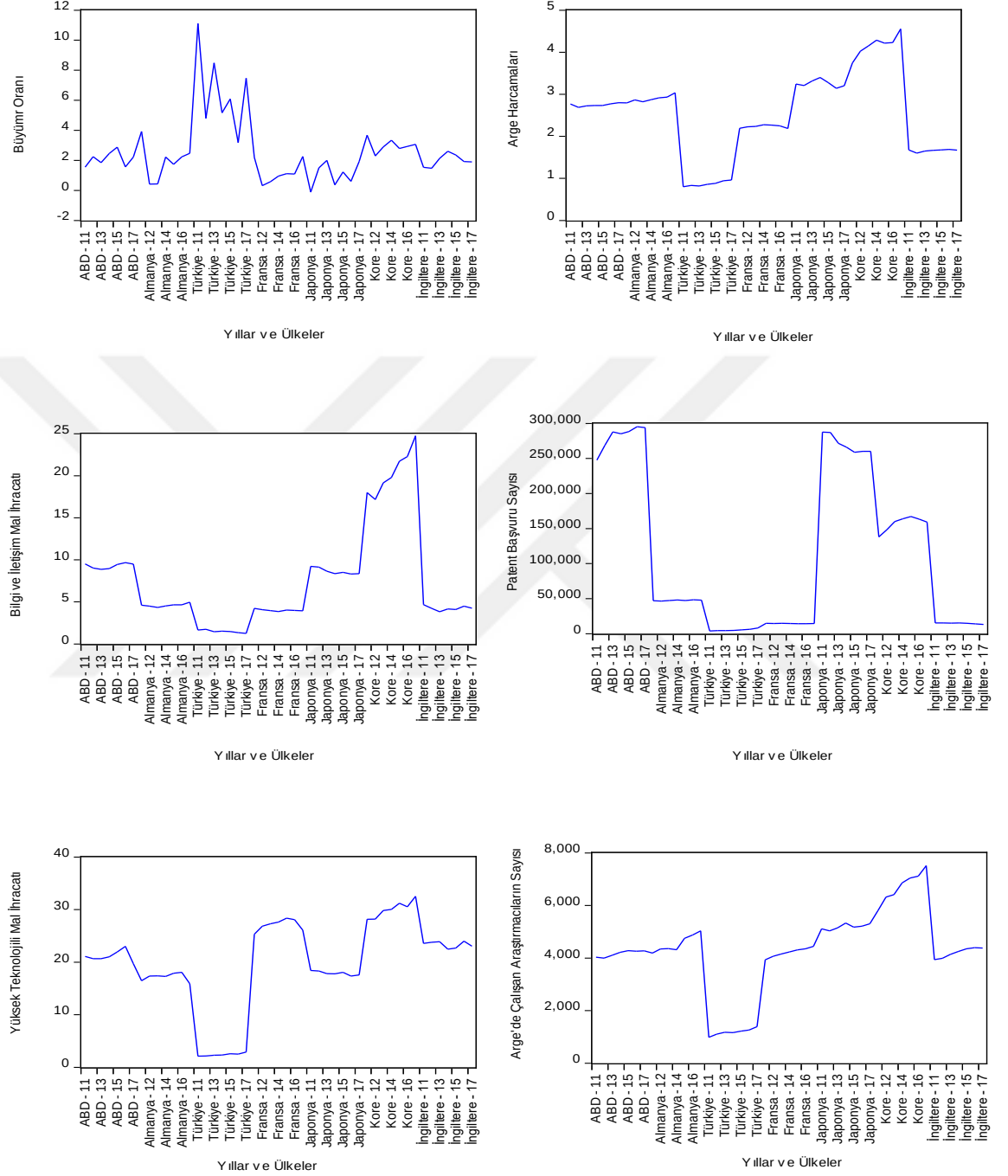
Şekil 19: 2004-2010 Yılları Arasında Seçil miş OECD Ülkelerinde Arge Harcamaları, Bilgi ve İletişim Mal İhracatı, Patent Başvuru Sayısı, Arge’de Çalışan Araştırmacı Sayısı, İleri Teknoloji İhracatı, Büyüme Arasındaki Değişim



Kaynak: OECD. 02.02.2020. (<https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en>)¹¹

¹¹ Yüksek teknoloji mal ihracatı Birleşmiş Milletler, WITS platformu üzerinden alınan veritabanından elde edilmiştir.

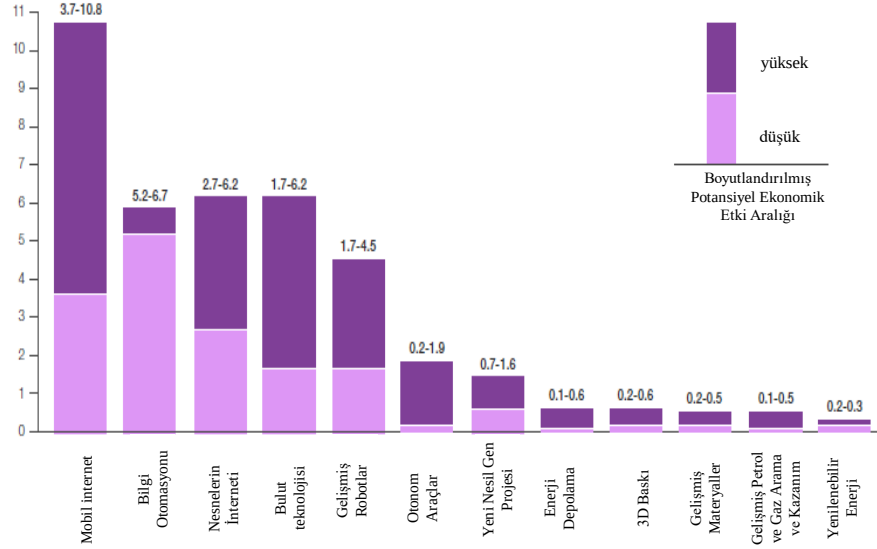
Şekil 20: 2011-2017 Yılları Arasında Seçil miş OECD Ülkelerinde Arge Harcamaları, Bilgi ve İletişim Mal İhracatı, Patent Başvuru Sayısı, Arge’de Çalışan Araştırmacı Sayısı, İleri Teknoloji İhracatı, Büyüme Arasındaki Değişim



Kaynak: OECD, 02.02.2020. (<https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en>)¹²

¹² Yüksek teknoloji mal ihracatı Birleşmiş Milletler, WITS platformu üzerinden alınan veritabanından elde edilmiştir.

Şekil 21: Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Tahmini Potansiyel Ekonomik Etkisi, ABD Doları (trilyon), Yıllık



Kaynak: Manyika ve diğerleri 2013.'den WEF, 2016.

Dünya Ekonomik Forumu tarafından yayınlanan Küresel Riskler 2016 Raporuna göre gelişmekte olan ekonomiler de demografik ve servet eşitsizlikleriyle birlikte ekonomik ve sosyal baskının artması dolayısıyla uzun vadeli eğilimlerle, büyümeyi sağlamak için acil olarak yeniliğe ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte büyümenin ana itici gücü olan verimliliğin düşüş eğiliminde olduğu ve bu düşüşten kurtulabilmesi için yeni teknolojilerin yeni bir üretkenlik ve büyüme dalgası yaratacağı beklenmektedir. İnovasyonun hızının artması teknolojinin de yayılmasını hızlandıracak ve iş modellerini, süreçleri ve ürünleri hızlı adaptasyon sağlayacak şekilde bozup değiştirecektir. 2025 yılı öngörülerini içeren araştırmaya göre, mobil internet, bilgi otomasyonu, nesnelerin interneti, bulut teknolojisi, gelişmiş robotlar gibi internetle ilgili teknolojilerin en fazla yıkıcı etki yapacağı ve sonuçta da en fazla ekonomik faydayı sağlayacağı Şekil 21'de ifade edilmiştir. (WEF, 2016: 18). Dijital boşluklar nedeniyle verilere ve dijital teknolojilere erişim farklılığı ülkeler arasında ve içinde büyümektedir. 2019 verilerine göre internet kullanımı, yüksek gelirli

lkelerde nfusun% 87'sinden fazlasında, düşük gelirli ülkelerde % 17'den azında görülmüştür. (WEF, 2021: 30). lkeler içinde dijital kaynaklara erişim, yüksek gelirli ülkelerde bile sosyoekonomik duruma göre değişiklik gösterebilmektedir. Birleşik Krallık'ın önde gelen internet sağlayıcıları, koronavirüs salgını sırasında sabit hatlı geniş bant üzerindeki veri sınırlarını kaldırmayı kabul ederken, bu, internet verisi olmayan tahmini 1,9 milyon hane veya 25,9 milyon kullandıkça de müşterisi için geçerli değildir. Birleşik Krallık'ta, savunmasız haneler pandemi sırasında geçim kaynağı ve internete bağlanabilirlik arasında seçim yapmak zorunda kalmıştır. (Kelly, 2020)

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

AMPİRİK ANALİZ

Ekonometrik modeller iktisat biliminde iktisadi verilerin analize tabi tutulup yorumlanması ve iktisadi politikaların geliştirilmesinde kullanılır. Ekonometrik veriler, yatay kesit verileri, zaman serileri ve panel veriler şeklinde tanımlanır. Bu modellemeler regresyon analizi ve zaman serileri analizi ve panel analizle gerçekleşir. Regresyon analiziyle yatay kesit analizi yapılırken zaman serileriyle dikey boyutlu analiz yapılır. Panel verilerin yapılan çalışmalara katkısı, bu verilerin hem yatay hem de dikey boyutlu olmaları kısaca hem uzam hemde zaman boyutlu olmalarıdır. (Kutlar, 2017:11)

Panel veri analizi gün geçtikçe analizlerde daha fazla kullanılmaktadır. Panel analizlerin bu denli kullanılması farklı birimlerin zaman boyutuyla analize tabi tutulması ve daha fazla sonucun karşılaştırılmasını sağlamasıdır. Diğer bir deyişle panel veri modellemesinde yatay kesit sayısını ifade eden N tane birim, zaman boyutunu ifade eden ve her bir yatay kesit birimine karşılık gelen T tane gözlem bulunmaktadır. Yatay ve dikey verilerin panel analize tabi tutulmasıyla daha fazla bilgi ve sonuca ulaşılır.

Panel verileri dengeli panel ve dengesiz panel olarak iki grupta analize tabi tutulabilir. Bir panel veri setindeki birim ile gözlem sayısı biribirine eşitse dengeli panel, bazı birimler için bazı bilgilere ulaşılamadığı durumlarda ise dengesiz panel analizi yapılır.

Tez çalışmasının bu bölümünde öncelikle kurulan hipotez çerçevesinde kullanılacak değişkenlere ait veri seti tanıtılmakta, çalışmanın amacı ve kullanılacak

yöntem belirlenmekte ve yöntem kapsamında kullanılacak testlerin teorik ve kavramsal çerçevesi sunulduktan sonra elde edilen bulgular yorumlanmaktadır.

3.1. EKONOMETRİK MODELELMENİN TEMEL AMACI VE YÖNTEMİ

3.1.1. Analizin Temel Amacı

Çalışmasında dört model oluşturulmuştur. Öncelikle ilk modellemeye inovasyon göstergesi olarak alınan arge harcamaları, bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısı, araştırma geliştirmede çalışan araştırmacıların ve teknolojik devrimin temelinde yer alması gereken değişkenlerin başında olan yeni buluşları temsil eden patent başvuruları ve patent uygulamalarının ekonomik hayata geçtiğinin ispatı niteliğinde olan bilim ve teknoloji ihracatının OECD ülkeleri arasında yer alan ve endüstri 4.0'a öncülük eden ülkelerin ekonomik büyümeleri üzerine pozitif etkisi olduğunu bulmak çalışmanın ilk amacıdır.

İkinci modellemeye büyüme, arge harcamaları, argede çalışan araştırmacılar, patent ve bilimsel ve teknik dergi makale sayısının bilgi ve iletişim mal ihracatı üzerine pozitif etkisi olduğunu kanıtlamak bir diğer amaçtır.

Üçüncü modellemeye arge harcamaları, argede çalışan araştırmacılar, bilgi ve iletişim mal ihracatı, patent ve bilimsel ve teknik dergi makale sayısının yüksek teknoloji ihracatı üzerine pozitif etkisinin olduğunu kanıtlama çalışmak üçüncü amaçtır.

Dördüncü modellemeye yüksek teknoloji ihracatı, arge harcamaları, argede çalışan araştırmacılar, bilgi ve iletişim mal ihracatı, patent ve bilimsel ve teknik dergi makale sayısının ekonomik büyüme üzerine pozitif etkisinin olduğunu bulmak nihai amacımızdır.

Kısaca bu tez çalışmasının genel amacı; endüstri 4.0'ın ortaya çıkmaya başladığı yıllardan itibaren inovasyon ile birlikte teknolojik devrimlerin gerçekleştiği seçilmiş OECD ülkeleri arasında karşılaştırmanın yapılması ve endüstri 4.0'ı da göz önüne alarak, inovasyon ve teknolojik değişimleri ifade eden değişkenlerin bilgi ve iletişim mal ihracatı ve yüksek teknoloji ihracatı üzerine dolayısıyla büyüme üzerine pozitif etkisi olduğu ortaya koyulmaya çalışılacaktır.

3.1.2. Çalışmanın Yöntemi

Tez çalışmasının modellemesi Pesaran vd. (1999) tarafından geliştirilen havuzlanmış ortalama grup (PMG), ARDL yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu bağlamda model 1’de bağımlı değişken olarak ekonomik büyümeyi temsil eden değişken yıllık GSYİH değişkeni ve endüstri devrimlerinin ve dolayısıyla 4. endüstri devriminin de itici gücü olan inovasyonu temsil etmek üzere patent başvuruları ve diğer tüm değişkenler bağımsız değişken; model 2-3 ve 4’de ise sırayla bağımlı değişken bilgi ve iletişim teknolojisi ürünleri ihracatı ve yüksek teknoloji ihracatı ve büyüme yer alırken diğer tüm değişkenler bağımsız değişken olarak modellere dahil edilmiştir. Çalışmanın modellemesi şu şekildedir:

$$\text{Model 1: } \ln G_{it} = \beta_{1it} + \beta_2 AH_{it} + \beta_3 R_{it} + \beta_4 B_{it} + \beta_5 P_{it} + \beta_6 S_{it} + u_{it}$$

$$\text{Model 2: } \ln B_{it} = \alpha_{1it} + \alpha_2 \ln G_{it} + \alpha_3 AH_{it} + \alpha_4 R_{it} + \alpha_5 P_{it} + \alpha_6 S_{it} + u_{it}$$

$$\text{Model 3: } \ln YTI_{it} = \gamma_{1it} + \gamma_2 AH_{it} + \gamma_3 R_{it} + \gamma_4 B_{it} + \gamma_5 P_{it} + \gamma_6 S_{it} + u_{it}$$

$$\text{Model 4: } \ln G_{it} = \mu_{1it} + \mu_2 \ln YTI_{it} + \mu_3 AH_{it} + \mu_4 R_{it} + \mu_5 B_{it} + \mu_6 P_{it} + \mu_7 S_{it} + u_{it}$$

Her ülke bir birim olarak ele alındığında dört model için ifade edilen $i=1,2,3,\dots,N$ yatay kesit sayısını gösterirken, $t=1,2,3,\dots,T$ zaman boyutunu u_{it} hata terimini ifade etmektedir. Bu çalışmada yatay kesit sayısı yedi ($i=7$) zaman boyutu on sekiz ($t=18$) olacak ve veri seti $i*t= 7*18$ boyutlu olacaktır. Kullanılacak veri setinde zaman boyutu yatay kesit sayısından fazla olduğu için uzun panel adı altında çalışılacaktır.

2000-2017 yıllarını kapsayacak şekilde endüstri 4.0’a öncülük eden seçilmiş OECD ülkeleri için akademik literatürü de temel alarak ve destekleyerek inovasyon ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin incelendiği tez çalışmasında panel veri analizi kullanılmış olup uygulanan metodolojik sıralama şu şekildedir:

- Değişkenlerin yatay kesit bağımlılığının varlığının analizi için Breusch ve Pagan (1980)’in Langrange Multiplier (LM) testi, Pesaran (2004) Langrange Multiplier (LM) testi, Pesaran düzeltilmiş Langrange Multiplier (LM) (2008) testi, Baltagi, Feng, and Kao (2012) bias-düzeltilmiş LM testi kullanılmıştır.

- Modele dâhil edilen değişkenlerin birim kök içerip içermediği Pesaran (2007)’in CADF durağanlık testi, ile ortaya konulmaya çalışılmıştır.

- Panel veri analizlerinde eğim katsayılarının birimler arasında değişip değişmediğinin tespiti için Pasaran ve Yamagata'nın 2007 yılında yaptıkları ve 2010 yılında kabul görmüş çalışmalarından yararlanarak Delta homojenite testi gerçekleştirilmiştir.
- Modele dâhil edilen değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin varlığının tespiti için Pedroni eş bütünleşme analizi (1999) kullanılmıştır.
- Analiz sonuçları, bağımsız değişkenlerin uzun ve kısa vadede bağımlı değişkenler üzerindeki etkisinin boyutu, yönü ve istatistiksel olarak anlamlılığı, ayrıca hata düzeltme mekanizmasının çalışıp çalışmadığı, kesit bağımlılığına izin veren ve diğer tahmin edicilere göre daha tutarlı sonuçlar veren Pesaran vd. (1999) tarafından geliştirilen Havuzlanmış Ortalama Grup (PMG), ARDL yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

3.2. VERİ SETİ, ÖN TEST SINAMALARI VE EKONOMETRİK MODELLEME

3.2.1. Veri Seti Tanıtımı

Bu çalışmada dünya piyasalarında ekonomik etkinliği de göz önünde bulundurularak, OECD ülkeleri arasında yer alan ABD, Almanya, Fransa, Japonya, Kore, İngiltere, Türkiye gibi yedi ülke analize dahil edilmiştir. Uygulanacak analiz kapsamında zaman periyodu ve ülke seçiminde, verilerin ulaşılabilirliği göz önünde bulundurularak 2000-2017 dönemini kapsayan yıllık veriler kullanılmıştır. Özellikle patent verilerinden kaynaklı olarak güncel verilere ulaşamaması ve ulaşılan verilerin 2017 yılına kadar elde edilmesi çalışmanın kısıtıdır. Analizde kullanılan değişkenlerin tanımları ve elde edildiği kaynaklar Tablo 2'de ifade edilmiştir.

Tablo 2: Analizde Kullanılan Değişkenlerin Tanımları ve Kaynakları

Değişken	Açıklama	Kaynak
lnG	Yıllık GSYİH büyüme oranı (sabit 2010 ABD doları)	Dünya Bankası-Dünya Bankası ulusal hesap verileri ve OECD Ulusal Hesapları veri dosyaları.
AH	Gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) yüzdesi olarak ifade edilen yurtiçi arge harcamaları	Dünya Bankası-UNESCO İstatistik Enstitüsü(http://uis.unesco.org/)
R	Ar-ge ile ilgilenen araştırmacıların sayısı	Dünya Bankası-UNESCO İstatistik Enstitüsü(http://uis.unesco.org/)
B	Bilgi ve iletişim teknolojisi ürünleri ihracatı, bilgisayarlar ve çevre birimleri, iletişim ekipmanları, tüketici elektronik cihazları, elektronik bileşenler ve diğer bilgi ve teknoloji ürünlerini (çeşitli) içerir.	Dünya Bankası-Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı'nın http://unctadstat.unctad.org/ReportFolders/reportFolders.aspx adresindeki UNCTAD stat veritabanı.
P	Patent başvuruları, Dünya Çapında Patent İşbirliği Antlaşması prosedürü veya ulusal bir patent ofisi ile yapılan patent başvurularıdır.	Dünya Bankası-Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü (WIPO), WIPO Patent Raporu: Dünya Çapında Patent Etkinliği İstatistikleri.
S	Bilimsel ve teknik dergi makaleleri, aşağıdaki alanlarda yayınlanan bilimsel ve mühendislik makalelerinin sayısını ifade eder: fizik, biyoloji, kimya, matematik, klinik tıp, biyomedikal araştırma, mühendislik ve teknoloji ile yer ve uzay bilimleri.	Dünya Bankası-Ulusal Bilim Vakfı, Bilim ve Mühendislik Göstergeleri.
YTİ	Yüksek teknoloji ihracatı, havacılık, bilgisayar, ilaç, bilimsel aletler ve elektrikli makineler gibi yüksek ar-ge yoğunluğuna sahip ürünlerdir.	Dünya Bankası, Birleşmiş Milletler, WITS platformu üzerinden alınan veritabanı

Çalışmanın analiz kısmında, büyüme (G), inovasyon göstergesi olarak yüksek teknoloji ihracatı (YTİ), arge harcamaları (AH), argede çalışan araştırmacı sayısı (R), patent (P), bilim ve teknolojik dergi makale sayısını (S) ve bilgi ve iletişim mal ihracatı (B), gibi değişkenler sınırlandırılmış OECD ülkeleri ile test edilmektedir.

3.2.2. Ön Test Sınamaları

3.2.2.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Analizi ve Sonuçları

Tipik olarak panel veri modellerin de paneli oluşturan birimlerin kesitsel olarak bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Yatay kesit bağımlılığı ise panel veri modellerinde her bir birim için hesaplanan hata terimleri arasında bağımlılık olduğunu gösterir. Bu özellikle büyük kesit boyutuna (N) sahip paneller için geçerlidir. Orijinal olarak Zellner (1962) tarafından geliştirilen N'nin küçük olduğu (10 veya daha az olduğu) ve panelin (T) zaman boyutunun yeterince büyük olduğu panellerde, hataların çapraz korelasyonları, kullanılarak modellenabilir ve istatistiksel olarak test edilebilir. N, T $\rightarrow \infty$ olarak sabitlendiğinden, log-olasılık oran testleri dahil geleneksel zaman serisi teknikleri uygulanabilir. Böyle bir testin basit bir örneği, artıkların karekök korelasyonunun ortalamasına dayanan Breusch ve Pagan'ın (1980) Lagrange çarpanı (LM) testidir. Bununla birlikte, N'nin büyük olduğu durumlarda standart teknikler uygulanmayıp, diğer yaklaşımlar dikkate alınmalıdır. (Paseran, 2004: 2)

Literatürde yatay kesit bağımlılığı için çeşitli testler vardır. Metodolojik açıklamalar için aşağıdaki panel veri modeli göz önünde bulundurulmuştur.

$$y_{it} = \beta'_i x_{it} + u_{it}, \text{ için } i = 1, 2, 3, \dots, N; t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (1)$$

3.2.2.1.1. Breusch-Pagan (1980) $CDLM_1$ Testi

En iyi bilinen kesit bağımlılığı tanısı Breusch-Pagan (1980) Lagrange Multiplier (LM) test istatistiğidir. Breusch-Pagan LM testi, kalıntıların karesi alınmış korelasyon katsayılarının ortalamasına bağlıdır ve $T > N$ olduğu durumlarda uygulanabilir. Test aşağıdaki LM istatistiğine dayanmaktadır. (Paseran, 2004: 4)

$$CDLM_1 = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N p_{ij}^2,$$

p_{ij}^2 , kalıntıların korelasyon katsayısıdır. Spesifik olarak,

$$p_{ij} = p_{ji} = \frac{\sum_{t=1}^T e_{it} e_{jt}}{(\sum_{t=1}^T e_{it}^2)^{1/2} (\sum_{t=1}^T e_{jt}^2)^{1/2}}$$

$$e_{it} = y_{it} - \hat{\beta}'_i x_{it} \quad (\text{Paseran ve diğerleri, 2008: 3}) \quad (2)$$

belirir ve (1). denklemdeki u_{it} 'nin EKK ile tahminini ifade eder. Breusch-Pagan $CDLM$ testi yatay kesit birimlerinin belirli bir sıralamasını gerektirmez, özel bir koşula gerek olmaksızın daha genel olarak uygulanabilir.

3.2.2.1.2. Pesaran (2004) $CDLM_2$ Testi

Panel veri modellerin paneli oluşturan birimlerin kesitsel olarak bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Pesaran'nın önerdiği bağımsızlık testi şöyledir: (Paseran, 2004: 2)

$$CDLM_2 = \sqrt{\frac{2T}{N(n-1)}} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{p}_{ij} \right)$$

Normal hatalara sahip panel modelleri test istatistiğinin aksine, (2). istatistik, yit ve xit'in koşulsuz araçları zamanla değişmediği ve yenilikleri simetrik olarak dağıtıldığı sürece, eğim katsayılarında ve hata varyanslarında birden fazla kopmaya

maruz kalan heterojen dinamik modeller de dahil olmak üzere geniş bir panel veri modeli sınıfı altında T ve N'nin sabit değerleri için tam olarak sıfır anlamına gelir.

3.2.2.1.3. Pesaran Düzeltilmiş Langrange Multiplier (LM) (2008) Testi

Berusch-Pagan (1980) LM testi zaman boyutu yatay kesit boyutundan büyük olduğunda ($T > N$) uygulanabilirken, Pesaran (2004) CD testi ise her durumda uygulanabilir. Ancak $N > T$ olduğunda, ampirik uygulamalarda sapmalı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Pesaran vd. tarafından 2008 yılında yapılan çalışma da LM istatistiği üzerindeki düzeltmeyle bu sorun giderilmiştir. (Pesaran ve diğerleri, 2008: 5)

$$PESARAN\ CDLM_{adj} = \sqrt{\frac{2}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left[p_{ij}^2 \left(\frac{(T-k)p_{ij}^2 - \mu_{Tij}}{v_{Tij}} \right) \right] \sim N(0,1)$$

Denklemden μ_{Tij} ortalamayı, v_{Tij} varyansı göstermektedir. Düzeltilmiş CDLM ($CDLM_{adj}$) testi olarak adlandırılan $N > T$ ve $T > N$ iken; her durumda uygulamaya olanak veren bu test yatay kesit bağımlılığını sapmasız olarak tahmin edebilmektedir.

3.2.2.1.4. Baltagi, Feng, ve Kao (2012) Bias-Düzeltilmiş LM Testi

Sabit etkiler için $T_{ij \rightarrow \infty}, N \rightarrow \infty$, ve $N/T_{ij} \rightarrow c_{ij} \in (0, \infty)$, ile homojen panel veri modeli. (Baltagi ve diğerleri, 2012: 8)

$$LM_{BC} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (T\hat{p}_{ij}^2 - 1) - \frac{n}{2(T-1)}$$

Baltagi, ölçeklenmiş LM'nin, küçük T_{ij} için içerideki kalıntıların kesin olarak tahmin edilmediğinden, rastlantısal parametreler probleminden kaynaklanan asimptotik bir $N/(2(T-1))$ terimine sahip olduğunu göstermektedir.

Hipotez testleri:

H_0 = Her i birimi için, u_{it} hata terimi 0 ortalama ve sabit varyansla bağımsızdır. Yani yatay kesit bağımlılığı yoktur.

H_1 = Yatay kesit bağımlılığı vardır.

Test sonuçlarına göre H_0 hipotezinin kabul edilmesi ülkeler arasında yatay kesit bağımlılığının olmadığı anlamına gelmekte ve birim kök testi analizinin birinci nesil testlerle yapılması gerekmektedir. H_0 hipotezinin reddedilmesi durumunda ise ülkeler arasında yatay kesit bağımlılığının olduğu sonucu çıkar ve analiz ikinci nesil birim kök testleriyle yapılır. (Baltagi, 2008: 284).

Tablo 3’de yer alan sonuçlara göre, LogB, LogYTİ, AH, P, R ve S değişkenleri ile eşbütünleşme denklemi için yatay kesit bağımsızlığını ifade eden sıfır hipotezi reddedilmektedir. Buna göre LogB, LogYTİ, AH, P, R ve S serilerini oluşturan yatay kesit birimleri arasında ve eşbütünleşme denkleminde yatay kesit bağımlılığı söz konusudur. Yani paneli oluşturan herhangi bir ülkeye ait değişkenin, diğer bir ülkeye ait değişkenle de ilişkili olduğu söylenebilir.

Tablo 3: Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları

Değişkenler	CD testleri	CDLM1 BP-1980	CDLM2 Pesaran 2004	CDLMadj Pesaran 2008	LMBC Baltagi vd.-2012
logG	T istatistiği	70.61856	60.00226	76.56310	74.50428
	Olasılık değeri	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
logB	T istatistiği	323.1182	17.95804	46.61785	46.41197
	Olasılık değeri	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
logYTİ	T istatistiği	130.4861	-0.754769	16.89408	16.68819
	Olasılık değeri	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.4504
AH	T istatistiği	197.5474	13.52246	27.24185	27.03597
	Olasılık değeri	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
P	T istatistiği	223.8296	-1.966.924	31.29729	31.09141
	Olasılık değeri	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0492**
R	T istatistiği	240.3230	14.69565	33.84228	33.63640
	Olasılık değeri	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
S	T istatistiği	282.0537	16.14327	40.28146	40.07558
	Olasılık değeri	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*

Not: *, ** ve *** serilerin sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde yatay kesit bağımlılığının olduğunu göstermektedir. Parantez içindeki değerler olasılık değerlerini ifade etmektedir.

3.2.2.2. Panel CADF Ve CIPS Birim Kök Testi (Durağanlık Analizi) Analizi Ve Sonuçları

Son yıllarda panel veri analizinin diğer analiz türlerine göre aynı anda zaman ve kesit boyutunu içermesi nedeniyle uygulama alanı genişletilmiştir. Bu durum panel veriler için birçok birim kök testinin geliştirilmesini sağlamıştır. Durağanlık testleri yatay kesitlerin birbirinden bağımsız olup olmamalarına göre birinci nesil ve ikinci nesil birim kök testleri olarak ikiye ayrılır. Birinci nesil testler yatay kesit birimler arasında korelasyon olmadığını (paneli oluşturan yatay kesitlerin bağımsız olduğu) varsaymaktadır.(Sütçü ve Bozan, 2019: 300)

Birinci nesil panel birim kök testlerinden en çok bilinen ve uygulananları arasında Levin, Lin ve Chu (2002), Breitung (2005), Hadri (2000), Maddala ve Wu (1999), Im, Pesaran ve Shin (IPS, 2003), Choi (2001) birim kök testleri yer almaktadır.(Kutlar, 2017:138) Birinci kuşak testlerdeki varsayıma göre analizdeki birimlerin herhangi birine gelen değişimden, diğer yatay kesit birimlerinin etkilenmediği veya aynı oranda etkilendiği farz edilir. Yatay kesit verileri arasında korelasyon olabileceğini ve yatay kesit bağımlılığını dikkate alarak ikinci nesil birim kök testleri geliştirilmiştir. Başlıca ikinci nesil birim kök testleri ise Bai ve Ng (2004), Taylor ve Sarno (MADF, 1998), Breuer, Mcknown ve Wallace (SURADF, 2002), Pesaran (CADF, 2006, 2007) ve Carrion-i Silvestre vd. (PANKPSS, 2005)'dir (Yıldırım ve diğerleri, 2013: 88; Pesaran, 2007: 266). Analizlerde ikinci nesil birim kök testlerinin kullanılabilmesi için öncelikle veri setindeki yatay kesit bağımlılığı test edilmesi gerekmektedir. Yatay kesit bağımlılığı varsa ikinci nesil birim kök testlerinin kullanılması daha uygun olmaktadır. Tez çalışmasında kullandığımız veriler için yatay kesit bağımlılığı olup olmadığı bir önceki bölümde araştırılmıştır ve bu testlerin sonucunda birimler arasında yatay kesit bağımlılığı tespit edilmiştir. Kesit bağımlılığı sorununu ele almak ve serilerin durağanlığı analizi için ikinci nesil panel birim kök testlerinden Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CADF testi kullanılacaktır. CADF testi ile modeldeki tüm kesitler için ayrı ayrı birim kök testi uygulanabilmektedir. Pesaran (2007) CADF testi, birim kök testlerini tahmini faktörlerden sapmalara dayandırmak yerine, standart ADF regresyonlarını gecikmeli düzeylerin kesit ortalamaları ve her bir serinin ilk farkları ile çoğaltır. Bir diğer ifadeyle; Pesaran (2007) CADF testini, bireysel serilerin birinci farkları ve gecikme

düzeylerinin yatay kesit ortalamaları ile ADF regresyonunun genişletilmiş şekli olarak tanımlamak doğru olur. Pesaran (2007) CADF test istatistiği ile serilerin birim köklü olup olmadığına dair kesitlere ait analiz yapılarak modeldeki tüm kesitler için ayrı ayrı birim kök testi uygulanarak bireysel sonuçlar elde edilebilirken kesit ortalamaları alınarak genişletilen CIPS (Cross sectionally IPS) istatistiği ile panelin geneline ilişkin sonuçlar da elde edilmektedir. Yani hem panelin geneli hem de her kesit için ayrı ayrı sonuçlar elde edilmektedir. CADF testi, yatay kesit (N) ve zaman (T) boyutunun nispeten küçük olduğu veya T 'nin N 'den çok daha büyük veya küçük olduğunu durumlarda ($T > N$ hemde $N > T$ olduğu durumlarda) bile oldukça tutarlı sonuçlar vermektedir. (Pesaran, 2007: 266-267).

Basit dinamik doğrusal heterojen panel veri modeline göre; y_{it} , t zamanında, i yatay kesit biriminde gözlemlenebilir bir değer olduğu varsayılarak oluşturulmuştur. (Pesaran, 2007: 268)

$$y_{it} = (1 - \phi_i)\mu_i + \phi_i y_{i,t-1} + u_{it}, \quad (i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T) \quad (3)$$

(3) nolu denklemin oluşturulduğu varsayalım. Burada; başlangıç değeri olan y_{i0} , sonlu bir ortalama ve varyans ile belirli bir yoğunluk fonksiyonuna sahiptir ve u_{it} hata terimi tek faktörlü yapıya sahiptir.

$$u_{it} = y_i f_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

(4) nolu denklemde f_t , her ülkenin gözlemlenemeyen ortak etkilerini ve ε_{it} , bireysel spesifik (kendine özgü) bir hata terimini ifade eder. (3) ve (4)'yi aşağıdaki gibi yazmak uygun olur.

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + \beta_i y_{i,t-1} + y_i f_t + \varepsilon_{it}$$

Eşitlikte $\alpha_i = (1 - \phi_i)\mu_i$, $\beta_i = -(1 - \phi_i)$ ve $\Delta y_{it} = y_{it} - y_{i,t-1}$ ifade edilir. Buna göre; $\phi_i = 1$ olmak üzere CADF testinin birim kök hipotezleri şu şekilde oluşturulur.

$H_0: \beta_i = 0$ tüm i 'ler için seri durağan değildir.

$H_1: \beta_i < 0, (i = 1, 2, \dots, N_1, \beta_i = 0, i = N_1 + 1, N_1 + 2, \dots, N)$ seri durağandır.

$N = \infty$ ve $0 < \delta \leq 1$ olmak üzere N_1/N varsayımıyla 0'dan farklı ve sabit bir değere yakınsadığında, bireysel sonuçların bir kısmında durağanlık ortaya çıkar. Panel birim kök testlerinin tutarlılığı için bu şart bir zorunluluktur. Buna göre, Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CADF testi aşağıdaki eşitlikte verilmiştir (269):

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + b_i y_{i,t-1} + c_i \bar{y}_{t-1} + d_i \Delta \bar{y}_t + e_{it}$$

$$t_i(N, T) = \frac{\Delta y'_i \bar{M}_w y_{i,-1}}{\hat{\sigma}_i \left(y'_{i,-1} \bar{M}_w y_{i,-1} \right)^{1/2}}$$

Bireysel CADF testinin (Δ) kritik değerlerinin hesaplanması 50,000 CADF regresyonuna dayanarak sabitsiz ($y_{i,-1}$), sabitli ($\bar{y}_{t-1}$) ve sabitli-trendli ($\Delta \bar{y}_t$) olmak üzere üç farklı durum için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Uygulamada tablo kritik değerler T ve N 'nin boyutuna göre (10 ile 200 aralığında herhangi bir değer için) %1, %5 ve %10 anlamlılık derecesine göre belirlenir (Pesaran, 2007:274).

Panelin geneli için birim kök test istatistiği olan CIPS ise yine Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CADF testinde her ülkeye yani her bir yatay kesite ait birim kök test istatistiklerinin ortalaması alınarak hesaplanabilir.

$$CIPS(N, T) = N^{-1} \sum_{i=1}^N t_i(N, T)$$

CIPS (Cross-Sectionally Augmented CIPS) ile ifade edilen istatistik değeri (N), i , yatay kesit birimi için CADF istatistiği olduğundan aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir. (Pesaran, 2007:277).

$$CIPS(N, T) = N^{-1} \sum_{i=1}^N CADF_i$$

Tablo 4: Değişkenlere Ait Birim Kök Analizi Sonuçları

Değişkenler	Ülkeler	CADF ist-sabitli	Kritik Değerler			CADF ist- sabitli ve trendli	Kritik Değerler		
			0.01	0.05	0.10		0.01	0.05	0.10
logG	ABD	-3.0774*	-4.35	-3.43	-3.00	-2.9658	-4.97	-3.99	-3.55
	ALMANYA	-2.8881	-4.35	-3.43	-3.00	-3.1171	-4.97	-3.99	-3.55
	TÜRKİYE	-2.8540	-4.35	-3.43	-3.00	-2.7519	-4.97	-3.99	-3.55
	FRANSA	-3.1838*	-4.35	-3.43	-3.00	-3.2173	-4.97	-3.99	-3.55
	JAPONYA	-3.8751**	-4.35	-3.43	-3.00	-3.7305*	-4.97	-3.99	-3.55
	KORE	-2.8805	-4.35	-3.43	-3.00	-3.6422*	-4.97	-3.99	-3.55
	İNGİLTERE	-3.1486*	-4.35	-3.43	-3.00	-3.1888	-4.97	-3.99	-3.55
	CIPS İstatistiği	-3.1296***	-2.60	-2.34	-2.21	-3.2305***	-3.15	-2.88	-2.74
logYİT	ABD	-1.6996	-4.35	-3.43	-3.00	-2.2311	-4.97	-3.99	-3.55
	ALMANYA	-2.5919	-4.35	-3.43	-3.00	-2.6044	-4.97	-3.99	-3.55
	TÜRKİYE	-0.1233	-4.35	-3.43	-3.00	-0.3647	-4.97	-3.99	-3.55
	FRANSA	-2.0194	-4.35	-3.43	-3.00	-2.2621	-4.97	-3.99	-3.55
	JAPONYA	-0.6446	-4.35	-3.43	-3.00	-1.1542	-4.97	-3.99	-3.55
	KORE	-2.2776	-4.35	-3.43	-3.00	-2.0897	-4.97	-3.99	-3.55
	İNGİLTERE	-2.2824	-4.35	-3.43	-3.00	-2.4265	-4.97	-3.99	-3.55
	CIPS İstatistiği	-1.6627	-2.60	-2.34	-2.21	-1.8761	-3.15	-2.88	-2.74
logB	ABD	-1.4990	-4.35	-3.43	-3.00	-0.8596	-4.97	-3.99	-3.55
	ALMANYA	-1.4740	-4.35	-3.43	-3.00	-1.2552	-4.97	-3.99	-3.55
	TÜRKİYE	-0.3376	-4.35	-3.43	-3.00	-2.7800	-4.97	-3.99	-3.55
	FRANSA	-2.3150	-4.35	-3.43	-3.00	-1.7819	-4.97	-3.99	-3.55
	JAPONYA	-1.0740	-4.35	-3.43	-3.00	-0.8026	-4.97	-3.99	-3.55
	KORE	-1.1045	-4.35	-3.43	-3.00	-0.4397	-4.97	-3.99	-3.55
	İNGİLTERE	-1.3586	-4.35	-3.43	-3.00	-1.8391	-4.97	-3.99	-3.55
	CIPS İstatistiği	-1.3090	-2.60	-2.34	-2.21	-1.3940	-3.15	-2.88	-2.74
AH	ABD	-1.0176	-4.35	-3.43	-3.00	-2.5429	-4.97	-3.99	-3.55
	ALMANYA	0.2297	-4.35	-3.43	-3.00	-2.1010	-4.97	-3.99	-3.55
	TÜRKİYE	0.1175	-4.35	-3.43	-3.00	-2.0695	-4.97	-3.99	-3.55
	FRANSA	-1.3518	-4.35	-3.43	-3.00	-2.0557	-4.97	-3.99	-3.55
	JAPONYA	-2.2527	-4.35	-3.43	-3.00	-2.2109	-4.97	-3.99	-3.55
	KORE	0.3156	-4.35	-3.43	-3.00	-3.7232**	-4.97	-3.99	-3.55
	İNGİLTERE	-1.3264	-4.35	-3.43	-3.00	-2.3822	-4.97	-3.99	-3.55
	CIPS İstatistiği	-0.7551	-2.60	-2.34	-2.21	-2.4408	-3.15	-2.88	-2.74
P	ABD	-0.7771	-4.35	-3.43	-3.00	-3.1754	-4.97	-3.99	-3.55
	ALMANYA	-4.1589**	-4.35	-3.43	-3.00	-4.1161**	-4.97	-3.99	-3.55
	TÜRKİYE	1.6809	-4.35	-3.43	-3.00	0.0580	-4.97	-3.99	-3.55
	FRANSA	-2.0441	-4.35	-3.43	-3.00	-1.5534	-4.97	-3.99	-3.55
	JAPONYA	-0.9904	-4.35	-3.43	-3.00	-1.8731	-4.97	-3.99	-3.55

	KORE	-2.4847	-4.35	-3.43	-3.00	-3.0708	-4.97	-3.99	-3.55
	İNGİLTERE	-1.5276	-4.35	-3.43	-3.00	-1.8948	-4.97	-3.99	-3.55
	CIPS İstatistiği	-1.4717	-2.60	-2.34	-2.21	-2.2322	-3.15	-2.88	-2.74
R	ABD	-1.1868	-4.35	-3.43	-3.00	-3.4662	-4.97	-3.99	-3.55
	ALMANYA	1.3328	-4.35	-3.43	-3.00	-2.0106	-4.97	-3.99	-3.55
	TÜRKİYE	0.3549	-4.35	-3.43	-3.00	-2.7996	-4.97	-3.99	-3.55
	FRANSA	-1.2595	-4.35	-3.43	-3.00	-2.0444	-4.97	-3.99	-3.55
	JAPONYA	-1.8911	-4.35	-3.43	-3.00	-2.1121	-4.97	-3.99	-3.55
	KORE	0.2188	-4.35	-3.43	-3.00	-3.3187	-4.97	-3.99	-3.55
	İNGİLTERE	-3.0200*	-4.35	-3.43	-3.00	-3.3838	-4.97	-3.99	-3.55
	CIPS İstatistiği	-0.7787	-2.60	-2.34	-2.21	-2.7336	-3.15	-2.88	-2.74
S	ABD	-2.7971*	-4.35	-3.43	-3.00	-1.5558	-4.97	-3.99	-3.55
	ALMANYA	-1.4161	-4.35	-3.43	-3.00	-0.2881	-4.97	-3.99	-3.55
	TÜRKİYE	-3.1594*	-4.35	-3.43	-3.00	-0.9443	-4.97	-3.99	-3.55
	FRANSA	-2.1878	-4.35	-3.43	-3.00	-0.5756	-4.97	-3.99	-3.55
	JAPONYA	-2.3879	-4.35	-3.43	-3.00	-1.7164	-4.97	-3.99	-3.55
	KORE	-1.8377	-4.35	-3.43	-3.00	-0.3155	-4.97	-3.99	-3.55
	İNGİLTERE	-2.7455*	-4.35	-3.43	-3.00	-1.0048	-4.97	-3.99	-3.55
	CIPS İstatistiği	-2.3616**	-2.60	-2.34	-2.21	-0.9144	-3.15	-2.88	-2.74

Not: Tabloda her ülke için bireysel kritik değerler, Pesaran (2007) çalışmasında s.275-276'daki Tablo I (b) ve Tablo I (c)'den, panelin geneli için kritik değerler ise aynı çalışmada s.280-281'deki Tablo II (b) ve Tablo II (c)'den elde edilmiştir. Test istatistikleri sonuçlarına göre *, **, *** sırasıyla %10, %5 ve %1 düzeylerindeki istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

Paneli oluşturan her bir ülke için CADF birim kök istatistikleri ve panelin tamamı için CIPS istatistik değerleri sabitli ve sabitli trendli olmak üzere Tablo 4'de belirlenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen CADF değeri, kritik tablo CADF değerinden büyükse H_0 hipotezi reddedilememektedir. H_0 hipotezinin kabul edilmesi panel birim kökün varlığını, alternatif hipotezin kabulü ise panel birim kökün olmadığını ifade etmektedir. CIPS (Cross-Sectionally Augmented CIPS) ile ifade edilen istatistik değeri ise her bir ülkeye ait birim kök test istatistiklerinin ortalaması alınarak panelin tamamı için birim kök test istatistiği hesaplanarak bulunur. Analiz sonucu bulunan CIPS istatistik değeri kritik tablo değerinden büyükse H_0 red edilemez seri durağan değildir ve serilerin $I(1)$ olduğuna karar verilmektedir. Analiz sonucu bulunan CIPS istatistik değeri kritik tablo değerinden küçükse H_0 kabul edilir seri durağandır. Serilerin $I(1)$ olması yani durağan olmaması, ilgili ülke ekonomisine

gelen bir şokun etkisini hemen kaybetmediğini göstermektedir. Ayrıca, serilerin I(1) olması durumu eşbütünleşme analizinin yapılabilmesi için de bir ön koşuldur.

Tablo 4 analiz sonuçlarına göre; LogG değişkeni sabitli analizde incelendiğinde ABD, Fransa, Japonya ve İngiltere durağan; Almanya, Türkiye, Kore birim kök içermekte ve panelin genelinde logG değişkeni durağan çıkmaktadır. LogG değişkeni sabitli-trendli analizde incelendiğinde sadece Japonya ve Kore durağan diğer ülkeler birim köklü ve panelin geneli durağan çıkmıştır. LogYTİ ve logB değişkenleri sabitli ve sabitli-trendli analizde tüm birimlerde ve panel genelinde birim kök içermektedir. AH değişkeni sadece sabitli trendli analizde Kore durağan diğer tüm birimlerde ve panel genelinde birim kök içermektedir. P değişkeninde sabitli ve sabitli-trendli analizde sadece Almanya durağan diğer tüm birimler ve panel geneli birim kök içermektedir. R değişkeninde sadece sabitli analizde durağan diğer tüm birimler ve panel geneli olmak üzere sabitli ve sabitli-trendli analizde birim kök içermektedir. S değişkeni sadece sabitli analizde Almanya, Türkiye, İngiltere ve panel geneli durağan, sabitli ve trendli analizde ise tüm birimler ve panel geneli birim kök içermektedir.

Tablo 5: Değişkenlerin Durağanlaşması I(0)-I(1)

Değişkenler	Ülkeler	CADF Sabitli				CADF Sabitli ve Trendli			
		I(0)	Prob	I(1)	Prob	I(0)	Prob	I(1)	Prob
logG	ABD	-3.0774**	0.0489	-4.2712	0.0056	-2.9658	0.1704	-4.0877	0.0292
	ALMANYA	-2.8881*	0.0688	-4.9141	0.0017	-3.1171	0.1355	-4.6586	0.0113
	TÜRKİYE	-2.8540*	0.0731	-3.1762	0.0422	-2.7519	0.2318	-3.0337	0.1559
	FRANSA	-3.1838**	0.0403	-3.8356	0.0126	-3.2173	0.1160	-3.7170	0.0536
	JAPONYA	-3.8751**	0.0109	-6.4803	0.0001	-3.7305	0.0502	-6.4185	0.0007
	KORE	-2.8805*	0.0697	-4.8918	0.0018	-3.6422	0.0583	-4.8298	0.0084
	İNGİLTERE	-3.1486**	0.0430	-4.7377	0.0024	-3.1888	0.1213	-4.5528	0.0134
	CIPS İstatistiği	-3.1296		-4.6153		-3.2305		-4.4712(1)	
logYTİ	ABD	-1.6996	0.4127	-2.8092	0.0805	-2.2311	0.4430	-2.8074	0.2161
	ALMANYA	-2.5919	0.1148	-4.0977	0.0077	-2.6044	0.2827	-3.7548	0.0504
	TÜRKİYE	-0.1233	0.9309	-2.4717	0.1410	-0.3647	0.9791	-3.4437	0.0831
	FRANSA	-2.0194	0.2763	-3.1730	0.0424	-2.2621	0.4282	-3.0385	0.1548
	JAPONYA	-0.6446	0.8339	-2.7823	0.0842	-1.1542	0.8852	-3.0242	0.1581
	KORE	-2.2776	0.1899	-3.5960	0.0196	-2.0897	0.5125	-3.5505	0.0701
	İNGİLTERE	-2.2824	0.1885	-2.9539	0.0626	-2.4265	0.3540	-2.8342	0.2081
	CIPS İstatistiği	-1.6627		-3.1263***		-1.8761		-3.2076***	

logB	ABD	-1.4990	0.5083	-2.8428	0.0759	-0.8596	0.9360	-3.8872	0.0406
	ALMANYA	-1.4740	0.5204	-2.0980	0.2477	-1.2552	0.8614	-2.3267	0.3970
	TÜRKİYE	-0.3376	0.8986	-2.5405	0.1263	-2.7800	0.2230	-2.3040	0.4073
	FRANSA	-2.3150	0.1793	-2.7443	0.0899	-1.7819	0.6653	-3.3635	0.0943
	JAPONYA	-1.0740	0.6988	-2.6101	0.1126	-0.8026	0.9432	-3.0048	0.1627
	KORE	-1.1045	0.6867	-1.7979	0.3670	-0.4397	0.9750	-2.4116	0.3597
	İNGİLTERE	-1.3586	0.5754	-2.9062	0.0680	-1.8391	0.6380	-2.9604	0.1735
	CIPS İstatistiği	-1.3090		-2.5057**		-1.3940		-2.8940**	
AH	ABD	-1.0176	0.7201	-2.0899	0.2505	-2.5429	0.3063	-1.9572	0.5761
	ALMANYA	0.2297	0.9656	-3.0744	0.0506	-2.1010	0.5068	-3.1644	0.1282
	TÜRKİYE	0.1175	0.9566	-2.3805	0.1627	-2.0695	0.5225	-2.3035	0.4076
	FRANSA	-1.3518	0.5785	-2.5075	0.1331	-2.0557	0.5294	-2.4267	0.3532
	JAPONYA	-2.2527	0.1972	-3.0999	0.0484	-2.2109	0.4528	-3.3505	0.0962
	KORE	0.3156	0.9712	-3.1939	0.0409	-3.7232	0.0508	-3.0570	0.1506
	İNGİLTERE	-1.3264	0.5904	-2.2485	0.1990	-2.3822	0.3732	-2.1984	0.4568
	CIPS İstatistiği	-0.7551		-2.6564***		-2.4408		-4.1009(2)***	
P	ABD	-0.7771	0.7983	-3.1576	0.0436	-3.1754	0.1239	-3.0625	0.1494
	ALMANYA	-4.1589	0.0063	-4.7981	0.0021	-4.1161	0.0260	-4.3480	0.0189
	TÜRKİYE	1.6809	0.9989	-0.0717	0.9362	0.0580	0.9930	-1.1741	0.8782
	FRANSA	-2.0441	0.2671	-3.0673	0.0512	-1.5534	0.7654	-3.7023	0.0549
	JAPONYA	-0.9904	0.7300	-3.2553	0.0366	-1.8731	0.6213	-3.1298	0.1350
	KORE	-2.4847	0.1370	-2.0049	0.2817	-3.0708	0.1454	-2.6068	0.2821
	İNGİLTERE	-1.5276	0.4945	-2.8174	0.0793	-1.8948	0.6106	-3.2700	0.1089
	CIPS İstatistiği	-1.4717		-2.7389***		-2.2322		-3.0419**	
R	ABD	-1.1868	0.6527	-3.6798	0.0168	-3.4662	0.0779	-3.5498	0.0702
	ALMANYA	1.3328	0.9974	-2.5997	0.1146	-2.0106	0.5523	-3.3618	0.0945
	TÜRKİYE	0.3549	0.9735	-3.5514	0.0213	-2.7996	0.2170	-3.3859	0.0910
	FRANSA	-1.2595	0.6210	-3.6899	0.0165	-2.0444	0.5351	-3.8213	0.0453
	JAPONYA	-1.8911	0.3276	-3.2410	0.0375	-2.1121	0.5012	-3.1546	0.1301
	KORE	0.2188	0.9648	-3.0062	0.0571	-3.3187	0.0987	-2.8727	0.1970
	İNGİLTERE	-3.0200*	0.0543	-1.8906	0.3272	-3.3838	0.0890	-1.9229	0.5936
	CIPS İstatistiği	-0.7787		-3.0941***		-2.7336		-3.1527***	
S	ABD	-2.7971*	0.0807	-1.9911	0.2870	-1.5558	0.7645	-3.0077	0.1620
	ALMANYA	-1.4161	0.5482	-1.8037	0.3644	-0.2881	0.9827	-2.3786	0.3737
	TÜRKİYE	-3.1594**	0.0421	-2.1376	0.2342	-0.9443	0.9239	-4.7745	0.0093
	FRANSA	-2.1878	0.2173	-1.4159	0.5464	-0.5756	0.9656	-2.9677	0.1717
	JAPONYA	-2.3879	0.1600	-2.0597	0.2613	-1.7164	0.6959	-3.0687	0.1480
	KORE	-1.8377	0.3505	-1.7673	0.3806	-0.3155	0.9815	-3.4696	0.0798
	İNGİLTERE	-2.7455*	0.0883	-1.6240	0.4468	-1.0048	0.9141	-2.7540	0.2323
	CIPS İstatistiği	-2.3616		-1.8285		-0.9144		-3.2029***	

Not: Tabloda her ülke için bireysel kritik değerler, Pesaran (2007) çalışmasında s.275-276'daki Tablo I (b) ve Tablo I (c)'den, panelin geneli için kritik değerler ise aynı çalışmada s.280-281'deki Tablo II (b) ve Tablo II (c)'den elde edilmiştir. Tablo x'deki CADF ve CIPS kiritik değerleri analiz incelenebilir. Test istatistikleri sonuçlarına göre *, **, *** sırasıyla %10, %5 ve %1 düzeylerindeki istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 5 test sonuçları incelendiğinde düzey değerlerinde ülkeler ile panelin genelinde, bazı değişkenlerde birim kök bazı değişkenlerde ise durağan çıkmıştır. Bu tabloyu ifade etmemizdeki amaç serilerin birinci farklarında durağan hale geldiklerini belirlemektir. Panelin geneline bakıldığında ise düzey değerlerinde logG değişkeni durağan iken diğer değişkenlerin birim kök içerdiği görülmektedir. Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisine bakılabilmesi için serilerin aynı dereceden ya da bağımlı değişkenin durağan çıkması veya birim köklü iken diğer değişkenlerin tam tersi durumda olması gerekmektedir. Bu nedenle modele dâhil edilen değişkenleri durağan hale getirmek için birinci dereceden farkı alınmıştır. Farkı alınan serilere bakıldığında ise panelin geneli için tüm değişkenlerin %1 anlamlılık düzeyinde durağan hale geldiği, ülkelerin ise büyük kısmının durağanlaştığı görülmektedir.

3.2.2.3. Homojenlik- Delta Testi Analiz ve Sonuçları

Panel veri analizlerinde homojenite testi ile ilgili ilk çalışmalar Swamy (1970) tarafından yapılmıştır. F testi gibi, Swamy'nin eğim homojenliği testi de N'nin T'ye göre küçük olduğu paneller için geliştirilmiştir, ancak kesit heteroskedastisitesine izin verir. Swamy'nin eğim katsayılarına uygulanan istatistiği şu şekilde yazılabilir: (Pasaran ve Yamagata, 2008: 54)

$$\hat{S} = \sum_{i=1}^N (\hat{\beta}_i - \hat{\beta}_{WFE})' \frac{X_i' M_T X_i}{\hat{\sigma}_i^2} (\hat{\beta}_i - \hat{\beta}_{WFE})$$

$$\hat{\sigma}_i^2 = \frac{(y_i - X_i \hat{\beta}_i)' M_T (y_i - X_i \hat{\beta}_i)}{(T - k - 1)}$$

Aşağıdaki denklem tarafından eğim katsayılarının tahmini olan $\hat{\beta}_{WFE}$ ağırlıklandırılmış FE (WFE)nin havuzlu tahminidir.

$$\hat{\beta}_{WFE} = \left(\sum_{i=1}^N \frac{X'_i M_T X_i}{\hat{\sigma}_i^2} \right)^{-1} \sum_{i=1}^N \frac{X'_i M_T y_i}{\hat{\sigma}_i^2}$$

(N) 'nin sabit olduğu ve (T) 'nin sonsuzluğa meyilli olduğu durumda, H_0 hipotezi altında Swamy istatistiği $\hat{S}$, asimptotik olarak $k(N-1)$ serbestlik derecesine sahip ki-kare dağılımına sahiptir.

Büyük paneller için homojenlik testi : N 'nin T 'ye göre büyük olduğu panellerde eğim homojenliği testlerinin tatmin edici olmadığı ancak standart F testi ve Swamy (1970) tarafından genişletilen analiz, N 'nin T 'ye göre küçük olduğu paneller için uygun hale gelmiştir. Pasaran ve Yamagata'nın 2007 yılında yaptıkları ve 2010 yılında kabul görmüş çalışmalarına göre; asemptotik olarak normalde $(N, T) \xrightarrow{j} \infty$ olarak dağıtılmış, varsa N ve T 'nin nispi genişleme oranlarında belirli bir koşulla dağıtılmış standart dağılım istatistikleri öneriliyor. Swamy tarafından tanımlanan test istatistiğine ($\hat{S}$) ek olarak, aşağıdaki şekilde değiştirilmiştir: (Pasaran ve Yamagata, 2008: 54)

$$\tilde{S} = \sum_{i=1}^N (\hat{\beta}_i - \bar{\beta}_{WFE})' \frac{X'_i M_T X_i}{\tilde{\sigma}_i^2} (\hat{\beta}_i - \bar{\beta}_{WFE})$$

$\hat{\sigma}_i^2$ nin yerine $\bar{\beta}_{FE}$ olarak temellenmiş $\tilde{\sigma}_i^2$ 'yi kullanılıyor, yani;

$$\tilde{\sigma}_i^2 = \frac{(y_i - X_i \hat{\beta}_{FE})' M_T (y_i - X_i \hat{\beta}_{FE})}{(T-1)}$$

$\hat{\beta}_{WFE}$ 'nin yerine $\tilde{\sigma}_i^2$ 'i kullanarak hesaplanan ağırlıklandırılmış FE tahmini olan $\bar{\beta}_{WFE}$ kullanılıyor, yani

$$\bar{\beta}_{WFE} = \left(\sum_{i=1}^N \frac{X'_i M_T X_i}{\tilde{\sigma}_i^2} \right)^{-1} \sum_{i=1}^N \frac{X'_i M_T y_i}{\tilde{\sigma}_i^2}$$

Her ne kadar $\hat{S}$ ve $\tilde{S}$ arasındaki fark ilk başta hafif görünse de, σ_i^2 tahmincisi seçiminin altında görüldüğü gibi N ve T sonsuza meyilli olduğu için iki dağılım testinin özellikleri üzerinde önemli çıkarımlara sahip olabilir.

Bir önceki bölümde Swamy'nin istatistiklerinin iki versiyonunda belirtildiği gibi, $\hat{S}$ ve düzeltilmiş $\tilde{S}$ istatistikleri N sabit ve $T \rightarrow \infty$ olduğu durumda geçerlidir. Bu bölümde, N ve T 'nin her ikisinin de büyük olduğu paneller için $\hat{S}$ ve $\tilde{S}$ 'ye dayalı testleri ve yeni testlerin asemptolojik olarak geçerli olduğu N ve T 'nin nispi genişleme oranlarını dikkate alınmıştır.

Swamy'nin testi, Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilerek delta (Δ) testi olarak adlandırılmıştır ve sırasıyla $\hat{S}$ ve $\tilde{S}$ 'ye karşılık gelen standart test istatistiklerini sırasıyla $\hat{\Delta}$ ve $\tilde{\Delta}$ ile belirtilir. (Pesaran ve Yamagata, 2008:54-55).

Bu teste göre;

$$Y_{it} = \alpha + \beta_{it} X_{it} + \varepsilon_{it} \quad i = 1, \dots, N \quad t = 1, \dots, T$$

gibi bir eşbütünleşme denkleminde β_i gibi bir eğim katsayısı homojenliği ifade eder.

Δ testine ilişkin oluşturulacak hipotezler şu şekilde kurulur.

$H_0: \beta_i = \beta$ ise eğim katsayıları homojendir.

$H_1: \beta \neq \beta_j$ ise eğim katsayıları homojen değildir.

Aşağıdaki eşitlikte verilen $\hat{\Delta}$ testi büyük örneklem için kullanılabilirken, $\tilde{\Delta}$ testi ise küçük örneklem için kullanılabilir: (Pesaran, Yamagata, 2008: 57)

$$\hat{\Delta} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \hat{S} - k}{\sqrt{2k}} \right)$$

$$\tilde{\Delta} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1}\tilde{S} - k}{\sqrt{2k}} \right)$$

Burada N; yatay kesit sayısını, S; Swamy test istatistiğini, k; açıklayıcı değişken sayısını ifade ederken; eşitliklerde, H_0 hipotezi altında $(N, T) \rightarrow \infty$, $\sqrt{N}/T \rightarrow \infty$ olduğunda hata terimleri serbest dağılım göstermektedir (Pesaran, Yamagata, 2008: 52-57)

Ekonomik büyüme, yüksek teknoloji ihracatı ve inovasyon parametresi için kullandığımız değişkenler arasındaki ilişkinin analiz edildiği tez çalışmasında kurulan modele göre eğim katsayılarının birimler arasında değişip değişmediğinin tespiti için Delta homojenite testi gerçekleştirilmiş olup elde edilen bulgular Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6: Homojenlik Testi Sonuçları

Testler	Test İstatistiği	Olasılık değeri
$\hat{\Delta}$	-293,4782*	0.0000
$\tilde{\Delta}$	-213,3256*	0.0000

Not: *,** ve ***, sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde eğim katsayılarının heterojen olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 6'de görüldüğü gibi, hesaplanan homojenlik testlerinin olasılık değerleri dikkate alındığında bu değerlerin her ikisinde 0,05'ten küçük olmasında dolayı H_0 hipotezi güçlü bir şekilde reddedilir ve modelde yer alan sabit ve eğim katsayılarının heterojen olduğu sonucuna ulaşılır. Bu sonuçlar, değişkenlere ait hesaplanan regresyon katsayılarının her bir yatay kesit birimine göre değişebilir ve paneldeki tüm ülkeler için yapılacak eşbütünleşme yorumlarının geçerli ve güvenilir olabilir olacağını göstermektedir. Değişkenlerin heterojen olmasından dolayı değişkenler arası ilişkilerin eşbütünleşme analizinde panel değil de grup istatistiklerinin kullanılması gerekmektedir.

3.2.2.4. Panel Eşbütünleşme Testi Teorisi ve Bulguların Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmalarda eş bütünleşme ilişkisinin analizinde; değişkenlerin durağanlık dereceleri, yatay kesit bağımlılığının varlığı ve eğim katsayılarının homojen olup olmadığının tespit edilmesi önem arz etmektedir. Bu durumda, geleneksel testlerin genellikle sadece orta uzunlukta bir seriye uygulandığında kabul edilemez derecede düşük, güçten muzdarip olduğu iyi bilinmektedir ve verilerin bir panelin bireysel üyeleri arasında bir araya getirilmesi fikri, bu sorunu ele alarak tasarlanmıştır. Panel eşbütünleşme testlerinin araştırmacıların panelin genelindeki ortak uzun dönemli ilişkilerle ilgili bilgileri seçici olarak bir araya getirmelerine olanak tanırken, kısa dönemli ilişkili dinamiklerin ve sabit etkilerin panelin farklı üyeleri arasında heterojen olmasına izin vermesi amaçlanmıştır. Bu durumda böyle bir panel eşbütünleşme testinin, boş hipotezin panelin her üyesi için ilgili değişkenlerin eşbütünleşmediği ve alternatif hipotezin her biri için kabul edildiği bir test olduğu düşünülebilir. Panelin bir üyesi için tek bir eşbütünleşme vektörü vardır, bununla birlikte bu eşbütünleştirici vektörün her üye için aynı olması gerekmez. Gerçekten de, bu testlerin önemli bir özelliği, sadece dinamiklerin ve sabit etkilerin panel üyeleri arasında farklılık göstermesine izin vermemeleri, aynı zamanda birlikte entegre vektörün alternatif hipotez altında üyeler arasında farklılık göstermelerine izin vermeleridir. Bu testin değerli bir özelliği olarak görülür çünkü pratikte eşbütünleşme vektörleri genellikle bu tür panellerde kesinlikle homojen değildir. Bu gibi durumlarda, regresyonda eşbütünleşme vektörlerinin yanlış olarak homojen uygulamak, değişkenlerin aslında eşbütünleştirilmiş olmasına rağmen hiçbir eşbütünleşme testinin H_0 hipotezinin reddedilemeyeceği anlamına gelir ve bu durum araştırmacılara yanlış sonuçlar verir. (Pedroni, 1999: 653-654)

Pedroni (1997, 1999, 2000, 2004) bir panel veri modelinde eşbütünleşme vektöründeki heterojenliğe izin veren çeşitli testler önermiştir. Testler, panelin tek tek birimleri arasında, hem uzun dönemli eşbütünleşme vektörlerindeki heterojenlik, hem de bu eşbütünleştirici vektörlerden kısa süreli sapmalarla ilişkili dinamiklerdeki heterojenlik de dahil olmak üzere önemli bir heterojenliğe izin verir. Pedroni'nin testi, dinamik ve sabit etkilerin panelin kesitleri arasında farklı olmasına izin vermesinin yanı sıra, alternatif hipotez altında, eşbütünsel vektörün kesitler arasında farklı olmasına da izin vermektedir. (Pedroni, 1999: 653-656) Pedroni'nin testleri iki

kategoriye ayrılabilir. İlk grup, kesitlerde zaman serisinde eşbütünleşme için test istatistiklerinin ortalamasını içerir. İkinci küme için, sınırlama dağılımlarının parçalı pay ve payda terimlerinin sınırlarına dayanması için ortalamalar parçalar halinde yapılır. (Baltagi, 2005: 254)

Panel analizinde eşbütünleşme olmadığını belirten sıfır hipotezi testleri için ilk adım, regresyon artıklarını varsayılmış eşbütünleşme regresyonundan hesaplamaktır. En genel durumda, olabilecek denklem formu;

$$y_{i,t} = \alpha_i + \beta_{1i}x_{1i,t} + \beta_{2i}x_{2i,t} + \dots + \beta_{Mi}x_{Mi,t} + e_{i,t} \text{ için,} \quad (5)$$

$$t = 1, \dots, T; i = 1, \dots, N; m = 1, \dots, M$$

Burada T zaman içindeki gözlemlerin sayısını, N paneldeki bireysel üyelerin sayısını ve M regresyon değişkenlerinin sayısını belirtir. Panelin N farklı birimi olduğundan, her biri M regresörü olan N farklı denklem düşünülebilir. Eğitim katsayılarının $\beta_{1i}, \beta_{2i}, \dots, \beta_{Mi}$ olduğuna dikkat edilirse, panelin bireysel birimleri arasında değişiklik yapmasına izin verilir. α_i parametresi, elbette bireysel üyeler arasında değişmesine izin verilen üyeye özgü kesişme veya sabit etkiler parametresidir.

Pedroni panel eş bütünleşme analizinde yedi farklı istatistiki sonuç elde edilir. Yedi sonucun dördü yaygın olarak iç boyut olarak adlandırılan şey boyunca birleştirme üzerine kurulurken (kesit içi-within), üçü yaygın olarak boyutlar arası olarak adlandırılan şey boyunca birleştirme (kesitler arası-between) üzerine kurulur. (Pedroni, 2004, 598-599) Özel olarak, boyut içi istatistikler, hem pay hem de payda terimlerinin N boyutu üzerinde ayrı ayrı toplanmasıyla oluşturulurken, boyutlar arası istatistikler, payın N boyutu üzerinde toplanmadan önce payda tarafından bölünmesi ile oluşturulur. Bu nedenle, birincisi, otoregresif katsayıyı farklı üyeler arasında, tahmini kalıntılar üzerinde birim kök testleri için etkili bir şekilde bir araya getiren tahmin edicileri temel alırken, ikincisi, her bir i üyesi için tek tek tahmin edilen katsayıları ortalama olarak tahmin eden tahmincilerle dayanmaktadır. Bu ayrımın bir sonucu, alternatif eşbütünleşme hipotezi altında tahmini kalıntıların otoregresif katsayısı, γ_i olarak ortaya çıkmaktadır.

Pedroni eş bütünleşme analizine göre kesit içi test istatistiği (within-dimension) şu şekildedir:

$H_0: \gamma_i = 1$ koentegrasyon yoktur.

$H_1: \gamma_i = \gamma_i < 1$ koentegrasyon vardır.

Pedroni eş bütünleşme analizine göre kesitler arası test istatistiği yani grup istatistiği (between dimension) şu şekildedir:

$H_0: \gamma_i = 1$ koentegrasyon yoktur.

$H_1: \gamma_i = \gamma_i < 1$ koentegrasyon vardır.

İlk dört test boyuta dayalı istatistiki sonuçlar (within-dimension) panel eş bütünleşme istatistikleri olarak ifade edilirken son üç test (between-dimension) boyutlar arası grup ortalama panel eş bütünleşme istatistikleri olarak ifade edilir. Panel eşbütünleşme istatistiklerinin ilki parametrik olmayan bir varyans oranı istatistiğidir. İkincisi, Phillips ve Perron rho-istatistiklerine benzeyen parametrik olmayan bir istatistiğin panel versiyonudur. Üçüncü istatistik de parametrik değildir ve Phillips ve Perron t istatistiklerine benzer. Dördüncü istatistik ise Augmented Dickey Fuller (ADF) (t) istatistiğine benzer parametrik bir istatistiktir. Diğer üç panel eşbütünleşme istatistikleri grup ortalama yaklaşımına dayanmaktadır. Bunlardan ilki Phillips ve Perron rho-istatistiğine benzer ve son ikisi sırasıyla Phillips ve Perron t-istatistiğine ve artırılmış Dickey Fuller t istatistiğine benzer. (Pedroni, 2004, 598-599)

Tablo da Pedroni'den (1997a) alındığı gibi bu yedi istatistiğin her biri için kesin formu vermektedir. (Pedroni 1999) Her durumda, istatistikler, bunlardan elde edilebilen çeşitli gereksiz parametre tahmin edicileri ile kombinasyon halinde, model (5) 'de tarif edilen eşbütünleşme regresyon kalıntıları kullanılarak oluşturulabilir. (Pedroni, 1999: 660)

1: Panel ν Statistic:

$$T^2 N^{\frac{3}{2}} Z_{\hat{\nu}N,T} \equiv T^2 N^{\frac{3}{2}} \left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{11i}^{-2} \hat{e}_{i,t-1}^2 \right)^{-1}$$

2: Panel p -Statistic:

$$T\sqrt{N} Z_{\hat{p}N,T-1} \equiv T\sqrt{N} \left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{11i}^{-2} c \hat{e}_{i,t-1}^2 \right)^{-1} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{11i}^{-2} (\hat{e}_{i,t-1} \Delta \hat{e}_{i,t} - \hat{\lambda}_i)$$

3: Panel t -Statistic:

(non parametric)

$$Z_{tN,T} \equiv \left(\hat{\sigma}_{N,T}^2 \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{11i}^{-2} \hat{e}_{i,t-1}^2 \right)^{-1/2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{11i}^{-2} (\hat{e}_{i,t-1} \Delta \hat{e}_{i,t} - \hat{\lambda}_i)$$

4: Panel t -Statistic:

(parametric)

$$Z_{tN,T}^* \equiv \left(\tilde{s}_{N,T}^{*2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{11i}^{-2} \hat{e}_{i,t-1}^{*2} \right)^{-1/2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{11i}^{-2} \hat{e}_{i,t-1}^* \Delta \hat{e}_{i,t}^*$$

5: Group p -Statistic:

$$TN^{-1/2} \tilde{Z}_{\hat{p}N,T-1} \equiv TN^{-1/2} \sum_{i=1}^N \left(\sum_{t=1}^T \hat{e}_{i,t-1}^2 \right)^{-1} \sum_{t=1}^T (\hat{e}_{i,t-1} \Delta \hat{e}_{i,t} - \hat{\lambda}_i)$$

6: Group t -Statistic:

(non parametric)

$$N^{-1/2} \tilde{Z}_{tN,T} \equiv N^{-1/2} \sum_{i=1}^N \left(\hat{\sigma}_i^2 \sum_{t=1}^T \hat{e}_{i,t-1}^2 \right)^{-1/2} \sum_{t=1}^T (\hat{e}_{i,t-1} \Delta \hat{e}_{i,t} - \hat{\lambda}_i)$$

7: Group t -Statistic:

(parametric)

$$N^{-1/2} \tilde{Z}_{tN,T}^* \equiv N^{-1/2} \sum_{i=1}^N \left(\sum_{t=1}^T \hat{s}_i^{*2} \hat{e}_{i,t-1}^{*2} \right)^{-1/2} \sum_{t=1}^T \hat{e}_{i,t-1}^* \Delta \hat{e}_{i,t}^*$$

Model 1 panel eş bütünleşme sonucu

$$\text{Model 1: } \ln G_{it} = \beta_{1it} + \beta_{2AH_{it}} + \beta_{3R_{it}} + \beta_{4B_{it}} + \beta_{5P_{it}} + \beta_{6S_{it}} + u_{it}$$

Tablo 7: Model 1 Pedroni Panel Eşbütünleşme Testi Sonucu

(Within-Dimension)	Weighted			
	<u>Statistic</u>	<u>Prob.</u>	<u>Statistic</u>	<u>Prob.</u>
Panel v-Statistic	-1.378.847	0.9160	-2.071.114	0.9808
Panel rho-Statistic	1.196119	0.8842	1.349787	0.9115
Panel PP-Statistic	-5.070.792	0.0000	-5.043.360	0.0000
Panel ADF-Statistic	-1.929.889	0.0268	-1.784.907	0.0371
(Between-Dimension)				
	<u>Statistic</u>	<u>Prob.</u>		
Group rho-Statistic	2.154214	0.9844		
Group PP-Statistic	-8.570.710	0.0000		
Group ADF-Statistic	-1.476.069	0.0700		

Not: *, ** ve *** sırasıyla serilerde %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyine göre eşbütünleşme olduğunu göstermektedir.

Tablo 7’de görüldüğü gibi değişkenler arasındaki ilişki ile ilgili tahmin edilen bir numaralı modelde Pedroni eşbütünleşme testine göre seriler arasında eşbütünleşme ilişkisi yoktur şeklindeki H0 hipotezi dört testte 0,10 düzeyin de reddedilmektedir. Ayrıca homojenlik testinde değişkenlerin heterojen olduğunun tespitinden dolayı değişkenler arası ilişkilerin eşbütünleşme analizinde panel değil de grup istatistiklerinin kullanılması gerekmektedir. Grup istatistikleri incelendiğinde grup Phillips Perron (PP) testine göre 0,01 grup augmented Dickey–Fuller test (ADF) testine göre 0,10 olasılıkla H0 hipotezi reddedilmekte ve eşbütünleşmenin olduğu kabul edilmektedir.

Model 2 panel eş bütünleşme sonucu

$$\text{Model 2: } \ln B_{it} = \alpha_{1it} + \alpha_2 \ln G_{it} + \alpha_3 AH_{it} + \alpha_4 R_{it} + \alpha_5 P_{it} + \alpha_6 S_{it} + u_{it}$$

Tablo 8: Model 2 Pedroni Panel Eşbütünleşme Testi Sonucu

(Within-Dimension)	Weighted			
	Statistic	Prob.	Statistic	Prob.
Panel v-Statistic	-0.854569	0.8036	-0.379951	0.6480
Panel rho-Statistic	2.220229	0.9868	1.864339	0.9689
Panel PP-Statistic	-2.389.387	0.0084	-1.126.924	0.1299
Panel ADF-Statistic	-2.026.590	0.0214	-1.114.832	0.1325
(Between-Dimension)		-		
	Statistic	Prob.		
Group rho-Statistic	2.843024	0.9978		
Group PP-Statistic	-2.677.000	0.0037		
Group ADF-Statistic	-1.519.792	0.0643		

Not: *, ** ve *** sırasıyla serilerde %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyine göre eşbütünleşme olduğunu göstermektedir.

Tablo 8’de ifade edildiği gibi, model 2’nin grup istatistikleri incelendiğinde grup Phillips Perron (PP) testine göre 0,01 grup augmented Dickey–Fuller test (ADF) testine göre 0,10 olasılıkla H_0 hipotezi reddedilmekte ve eşbütünleşmenin olduğu kabul edilmektedir.

Model 3 panel eş bütünleşme sonucu

$$\text{Model 3: } \ln YTI_{it} = \gamma_{1it} + \gamma_2 AH_{it} + \gamma_3 R_{it} + \gamma_4 B_{it} + \gamma_5 P_{it} + \gamma_6 S_{it} + u_{it}$$

Tablo 9: Model 3 Pedroni Panel Eşbütünleşme Testi Sonucu

(Within-Dimension)	Weighted			
	Statistic	Prob.	Statistic	Prob.
Panel v-Statistic	-2.350.763	0.9906	-2.819.346	0.9976
Panel rho-Statistic	1.165992	0.8782	1.074180	0.8586
Panel PP-Statistic	-0.781036	0.2174	-1.012.427	0.1557
Panel ADF-Statistic	-0.704471	0.2406	-0.805204	0.2104
(Between-Dimension)				
	Statistic	Prob.		
Group rho-Statistic	2.490739	0.9936		
Group PP-Statistic	-1.494.744	0.0675		
Group ADF-Statistic	-1.597.034	0.0551		

Not: *, ** ve *** sırasıyla serilerde %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyine göre eşbütünleşme olduğunu göstermektedir.

Tablo 9’de ifade edildiği gibi, model 3’ün grup istatistikleri incelendiğinde grup Phillips Perron (PP) testine 0.10 ve grup augmented Dickey–Fuller test (ADF) testine göre 0,05 olasılıkla H_0 hipotezi reddedilmekte ve eşbütünleşmenin olduğu kabul edilmektedir.

Model 4 panel eş bütünleşme sonucu

$$\text{Model 4: } \ln G_{it} = \mu_{1it} + \mu_2 \ln Y T_{it} + \mu_3 A H_{it} + \mu_4 R_{it} + \mu_5 B_{it} + \mu_6 P_{it} + \mu_7 S_{it} + u_{it}$$

Tablo 10: Model 4 Pedroni Panel Eşbütünleşme Testi Sonucu

(Within-Dimension)	Weighted			
	Statistic	Prob.	Statistic	Prob.
Panel v-Statistic	-2.336.902	0.9903	-2.683.574	0.9964
Panel rho-Statistic	2.815540	0.9976	2.803454	0.9975
Panel PP-Statistic	-1.020.488	0.0000	-1.008.039	0.0000
Panel ADF-Statistic	-2.149.222	0.0158	-1.947.197	0.0258
(Between-Dimension)				
	Statistic	Prob.		
Group rho-Statistic	3.509170	0.9998		
Group PP-Statistic	-2.264.101	0.0000		
Group ADF-Statistic	-2.421.772	0.0077		

Not: *, ** ve *** sırasıyla serilerde %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyine göre eşbütünleşme olduğunu göstermektedir.

Tablo 10’da ifade edildiği gibi, model’ün grup istatistikleri incelendiğinde grup Phillips Perron (PP) testine ve grup augmented Dickey–Fuller test (ADF) testine göre 0,01 güçlü olasılıkla H_0 hipotezi reddedilmekte ve eşbütünleşmenin olduğu kabul edilmektedir.

Pedroni eşbütünleşme testinin sonuçları her dört model içinde değişkenler arasında uzun dönemde eşbütünleşme olduğunu gösterdiği belirtilebilir.

Bu aşamadan sonra hem hata düzeltme mekanizmasının çalışıp çalışmadığı hem de bağımsız değişkenlerin uzun ve kısa vadede bağımlı değişkenler üzerindeki etkisinin boyutu ve yönü belirlenmelidir. Ayrıca, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerinde istatistiksel ve iktisadi olarak anlamlı bir etkisinin olup olmadığı da test edilmelidir.

3.2.3.Havuzlanmış Ortalama Grup (PMG), ARDL Testi Analizi ve Model Sonuçları

3.2.3.1.Teorik Analiz

Yapılan bu tez çalışması endüstri 4.0'ın oluşmasında ülkelerin gelişmişliğinin ve rekabet edebilirliğinin de birer göstergesi olan inovasyon ve teknolojik gelişmeler üzerine kurulmuştur. İlk ve ikinci modelde inovasyonun ekonomik büyüme üzerine etkisinin göstergesi olarak arge harcamaları, argede çalışan araştırmacı sayısı, patent başvuru sayısı, bilgi ve iletişim mal ihracatı ve bilimsel ve teknolojik dergi sayısı, üçüncü ve dördüncü modelde teknolojik gelişme göstergelerini temsilen, yüksek teknolojlili ürün ihracatı analize dâhil edilmiştir.

Çalışmada kullanılan temel model ARDL modelidir. CADF birim kök testinde serilerin farklı seviyelerde stabil olduğu görülmüş ve ARDL yöntemi kullanılarak ilişki düzeyi belirlenmiştir. Bunun için kesit bağımlılığına izin veren ve diğer tahmin edicilere göre daha tutarlı sonuçlar veren havuzlanmış ortalama grup tahmincisi kullanıldı.

Pesaran vd. (1999) bir havuzlanmış ortalama grup (PMG) tahmincisinin asimptotiklerini türetmiştir. PMG tahmini, uzun vadeli katsayıları aynı olacak şekilde sınırlar, ancak kısa vadeli ve ayarlama katsayılarının, hata varyanslarının kesit boyutu boyunca farklılık göstermesine izin vermiştir. (Baltagi, 2005: 261-262)

Çalışmada; büyüme, gayri safi yurt içi hasıla, arge, bilgi ve iletişim ihracatı, patent başvurusu, bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısı ve ileri teknoloji ihracatı arasındaki ilişkinin araştırılmasında aşağıdaki dört temel denklemden yararlanılmıştır.

$$\text{Model 1: } \ln G_{it} = \beta_{0it} + \beta_1 AH_{it} + \beta_2 R_{it} + \beta_3 B_{it} + \beta_4 P_{it} + \beta_5 S_{it} + u_{it}$$

Model 1 ARDL formunda aşağıdaki şekilde yazılmaktadır: (Paseran ve diğerleri, 1999:623-629 ve Nkoro ve Uko 2016:84 ve Erdem ve diğerleri, 2010: 375)

$$\begin{aligned} \Delta \ln G_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \ln G_{i,t-1} + \beta_2 AH_{i,t-1} + \beta_3 R_{i,t-j} + \beta_4 B_{i,t-1} + \beta_5 P_{i,t-1} \\ & + \beta_6 S_{i,t-1} + \sum_{j=1}^m \beta_{7j} \Delta \ln G_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{8j} \Delta AH_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{9j} \Delta R_{i,t-j} \\ & + \sum_{j=0}^m \beta_{10j} \Delta B_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{11j} \Delta P_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{12j} \Delta S_{i,t-j} + e_{it} \end{aligned}$$

$$\text{Model 2: } \ln B_{it} = \beta_1 \ln G_{it} + \beta_2 \ln A_{it} + \beta_3 R_{it} + \beta_4 P_{it} + \beta_5 S_{it} + e_{it}$$

Model 2 ARDL formunda aşağıdaki şekilde yazılmaktadır:

$$\begin{aligned} \Delta \ln B_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \ln B_{i,t-1} + \beta_2 G_{i,t-1} + \beta_3 \Delta \ln A_{i,t-j} + \beta_4 R_{i,t-1} + \beta_5 P_{i,t-1} \\ & + \beta_6 S_{i,t-1} + \sum_{j=1}^m \beta_{7j} \Delta \ln B + \sum_{j=0}^m \beta_{8j} \Delta G_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{9j} \Delta \ln A_{i,t-j} \\ & + \sum_{j=0}^m \beta_{10j} \Delta R_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{11j} \Delta P_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{12j} \Delta S_{i,t-j} + e_{it} \end{aligned}$$

$$\text{Model 3: } \ln Y_{it} = \beta_1 \ln A_{it} + \beta_2 R_{it} + \beta_3 B_{it} + \beta_4 P_{it} + \beta_5 S_{it} + e_{it}$$

Model 3 ARDL formunda aşağıdaki şekilde yazılmaktadır:

$$\begin{aligned} \Delta \ln Y_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \ln Y_{i,t-1} + \beta_2 \Delta \ln A_{i,t-1} + \beta_3 R_{i,t-1} + \beta_4 B_{i,t-1} + \beta_5 P_{i,t-1} \\ & + \beta_6 S_{i,t-1} + \sum_{j=1}^m \beta_{7j} \Delta \ln Y + \sum_{j=0}^m \beta_{8j} \Delta \ln A_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{9j} \Delta R_{i,t-j} \\ & + \sum_{j=0}^m \beta_{10j} \Delta B_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{11j} \Delta P_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{12j} \Delta S_{i,t-j} + e_{it} \end{aligned}$$

$$\text{Model 4: } \ln G_{it} = \beta_1 \ln Y_{it} + \beta_2 \ln A_{it} + \beta_3 R_{it} + \beta_4 B_{it} + \beta_5 P_{it} + \beta_6 S_{it} + u_{it}$$

Model 4 ARDL formunda aşağıdaki şekilde yazılmaktadır:

$$\begin{aligned} \Delta \ln G_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \ln G_{i,t-1} + \beta_2 \ln Y_{i,t-1} + \beta_3 \Delta \ln A_{i,t-1} + \beta_4 R_{i,t-1} + \beta_5 B_{i,t-1} \\ & + \beta_6 P_{i,t-1} + \beta_7 S_{i,t-1} + \sum_{j=1}^m \beta_{8j} \Delta \ln G_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{9j} \Delta \ln Y_{i,t-j} \\ & + \sum_{j=0}^m \beta_{10j} \Delta \ln A_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{11j} \Delta R_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{12j} \Delta B_{i,t-j} \\ & + \sum_{j=0}^m \beta_{13j} \Delta P_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{14j} \Delta S_{i,t-j} + e_{it} \end{aligned}$$

Denklemden G büyüme, AH gayri safi yurt içi hasıla, R bilgi ve iletişim ihracatı, P patent başvurusu, S bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısı, 3. ve 4. modelde kullanılan YTI yüksek teknoloji ihracatı, e ise hata terimini göstermektedir. Büyüme, gayri safi yurt içi hasıla, arge, bilgi ve iletişim ihracatı, patent başvurusu, bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısı ve ileri teknoloji ihracatı arasındaki ilişkinin araştırılması için Panel ARDL modelinden yararlanılmıştır. Modelin

tahmininde Havuzlanmış Ortalama Grup Tahmincisi kullanılmıştır. Panel ARDL tahmincisi, kısa dönemli parametrelerin homojenliğini etkilemeksizin uzun dönemli homojenliği araştırmaya olarak sağlamaktadır.

Yukarıdaki denklemlerde β_1 terimi, negatif olması beklenen hata düzeltme katsayısını temsil eder, $\beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ ve 4. modeldeki β_7 terimleri seriler arasındaki uzun dönem ilişkilerine ait katsayıları göstermekte iken ve $\beta_8, \beta_9, \beta_{10}, \beta_{11}, \beta_{12}, \beta_{13}$ ve 4. modeldeki β_{14} terimleri, seriler arasındaki kısa dönem ilişkilerine ait katsayıları ifade etmektedir.

Değişkenler arasında eşbütünleşme daha önceki bölümde tespit edildiği için uzun ve kısa dönem katsayıları elde edilebilmekte ve sırasıyla şu denklemler oluşturulabilmektedir.

Model 1'in uzun ve kısa dönem denklemleri:

$$\begin{aligned} \ln G_{it} = & \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_{1j} \ln G_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{2j} AH_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{3j} R_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{4j} B_{i,t-j} \\ & + \sum_{j=0}^m \beta_{5j} P_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{6j} S_{i,t-j} + e_{it} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Delta \ln G_{it} = & \beta_0 + \beta_1 EC_{it-1} + \sum_{j=1}^m \beta_{2j} \Delta \ln G_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{3j} \Delta AH_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{4j} \Delta R_{i,t-j} \\ & + \sum_{j=0}^m \beta_{5j} \Delta B_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{6j} \Delta P_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{7j} \Delta S_{i,t-j} + e_{it} \end{aligned}$$

Model 2 nin uzun ve kısa dönem denklemleri:

$$\begin{aligned} \ln B_{it} = & \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_{1j} \ln B + \sum_{j=0}^m \beta_{2j} G_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{3j} AH_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{4j} R_{i,t-j} \\ & + \sum_{j=0}^m \beta_{5j} P_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{6j} S_{i,t-j} + e_{it} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta \ln B_{it} = & \beta_0 + \beta_1 EC_{it-1} + \sum_{j=1}^m \beta_{2j} \Delta B_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{3j} \Delta G_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{4j} \Delta AH_{i,t-j} \\ & + \sum_{j=0}^m \beta_{5j} \Delta R_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{6j} \Delta P_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{7j} \Delta S_{i,t-j} + e_{it}\end{aligned}$$

Model 3'ün uzun ve kısa dönem denklemleri:

$$\begin{aligned}\ln YT_{it} = & \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_{1j} \ln YT_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{2j} AH_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{3j} R_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{4j} B_{i,t-j} \\ & + \sum_{j=0}^m \beta_{5j} P_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{6j} S_{i,t-j} + e_{it} \\ \Delta \ln YT_{it} = & \beta_0 + \beta_1 EC_{it-1} + \sum_{j=1}^m \beta_{2j} \Delta \ln YT_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{3j} \Delta AH_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{4j} \Delta R_{i,t-j} \\ & + \sum_{j=0}^m \beta_{5j} \Delta B_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{6j} \Delta P_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{7j} \Delta S_{i,t-j} + e_{it}\end{aligned}$$

Model 4'ün uzun ve kısa dönem denklemleri

$$\begin{aligned}\ln G_{it} = & \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_{1j} \ln G_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{2j} \ln YT_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{3j} AH_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{4j} P_{i,t-j} \\ & + \sum_{j=0}^m \beta_{5j} B_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{6j} R + \sum_{j=0}^m \beta_{7j} S_{i,t-j} + e_{it} \\ \Delta \ln G_{it} = & \beta_0 + \beta_1 EC_{it-1} + \sum_{j=1}^m \beta_{2j} \Delta \ln G_{i,t-j} + \sum_{j=1}^m \beta_{3j} \Delta \ln YT_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{4j} \Delta AH_{i,t-j} \\ & + \sum_{j=0}^m \beta_{5j} \Delta P_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{6j} \Delta B_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{7j} \Delta R_{i,t-j} + \sum_{j=0}^m \beta_{8j} \Delta S_{i,t-j} \\ & + e_{it}\end{aligned}$$

(6) numaralı eşitlikte EC_{it-1} değişkeni, uzun dönem ilişkisinden elde edilmiş hata terimleri serisinin bir dönem gecikmeli değerini göstermektedir. Bu değişkenin istatistikî bakımdan anlamlı ve negatif değeri alması ve değişkenlerin uzun vadede denge değerine geleceği beklenir. Çalışmada kullanılan ARDL modelinde gecikme

uzunluklarının tespitinde Akaike Bilgi Kriteri (AIC) kullanılmış ve gecikme uzunluğu bu bilgi kriterine göre otomatik olarak 1 seçilmiştir.

3.2.3.2. Model 1 ve Model 2 İçin Literatür İncelemesi

Tez çalışmamızın konusunu ve farklı ülke gruplarını da barındıracak şekilde genel bir literatür taraması yapılmıştır. Konumuz ile ilgili birçok çalışmayla karşılaşılmış, bazı kaynaklar literatür incelemesine dahil edilebilmiştir. Bu çalışmada dört ayrı model kurulacak olup ilk iki model için literatür incelemesi şu şekildedir:

Tablo 11: Model 1 ve Model 2 Literatür İncelemesi

Aghion ve Howitt (1992)	Literatür Taraması Ülke :ABD Değişkenler: İnovasyon temelli arge harcamaları ekonomik büyüme üzerine etkisi Analiz Sonucu: Ürünlerin kalitesini artıran endüstriyel yeniliklerin tekel piyasaları altında ne kadar küçük olursa olsun geçerli olacağını arge esaslı ekonomik büyüme modellerini test etmişler ve GSYİH'den argeye ayrılan kısmın değerlendirilmesi gerektiğini inovasyonun büyüklüğü ve gücünü irdelemişler. ABD'de arge harcamalarının GSYİH'ye oranında meydana gelen artış ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin güçlü olmadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca Amerika Birleşik Devletleri'nde Ar-Ge'ye dayalı içsel büyüme modelinin reddedilmediği de belirtilmiştir.
Lichtenberg(1993)	Yıllar: 1964-1989 Ülke Grubu: 74 ülke Değişkenler: Özel sektör ve kamu sektörü tarafından finanse edilen arge harcamaları, verimlilik ve ekonomik büyüme Analiz Sonucu: Özel sektör tarafından finanse edilen arge harcamaları ile büyüme ve verimlilik arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunurken kamu sektörü tarafından finanse edilen arge harcamalarının ekonomik büyüme üzerinde benzer etkisi bulunamamıştır.
Bassanini ve Scarpetta (2001)	Yıllar: 1971-1998 Ülke Grubu: 21 OECD Ülkesi Değişkenler: Arge harcamalarının GSYH üzerine etkisi Analiz Sonucu: Arge faaliyetinin göstergeleri, GSYİH'nın yüzdesi olarak ifade edilen Ar-Ge harcamalarıdır ve bu nedenle her ülke içindeki argenin “yoğunluğunun” göstergeleridir. arge faaliyetinin büyüme süreci üzerinde önemli bir etkisi olduğunu gösteren kanıtları desteklemektedir. Ar-Ge katsayısı büyüme etkilerini temsil etmek için alınır, argede 0,1 puanlık bir artış kişi başına üretim artışını yüzde 0,3-0,4 oranında arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.
Colecchia ve Schreyer (2002)	Yıllar: 1980-2000 Ülke Grubu: Dokuz OECD ülkesi Değişkenler: BİT, GSYİH BİT'in GSYİH büyümesine yılda 0,2 ila 0,5 puan arasında katkıda bulunduğunu, 1990'ların ikinci yarısında, katkı yıllık yüzde 0,3-0,9 puana yükseldi. Özetle, BİT-büyüme literatüründe, BİT yatırımlarının gelişmiş ekonomilerde GSYİH büyümesine önemli ölçüde katkıda bulunduğu ifade edilmiştir.

Joseph (2002)	Yıllar: 1980-1999 Ülke: Hindistan Değişkenler: BIT ihracatı, büyüme BIT kaynaklı bir geliştirme stratejisi, verimliliği, rekabet gücünü ve büyümeyi artırmada etkili olabilirken, ihracata yönelik BIT büyüme stratejisi, diğer ülkelere göre daha verimli ve rekabetçi hale gelmesini sağlamış gibi görünüyor. bu çalışmada bir yandan yeniliği ve ihracatı teşvik etmede iç pazarın tamamlayıcı rolünü vurgularken, diğer yandan da BIT'nin neden olduğu üretkenliği, rekabetçiliği ve büyümeyi kabul etme ihtiyacının altını çizme eğilimindedir. Dolayısıyla kalkınma için BİT'e odaklanan bir politikaya ihtiyaç vardır.
Ülkü (2004)	Yıllar: 1981-1997 Ülke Grubu: 30 Ülke (20'si OECD 10'u OECD dışı) Değişkenler: Ekonomik Büyüme, Patent, arge harcamaları Analiz Sonucu: Hem OECD hem de OECD dışı ülkelerde kişi başına düşen GSYİH ile yenilik arasında pozitif bir ilişki olduğunu ortaya koymuş ancak Ar-Ge açısından yeniliğe sürekli geri dönüş olduğuna dair bir kanıt yoktur, bu da yeniliğin ekonomik büyümede kalıcı artışlara yol açmayacağı anlamına gelmektedir.
Dipendra (2008)	Yıllar: 1965-2005 Ülke Grubu: Japonya ve Güney Kore Değişkenler: Patentler ve Ekonomik büyüme Analiz Sonucu: Japonya için, gerçek GSYİH'nin logaritmalarının ve patent sayısının uzun vadeli bir ilişkisi olduğu ve reel GSYİH'nin büyümesi ile patent sayısındaki artış arasında iki yönlü bir nedensellik bulunmuş. Güney Kore için, eşbütünlük ve nedenselliğe dair herhangi bir kanıt bulunamamış. Panel verileri için, gerçek GSYİH'nin logaritmalarının ve patent sayısının eş-entegre olduğunu bulduk. Panel nedensellik testleri, gerçek GSYİH Granger'in büyümesinin patent sayısının artmasına neden olduğuna dair bazı kanıtlar bulmuştur. Bununla birlikte, ters nedenselliğe dair herhangi bir kanıt bulamıyoruz.
Özer ve Çiftçi (2009)	Yıllar: 1990-2005 Ülke Grubu: OECD Ülkeleri Değişkenler: Arge harcamalarının genel ihracat, bilgi ve iletişim teknolojileri ihracatı ve ileri teknoloji ihracatı Genel ihracat, bilgi ve iletişim mal ihracatı ve ileri teknoloji ihracatı üç ayrı modelle analiz edilmiş ve Arge harcamalarının üç değişken üzerinde de pozitif ve anlamlı etkisi bulunmuştur.
Maurseth ve Frank (2009)	Literatür taraması Ülke: Almanya Değişkenler: BIT ve Büyüme BİT'in büyüme üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmaya göre, bu etki BİT üretimi veya kullanımından daha çok inovasyon ile ortaya çıkmaktadır.
Yousefi (2011)	Yıllar: 2000-2006 Ülke Grubu: 62 ülke verisi Değişkenler: bilgi ve iletişim teknolojisinin (ICT) ekonomik büyümeyi Makale, BİT'in yüksek ve üst-orta gelir gruplarının büyümesinde önemli bir rol oynadığı, ancak alt orta gelir grubu ülkelerinin büyümesine katkıda bulunmadığı sonucuna varıyor. Bu tür bulgular, daha önce düşünüldüğü gibi alt-orta gelişmekte olan ülkelerde BİT'e yapılan yatırım düzeyinin yavaş büyümenin nedeni olmadığını göstermektedir.
Gülmez ve Yardımcıoğlu (2012)	Yıllar: 1990-2010 Ülke Grubu: 21 OECD Ülkesi Değişkenler: Arge Harcamaları ve Ekonomik Büyüme Analiz Sonucu: 21 OECD ülkesinin genelinde arge harcamalarındaki %1'lik bir artış ekonomik büyüme üzerinde uzun dönemde yaklaşık olarak %0,77'lik bir artış meydana getirmektedir.

Lee ve Hong (2012)	Yıllar: 1981-2007 ve 2011- 2030 öngörüsü Ülke Grubu: 61 ülke verisi- 12 gelişmekte olan Asya ekonomisi Değişkenler: Arge ve GSYİH Analiz Sonucu: Argeye daha fazla harcama yapmak gibi üretkenlikteki gelişmeler, öngörülen GSYİH büyümemizi önemli ölçüde artırabileceğini doğrulamaktadır. Yüksek teknolojiyle üretim yapan ülkelerin büyüme oranlarının diğer ülkelere göre daha yüksek olduğunu belirtmişler ancak daha büyük teknoloji açığı, teknolojinin daha teknolojik olarak daha gelişmiş ekonomilerden yayılması yoluyla hızlı teknolojiyi "yakalama" şansı sunar. Bu nedenle, sabit duruma göre kişi başına üretimin başlangıç seviyesi ne kadar düşükse, sonraki büyüme o kadar yüksek olma eğilimindedir. Araştırma ve geliştirmeye daha fazla harcama yapmak gibi üretkenlikteki gelişmeler, incelenen ülkelerde 2011-2030'da öngörülen GSYİH büyümesini önemli ölçüde artırabileceğini doğrulamaktadır. Bölgenin dünya ekonomisindeki payı 2009'daki mevcut yüzde 34'ten 2030'da yarıya yaklaştığı ifade edilmiştir.
Güloğlu ve Tekin (2012)	Yıllar: 1991-2007 Ülke Grubu: Yüksek gelirli OECD ülkeleri Değişkenler: arge harcamaları, yenilik ve ekonomik büyüme Analiz Sonucu: Arge yatırımlarının, teknolojik değişimin Granger nedeni olduğu ve teknolojik değişimin de ekonomik büyümeyi arttırdığı bulgularına ulaşılmıştır. Büyüme oranı teknolojik değişim oranını hızlandırdığı sonucuna ulaşılmıştır.
Göçer (2013)	Yıllar: 1996-2012 Ülke Grubu: 11 Asya Ülkesi Değişkenler: Arge harcamaları, yüksek teknoloji ürün ihracatı, bilgi iletişim teknolojileri ihracatı, toplam ihracat ve ekonomik büyüme Ar-Ge harcamalarındaki %1'lik artışın yüksek teknoloji ürün ihracatını %6,5, bilgi-iletişim teknolojileri ihracatını %0,6 ve ekonomik büyümeyi %0,43 oranında arttırdığı tespit edilmiştir.
Dedrick, Kraemer ve Shih (2013)	Yıllar: 1994-2007 Ülke Grubu: 19 gelişmekte olan ve 26 gelişmiş ülkeye ayrılmış 45 ülke Değişkenler: Bilgi teknolojileri göstergeleri GSYİH ve toplam sermaye stoku. Bu çalışma BT yatırımlarından elde edilen üretkenlik kazançları ile ilişkilendiren ilk ampirik kanıtı sağlar. Çalışma sonuçlarında göre, BT sermayesinin sadece gelişmekte olan ülkeler için önemli olmakla kalmayıp, aslında gelişmiş ülkelere göre daha güçlü bir etki göstermektedir. gelişmekte olan ülkelerin artık BT yatırımlarıyla ilişkili verimlilik artışından keyif aldıklarına dair güçlü kanıtlar var.
Gülmez ve Akpolat (2014)	Yıllar: 2000-2010 Ülke Grubu: Türkiye ve 15 AB Ülkesi Değişkenler: Arge Harcamaları, Ekonomik Büyüme, Patent Analiz Sonucu: Arge harcamalarında ve Patent sayılarında %10'luk artış kişi başına GSYİ'da sırasıyla %3,27 ve %0,77'lik artış sağlamaktadır. Bu sonuçlara göre ar-ge harcamalarının patentlere göre ekonomik büyüme üzerinde 4 kat daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak uzun dönemde hem arge harcamalarından hem de patent sayılarından ekonomik büyümeye doğru pozitif ve anlamlı bir ilişkinin olduğu belirtilebilir.
Pece, Simona ve Salisteanu (2015)	Yıllar:2000-2013 Ülke Grubu: Polonya, Çek Cumhuriyeti ve Macaristan. Değişkenler:Büyüme, patent sayısı, marka sayısı ve arge harcamaları Analiz Sonucu: Ekonomik büyüme ile yenilik arasında pozitif bir ilişki olduğuna dair kanıtlar sağlıyor. Sonuçlar, ekonomik büyümenin şu faktörlerden etkilendiğine işaret etti: yenilikler (patent sayısı ve araştırma ve geliştirme harcamalarının seviyesi ile ölçülür), doğrudan yabancı yatırım stoku, eğitim ve ihracat. Eğitimin ekonomik büyüme üzerinde önemli bir etkisi vardır. Sonuçlar, yeniliğin ekonomik büyümenin evrimi üzerindeki olumlu etkisini vurguladı. Ayrıca bulgular, beşeri sermayenin kalitesi ile ekonomik büyüme arasında güçlü ve pozitif bir ilişkiyi desteklemektedir.

Sungur ve diğerleri (2016)	Yıllar: 1990-2013 Ülke Grubu: Türkiye Değişkenler: arge harcamaları, arge araştırmacı sayısı, patent ve inovasyon faaliyetleri, ihracat ve büyüme Analiz Sonucu: Çalışmada iki ayrı model tahmin edilmiştir. Model 1 için patent sayısından büyümeye doğru tek yönlü nedensellik, Model 2 için ise ihracattan arge harcamalarının milli gelir içindeki payına, patent sayısından ihracata ve arge de çalışan işgücü sayısından ihracata doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Hatemi-J asimetrik nedensellik analizine göre, Model 1’de patentten büyümeye doğru pozitif bileşenler, büyümeden patente doğru negatif bileşenler ve argeden büyümeye doğru negatif bileşenler arasında tek yönlü ilişki tespit edilmiştir. Model 2’de ise arge işgücü ile ihracat değişkenlerinin pozitif bileşenleri arasında çift yönlü, arge işgücünden ihracata ve ihracattan da argeye doğru negatif bileşenler arasında ilişkinin var olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Hanusch, Chakraborty ve Khurana (2016)	Yıllar:2000-2016 Ülke Grubu: G20 Ülkeleri Değişkenler: Biri inovasyona yapılan arge harcaması olmak üzere dört temel kamu harcaması ve ekonomik büyüme Analiz Sonucu: Kamu harcamaları ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki incelenmiş ve inovasyona yönelik harcamaların ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin diğer değişkenlere göre çok daha yüksek olduğunu ortaya çıkarmıştır.
Feki ve Mnif (2016)	Yıllar: 2004-2011 Ülke Grubu: 35 Gelişmekte olan ülke Değişkenler: Girişimcilik, teknolojik yenilik ve ekonomik büyüme Analiz Sonucu: Uluslar arasında rekabet edebilirliği artırmak, ekonomik büyümeyi teşvik etmek ve istihdam olanaklarını artırmak için anahtar bir araç olarak kabul edilen girişimcilik, yenilikçilik ve rekabet avantajı ile ilgilidir. Girişimcilikle ilgili özel bilgi, beceri ve bilgiye erişimini sağlamak büyüme için önemli ayrıca teknolojik yenilik, uzun vadede ekonomik büyümeyi destekler.
Dam ve Yıldız (2016)	Yıllar: 2000-2012 Ülke Grubu: BRICS-TM ülkeleri(Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Güney Afrika, Türkiye ve Meksika) Değişkenler: GSYH, arge Harcamaları, patent sayıları Analiz Sonucu: Arge ve inovasyonun ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin pozitif olduğu ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Köse ve Şentürk (2017)	Yıllar: 1989-2012 Ülke Grubu: Türkiye Özeli Değişkenler: Arge ve patent harcamaları ile ekonomik büyüme Analiz Sonucu: Arge harcamaları ile ekonomik büyüme arasında iki yönlü pozitif ilişki mevcuttur. Teknolojik gelişme ve ekonomik büyüme arasında da anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Ancak, ekonomik büyüme ile patent harcamaları arasında anlamlı bir ilişkiye rastlanmamıştır. Öz olarak, Türkiye’de ekonomik büyümenin hız kazanması için arge faaliyetleri ve teknolojik ilerlemeye yönelik yatırımların artırılması hayati önem arz etmektedir.
Kacprzyk ve Doryń (2017)	Yıllar: 1993–2011 Ülke Grubu: Eski(13) ve yeni (15) AB üyesi ülkeler Değişkenler: Patent faaliyetleri, araştırma ve geliştirme (arge) harcamaları, ekonomik büyüme Analiz Sonucu: AB-13'teki büyüme ve patent faaliyetleri ile büyüme arasındaki pozitif ilişki üzerinde ar-ge'nin önemli bir etkisi olmadığını bulmuşlardır. Patentler, yeni üye devletlerde kişi başına GSYİH büyümesinin önemli belirleyicileri haline geldi.

Liu ve Xia (2018)	Yıllar: 1995-2016 Ülke : Çin Değişkenler: Ar-Ge yatırımı, teknolojik yenilik ve ekonomik büyüme Analiz Sonucu: Üçü arasında uzun vadeli istikrarlı dinamik bir ilişki ortaya çıktı. Bilimsel ve teknolojik başarıların yenilik yeteneği güçlü değildi, bilimsel ve teknolojik başarıların dönüşüm oranı yüksek değildi ve pazar entegrasyon süreci nispeten yavaştı. Genel olarak, arge yatırımı, teknolojik yenilik ve ekonomik büyüme arasında iyi bir döngüsel mekanizma kurulmamıştır.
Börü ve Çelik (2019)	Yıllar: 2004-2016 Ülke: Türkiye Özeli Değişkenler: Ekonomik büyüme, arge harcamaları, inovasyon yatırımları Analiz Sonucu: Türkiye özelinde, arge ve inovasyon ilerlemelerinin uzun dönemde de Türkiye'nin GSYH'sinde destekleyici bir etkisi olduğu anlaşılmıştır.
Avdar (2019)	Yıllar: Literatür Taraması Ülke: Türkiye Özeli Değişkenler: İnovasyon, arge harcamaları ve ekonomik büyüme Analiz Sonucu: Ülkemizdeki ar-ge çalışmalarının ihracat yani dış ticaret ve ekonomik büyüme üzerine olan etkisi incelenmiş, ar-ge çalışmaları kalkınmanın lokomotif olduğu ve gelişmekte olan ülkelerin aynı gelişmiş ülkeler gibi inovasyon ve ar-ge'ye yeterli desteği vermeleri sonucunda dünya ekonomisi üzerinde söz sahibi olabilecekleri sonucuna ulaşılmıştır.
Dereli ve Salgar (2019)	Yıllar: 1990-2015 Ülke: Türkiye Özeli Değişkenler: arge harcamaları ile büyüme Analiz Sonucu: Uzun dönemde arge harcamaları ile büyüme arasında eşbütünleşme ilişkisi tespit edilmiştir. Ayrıca arge harcamaları ile büyüme arasında karşılıklı bir nedensellik ilişkisine ulaşılmıştır.
Sütçü ve Bozan (2019)	Yıllar: 1981-2016 Ülke Grubu: G7 Ülkeleri Değişkenler: Büyüme, İnovasyon göstergesi olarak ar-ge harcamaları ve patent başvuruları. Analiz Sonucu: İnovasyon ile ekonomik büyüme arasında uzun dönemli ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ekonomik büyüme ile ar-ge arasında ise negatif yönlü ilişki tespit edilmiştir. Ayrıca büyüme oranından patent başvurularına doğru ise tek yönlü nedensellik ilişkisi görülmüştür.
Pala (2019)	Yıllar: 1996-2016 Ülke Grubu: 25 gelişmekte olan ülke Değişkenler: GSYİH büyümesi, brüt sabit sermaye oluşumu (yıllık% büyüme), İşgücüne katılım oranı, Patent başvuruları (sakinler), Bilimsel ve teknik dergi makaleleri, Ar-Ge harcamaları (GSYİH'nin yüzdesi), arge deki Araştırmacılar (milyon kişi başına). Analiz Sonucu: İnovasyon temsilci değişkeni olarak arge harcamaları ve arge araştırmacısı sayısı alınmıştır. Modelin bir sonucu olarak, arge harcamalarının Çin, Mısır, İran, Moldova, Panama, Sırbistan ve Özbekistan'da ekonomik büyümeye negatif anlamlı etkisi vardır. İran, Meksika, Tunus ve Özbekistan'da Ar-Ge araştırmacılarının sayısı ekonomik büyüme üzerinde önemli ölçüde olumsuz etkiye sahiptir. Aksine, arge araştırmacılarının sayısı sadece Ukrayna, Türkiye, Rusya ve Çin'de ekonomik büyümeyi önemli ölçüde olumlu etkilemektedir. Bu çalışma, arge harcamalarının Çin, Mısır, İran, Moldova, Panama, Sırbistan ve Özbekistan'daki ekonomik büyüme üzerindeki olumsuz etkisini doğruladığından, sonuçlar ülkeden ülkeye farklılık gösteriyor. İran, Meksika, Tunus, Özbekistan'da araştırmacıların İran, Meksika, Tunus, Özbekistan'da ekonomik büyümeyi önemli ölçüde olumsuz, Ukrayna, Türkiye, Rusya ve Çin'de olumlu etkisi var.

İslamoğlu ve Zencircioğlu (2020)	Yıllar: 1996-2014 Ülke Grubu:Çeşitli Ülkeler Değişkenler: Ar-Ge harcamaları ile GSYİH Analiz Sonucu: GSYİH'den argeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Başka bir ifadeyle arge harcamalarında meydana gelen değişimler GSYİH' de meydana gelen değişimlerle açıklanabilmektedir.
Otoo ve Song (2021)	Yıllar: 2002-2017 Ülke Grubu: 45 yüksek gelirli ülke, 58 orta gelirli ülke ve 20 düşük gelirli ülkeden oluşan 123 ülke Değişkenler: BIT ve ekonomik büyüme Genel olarak BİT her iki ülkede de ekonomik büyümeyi artırıyor, ancak fakir ülkeler BİT devriminden daha fazla kazanç elde etme eğiliminde.

3.2.3.3. Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Kurulan Panel ARDL Modeli

Sonuçları- Model (1)

Endüstri 4.0'ın orta çıkmaya başladığı ve dile getirildiği yıllar itibariyle ekonomide yaratılacak olan etkinliğin analizini amaçlayan çalışmamız literatür ile bazı yerlerde uyumlu olmakla birlikte ayrıldığı noktalarıda vardır. Analiz sonucunda bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisi daha önce yapılan çalışmalar ile kısmen uyumlu çıkmıştır. Literatürden Aghion ve Howitt (1992), Ülkü (2004) ve Kacprzyk ve Doryn (2017) çalışmalarıyla arge harcamalarının büyüme üzerinde etkinliğinin olmadığı, Pala (2019) arge harcamalarının büyüme üzerinde negatif etkinliği olacağı, Maradana, Pradhan, Dash, Gaurav, Jayakumar and Chatterjee(2017) çalışmalarıyla bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısının ve argede çalışan araştırmacıların büyüme üzerindeki pozitif etkinliği olacağını bildirmesi yönüyle tez çalışmasıyla uyumludur.

Tablo 12: Model 1'in Uzun ve Kısa Dönem Panel ARDL Modeli Sonuçları

Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık
Uzun Dönem Denklemi				
AH	-0.053308	0.145750	-0.365748	0.7155
B	0.016118***	0.004630	3.481.637	0.0008
P	-1.53E-06*	8.58E-07	-1.784.811	0.0781
R	5.44E-05	6.38E-05	0.852088	0.3967
S	9.27E-07**	4.20E-07	2.206.792	0.0302
Kısa Dönem Denklemini				
HDT	-1.010.957	0.095088	-1.063.179	0.0000
D(AH)	-0.282698	0.618322	-0.457203	0.6488
D(B)	0.045100	0.051501	0.875709	0.3838
D(P)	0.000146	7.58E-05	1.928.107	0.0574
D(R)	0.000569	0.000405	1.406.395	0.1635
D(S)	2.52E-05	2.02E-05	1.248.580	0.2155

Not: *%10, ** %5, ***%1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 12'ye göre model 1 in kısa dönem model tahmini şu şekildedir:

$$\begin{aligned}\Delta \log G = & -1,010ECM - 0,282\Delta AH + 0,045\Delta B + 0,001\Delta P + 0,001\Delta R \\ & + 2,521\Delta S + e_t\end{aligned}\quad (7)$$

Tahmin edilen modele göre hata düzeltme faktörü içeren model denklem (7)'de gösterilmiştir. Buna göre kısa dönem ilişkiden uzun döneme geçerken modelin uzun dönemi yakalama hızı yaklaşık % 1.01'dir. Diğer bir değişle panel geneline göre kısa dönemde meydana gelen hata veya şokların yaklaşık olarak 1 dönemde yok olarak dengeye geri döneceğini göstermektedir. Modelde yer alan değişkenlerin tamamı kısa dönemde istatistiksel olarak anlamsız patent değişkeni 0,05 olasılıkla anlamlı olduğu gözlenmiştir.

Tablo 12'ya göre model 1'in uzun dönem model tahmini şu şekildedir:

$$\text{Log}G = -0,053AH + 0,016B - 1,531P + 5,441R + 9,271S + e_t$$

(8)

Kısa dönem ARDL tahmin sonuçlarıyla kıyaslandığında uzun dönem model (8)'de gecikmeli değerlerin yer almadığı, ilişkilerin kısa dönemle patent değişkeni hariç aynı yönde olduğu fakat kısa dönemde birinci gecikmesiyle birlikte anlamsız olan bilgi ve iletişim teknolojisi ihracatı(B) ve bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısının(S) uzun dönemde büyüme üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kısa döneme göre arge'de çalışan araştırmacı sayısı ve bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısının(S) büyüme üzerindeki etkisinin uzun dönemde daha yüksek, patent değişkeninin ise uzun dönemde büyüme üzerine negatif etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 12'ye göre kısa ve uzun dönem tahminleri üzerinde genel değerlendirme yapılacak olursa hata düzeltme modeli katsayısı (-1,01) negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. ECM katsayısının negatif ve anlamlı bulunması sadece değişkenler arasında eşbütünleşik ilişkinin olduğunu ve aynı zamanda dengeden sapma olsa dahi yeniden dengeye gelme durumunu göstermektedir. Dolayısıyla modele göre bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki mevcuttur. ECM, serilerin durağan olmamasından dolayı ortaya çıkan kısa dönem sapmalarının modelin dalgalı bir şekilde uzun dönem dengeye yakınsadığını göstermektedir Buna göre, bir dönemde oluşan dengesizliklerin yaklaşık %100'ü bir sonraki dönemde düzelecek olup uzun dönem dengesine yaklaşması sağlanacaktır. Uzun dönem model tahmininde AH (arge harcamaları), ve R (arge ile ilgilenen araştırmacıların sayısı) değişkenleri istatistiki bakımdan anlamsız çıkmıştır. B (Bilgi ve iletişim teknolojisi ürünleri ihracatı), değişkeni %0,1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı ve iktisadi olarak da beklentilerimizi karşılamaktadır. Bilgi ve iletişim teknolojisi ürünleri ihracatında bir birim meydana gelen artış yıllık GSYİH büyüme oranını %0,01 arttırmaktadır. Patent başvuru sayısı katsayısı istatistiksel olarak %10 düzeyinde anlamlı çıkarken iktisadi bakımdan katsayı pozitif çıkması gerekirken negatif çıkmıştır ve beklentimizi karşılamamaktadır. S (Bilimsel ve teknik dergi makaleleri sayısı) katsayısı istatistiki bakımdan %5 düzeyinde anlamlı çıkarken iktisadi bakımdan da anlamlı çıkmıştır. Buna göre bilimsel ve teknik dergi makaleleri

sayısında meydana gelen bir birimlik artış yıllık GSYİH büyüme oranını yüzde 9,27 arttırmaktadır.

Tablo 13: Ülke Bazında Kısa Dönem Panel ARDL Sonuçları (Bağımlı Değişken: LogG)

Değişkenler	ABD				Almanya			
	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık
ECM	-1.101.471	0.031483	-3.498.665	0.0001	-0.796003	0.066734	-1.192.806	0.0013
D(AH)	-1.399.357	1.064.696	-1.314.326	0.2802	0.548256	3.373.584	0.162515	0.8812
D(B)	0.255785	0.005610	4.559.670	0.0000	0.001505	0.041927	0.035907	0.9736
D(P)	1.63E-05	4.46E-11	365777.0	0.0000	5.41E-05	9.44E-09	5.729.097	0.0000
D(R)	0.000153	3.21E-07	4.771.315	0.0000	0.000438	8.29E-07	5.285.597	0.0000
D(S)	8.11E-06	3.56E-11	227987.6	0.0000	-1.54E-05	1.27E-09	-12079.29	0.0000
İngiltere					Fransa			
ECM	-1.286.563	0.054813	-2.347.196	0.0002	-1.066.656	0.076497	-1.394.370	0.0008
D(AH)	1.033.866	2.486.213	0.415840	0.7055	1.763.658	5.791.435	0.304529	0.7806
D(B)	-0.006674	0.000171	-3.908.850	0.0000	-0.079293	0.022583	-3.511.169	0.0392
D(P)	0.000181	1.39E-08	13056.91	0.0000	0.000546	1.76E-07	3.110.033	0.0000
D(R)	0.000948	1.66E-07	5.710.907	0.0000	-0.001466	2.26E-06	-6.475.849	0.0000
D(S)	6.57E-06	6.73E-10	9.759.375	0.0000	-2.32E-05	2.54E-09	-9.113.140	0.0000
Japonya					Kore			
ECM	-1.049.710	0.060703	-1.729.252	0.0004	-1.215.735	0.050006	-2.431.194	0.0002
D(AH)	-3.110.445	1.795.502	-1.732.354	0.1816	-0.700634	0.242134	-2.893.577	0.0628
D(B)	-0.079163	0.024079	-3.287.719	0.0462	0.005411	0.000676	8.001.555	0.0041
D(P)	-9.77E-06	7.71E-11	-126814.0	0.0000	-2.53E-06	6.32E-11	-40043.03	0.0000
D(R)	0.001671	6.65E-07	2.510.688	0.0000	0.000580	1.45E-07	4.009.845	0.0000
D(S)	7.40E-06	1.52E-09	4.874.200	0.0000	6.47E-05	2.18E-09	29635.60	0.0000
Türkiye								
Değişkenler	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık				
ECM	-0.560559	0.027692	-2.024.246	0.0003				
D(AH)	-0.114234	2.369.379	-0.048213	0.9646				
D(B)	0.218127	0.017354	1.256.933	0.0011				
D(P)	0.000238	3.65E-08	6.508.839	0.0000				
D(R)	0.001659	2.71E-06	6.127.894	0.0000				
D(S)	0.000128	4.40E-09	29164.98	0.0000				

Not: *%10, ** %5, ***%1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Hata düzeltme terimine ait katsayının negatif ve istatistiki bakımdan anlamlı bulunması değişkenlerin denge değerine kolaylıkla yakınsayacağını ve kısa dönemde ortaya çıkabilecek olan dengesizliklerin tamamının uzun dönemde düzeleceğini belirtmektedir. Tablo 13'e göre hata düzeltme katsayısı tüm ülkelerde negatif ve istatistiki bakımdan anlamlı çıkmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı bulunan ülkelerden ABD, Fransa, ve Japonya'da kısa dönemde ortaya çıkabilecek sapmaların yaklaşık bir dönemin sonunda, İngiltere ve Kore'de bir dönem tamamlanmadan, Almanya'da yaklaşık 1,2 dönemde ve Türkiye'de ise yaklaşık olarak iki dönemde sapmaların dengeye yaklaşması beklenmektedir. Bu ülkeler açısından yurtiçi arge harcamalarının, bilgi ve iletişim teknolojisi ürünleri ihracatının, patent başvurularının, arge ile ilgilenen araştırmacıların sayısının ve bilimsel ve teknik dergi makaleleri sayısının yıllık GSYİH büyüme oranı üzerindeki etkisinin gecikmeli olarak ortaya çıktığı sonucuna varılmıştır. Yurtiçi arge harcamaları (AH) değişkeninin katsayısı, Kore'de 0,10 anlamlılık düzeyine göre düşük olasılıkla istatistiki bakımdan anlamlı ancak iktisadi bakımdan anlamsız, diğer ülkelerin tamamında istatistiki bakımdan anlamsız çıkmıştır. Bilgi ve iletişim teknolojisi ürünleri ihracatı katsayısı (B) Almanya'da istatistiki bakımdan İngiltere, Fransa ve Japonya da ise iktisadi bakımdan anlamsız ABD, Kore ve Türkiye'de istatistiki ve iktisadi bakımdan anlamlı çıkmıştır. Buna göre, bilgi ve iletişim teknolojisi ürünleri ihracatında meydana gelen bir birimlik artışın büyüme üzerine ABD'de % 0,25, Kore'de % 0,005'lik, Türkiye'de % 0,21'lik artış sağlamaktadır. Patent başvuruları sayısı katsayısı (P), tüm ülkelerde istatistiki bakımdan anlamlı, Japonya ve Kore'de ise iktisadi bakımdan anlamsız çıkmıştır. Buna göre, patent başvuruları sayısında meydana gelen bir birimlik artış büyüme üzerinde ABD'de % 1,63, Almanya'da % 5,41, İngiltere'de % 0,0001, Fransa'da % 0,0005, Türkiye'de % 0,0002'lik artış sağlamaktadır. Arge ile ilgilenen araştırmacıların sayısı (R), tüm ülkelerde istatistiki bakımdan anlamlı ancak iktisadi olarak Fransa'da anlamsız diğer ülkelerde anlamlı sonuç vermesine rağmen yıllık GSYİH büyüme oranına katkısı düşük çıkmıştır. Buna göre Japonya ve Türkiye açısından bir değerlendirme yapılırsa arge ile ilgilenen araştırmacıların sayısı bir birim artarsa yıllık GSYİH büyüme oranında yüzde 0.001 artar. Bilimsel ve teknik dergi makaleleri sayısı katsayısı, tüm ülkelerde istatistiki bakımdan anlamlı iktisadi bakımdan Almanya ve Fransa hariç diğer ülkelerde anlamlı çıkmıştır. Buna göre, bilimsel ve teknik dergi makaleleri sayısında

bir birimlik artış büyüme üzerinde ABD’de % 8,11, İngiltere’de % 6,57, Japonya % 7,40, Kore’de % 6,47, Türkiye’de % 0,001’lik artış sağlamaktadır.

İkinci modelin analizinde yapılan literatür incelemesinde Joseph (2002), Colecchia ve Schreyer (2002), Maurseth ve Frank (2009), Yousefi (2011) ve Otoo ve Song (2021) çalışmalarında bilgi ve iletişim ihracatı ve büyüme analizini temel almışlardır. Aldakhil vd. (2019) çalışmasında sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için bilgi ve iletişim teknolojisi uygulamalarının artırılması gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmalarda ihracat temelli büyüme stratejisi vurgulanmış, bilgi ve iletişim mal ihracatından büyümeye analiz yapılmıştır. Bizim çalışmamızda inovasyon ve teknolojik gelişmenin göstergesi olarak alınmış olan bilgi ve iletişim mal ihracatının analizdeki diğer değişkenlerin hangileri tarafından ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymaktır.

3.2.3.4. Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Kurulan Panel ARDL Modeli Sonuçları- Model (2)

Tablo 14: Model 2’nin Uzun ve Kısa Dönem Panel ARDL Modeli Sonuçları

Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık
Uzun Dönem Denklemi				
LogG	0.126199	0.052792	2.390.488	0.0197
AH	-0.177547	0.145583	-1.219.556	0.2270
R	0.000515	0.000200	2.577.442	0.0122
P	-2.41E-06	1.42E-06	-1.704.228	0.0931
S	-1.65E-06	5.68E-07	-2.905.793	0.0050
Kısa Dönem Denklemi				
ECM	-0.187607	0.107630	-1.743.080	0.0860
D(LogG)	-0.006933	0.020952	-0.330904	0.7418
D(AH)	-0.090545	0.129150	-0.701086	0.4858
D(R)	-0.000128	0.000134	-0.953776	0.3437
D(P)	2.30E-05	2.04E-05	1.127.493	0.2637
D(S)	-1.28E-06	6.98E-06	-0.183189	0.8552

Not: *%10, ** %5, ***%1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 14'e göre model 2 in kısa dönem model tahmini şu şekildedir:

$$\Delta \log B = -0,187ECM - 0,006\Delta \ln G - 0,090\Delta AH - 0,001\Delta R + 2,30\Delta P - 1,28\Delta S + e_t \quad (9)$$

Tahmin edilen modele göre hata düzeltme faktörü içeren model denklem (9)'de gösterilmiştir. Buna göre kısa dönem ilişkiden uzun döneme geçerken modelin uzun dönemi yakalama hızı yaklaşık %18'dir. Diğer bir deyişle Panelde $ECM_{i,t-1}$ katsayısının -0.187 olması, kısa dönemde seriler arasındaki dengesizliğin her dönem yüzde 18,7'si olmak üzere yaklaşık 5,5 dönem sonra ortadan kalkacağını göstermektedir. Modelde yer alan değişkenlerin tamamı kısa dönemde istatistiksel olarak anlamsız hata düzeltme katsayısının 0,10 olasılıkla anlamlı olduğu gözlenmiştir.

Tablo 14'e göre model 2 in uzun dönem model tahmini şu şekildedir:

$$\log B = 0,126\ln G - 0,177AH + 0,001R - 2,41P - 1,65S + e_t \quad (10)$$

Kısa dönem ARDL tahmin sonuçlarıyla kıyaslandığında uzun dönem ilişki modelinde (10) gecikmeli değerlerin yer almadığı ve kısa dönemle AH değişkeni hariç uzun dönemde bilgi ve iletişim ihracatı değişkeni üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kısa döneme göre büyüme değişkeninin bilgi ve iletişim ihracatı değişkeni üzerinde etkisi uzun dönemde pozitif dönmüştür. Patent değişkeninin ise uzun dönemde bilgi ve iletişim ihracatı değişkeni üzerine negatif etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre panel genelinde uzun dönemde; büyümede meydana gelen %1'lik artış bilgi ve iletişim mal ihracatını yaklaşık %0,13 artırmakta, ar-ge ile ilgilenen araştırmacı sayısında meydana gelen 1 birimlik artış bilgi ve iletişim mal ihracatını çok düşük bir oranda % 0,001 oranında arttırmakta, patent başvurularında meydana gelen bir birimlik artış bilgi ve iletişim mal ihracatını %2,42 oranında azatmakta ve beklendilerimizi karşılamamakta, bilimsel ve teknik dergi makalelerinde meydana gelen bir birimlik artış bilgi ve iletişim mal ihracatını

yaklaşık %1,66 oranında azaltmakta ve bu değışkenden patent değışkeni gibi beklentilerimizi karşılamamaktadır.

Tablo 15'e göre hata düzeltme katsayısı Japonya hariç tüm ülkelerde negatif ve istatistiki bakımdan anlamlı çıkmıştır. Bu katsayıya göre ABD'de meydana gelen şok ve sapmaların % 0.30'u Almanya'sa % 0.08'i, İngiltere'de % 0.04'ü Fransa'da % 0.10'u, Kore'de %0.04'ü, Türkiye'de 0.40'ı bir dönem içerisinde dengeye gelecektir. Bu model de kısa dönem ilişkilerinde sadece Japonya'da bir ilişkiye rastlanmamıştır. Panel sonuçlarına göre tüm katsayılar istatistiki bakımdan 0.05 olasılıkla anlamlı çıkmıştır. Katsayı tahminlerine göre büyüme(logG), bilgi ve iletişim mal ihracatını(LogB) ABD hariç diğer ülkelerin hemen hemen tamamında %0.05'den az olmak üzere pozitif etkilemektedir. Arge harcamaları(AH) bilgi ve iletişim mal ihracatını ABD ve Fransa'da pozitif diğer ülkelerde negatif etkilemektedir. Buna göre arge harcamalarında meydana gelen bir birimlik artış bilgi ve iletişim mal ihracatını ABD'de % 0,06, Fransa'da % 0,52 arttırmaktadır.

Tablo 15: Ülke Bazında Kısa Dönem Panel ARDL Sonuçları (Bağımlı Değişken: D(LogB))

ABD					Almanya			
Değişkenler	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık
ECM	-0.306722	0.008420	-3.642.976	0.0000	-0.084597	0.012223	-6.921.094	0.0062
D(LogG)	-0.011867	7.95E-05	-1.492.459	0.0000	0.004237	0.000207	2.050.606	0.0003
D(AH)	0.055145	0.003667	1.503.892	0.0006	-0.144311	0.017022	-8.477.895	0.0034
D(R)	-7.67E-05	9.16E-10	-83659.58	0.0000	-0.000110	6.87E-09	-15988.69	0.0000
D(P)	8.88E-08	2.04E-13	434309.3	0.0000	-9.19E-06	7.70E-11	-119235.0	0.0000
D(S)	-6.41E-07	1.42E-13	-4514013.	0.0000	-1.08E-06	1.10E-11	-98490.96	0.0000
İngiltere					Fransa			
ECM	-0.040847	0.006240	-6.545.567	0.0072	-0.100305	0.030650	-3.272.563	0.0467
D(LogG)	0.032903	0.000561	5.864.124	0.0000	0.004887	0.000361	1.355.371	0.0009
D(AH)	-0.018427	0.006500	-2.835.158	0.0659	0.517932	0.061525	8.418.176	0.0035
D(R)	-0.000102	4.09E-09	-24871.19	0.0000	-0.000610	4.50E-08	-13550.97	0.0000
D(P)	1.36E-06	1.56E-12	872241.9	0.0000	0.000107	1.99E-09	53971.59	0.0000
D(S)	-1.05E-05	8.14E-11	-129446.2	0.0000	-6.06E-06	5.18E-11	-116906.5	0.0000
Japonya					Kore			
ECM	0.251496	0.027348	9.196.159	0.0027	-0.040847	0.006240	-6.545.567	0.0072
D(LogG)	0.025574	7.14E-05	3.583.383	0.0000	0.032903	0.000561	5.864.124	0.0000
D(AH)	-0.114310	0.007263	-1.573.862	0.0006	-0.018427	0.006500	-2.835.158	0.0659
D(R)	8.76E-05	4.92E-09	17782.68	0.0000	-0.000102	4.09E-09	-24871.19	0.0000
D(P)	-8.65E-07	2.68E-13	-3234202.	0.0000	1.36E-06	1.56E-12	872241.9	0.0000
D(S)	2.96E-07	4.76E-12	62175.74	0.0000	-1.05E-05	8.14E-11	-129446.2	0.0000
Türkiye								
Değişkenler	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık				
ECM	-0.406824	0.025567	-1.591.234	0.0005				
D(LogG)	0.023429	0.002185	1.072.412	0.0017				
D(AH)	-0.364662	0.090652	-4.022.632	0.0276				
D(R)	-0.000519	1.02E-07	-5.071.131	0.0000				
D(P)	9.30E-05	3.73E-09	24940.82	0.0000				
D(S)	3.51E-05	4.50E-10	77977.72	0.0000				

Not: *%10, ** %5, ***%1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Arge ile ilgilenen araştırmacı sayısı(R), bilgi ve iletişim mal ihracatını Japonya hariç diğer ülkelerde negatif etkilemektedir. Buna göre Japonya’da arge ile ilgilenen araştırmacı sayısında meydana gelen bir birimlik artış bilgi ve iletişim mal ihracatını % 8.77 arttırmaktadır ve Japonya için çok önemli bir orandır. Patent başvuruları bilgi ve iletişim mal ihracatını Almanya ve Japonya hariç diğer ülkelerde

pozitif etkilemektedir. Buna göre, Patent başvurularında meydana gelen bir birimlik artış bilgi ve iletişim mal ihracatını ABD’de % 8.89, İngiltere’de % 1.36, Fransa’da %0,001, Kore’de %1.37 ve Türkiye’de % 9.31 oranında arttırmaktadır. Bilimsel ve teknik dergi makaleleri Japonya ve Türkiye hariç diğer ülkelerde bilgi ve iletişim mal ihracatını negatif etkilemektedir. Buna göre bilimsel ve teknik dergi makalelerinde meydana gelen bir birimlik artış bilgi ve iletişim mal ihracatını Japonya’da % 2.97, Türkiye’de % 3.52 oranında arttırmaktadır.

3.2.3.5. Model 3 ve Model 4 İçin Literatür İncelemesi

Tez çalışmamızın konusunu ve farklı ülke gruplarını da barındıracak şekilde genel bir literatür taraması yapılmış olup konumuz ile ilgili birçok çalışmayla karşılaşılmış, bazı kaynaklar literatür incelemesine dahil edilebilmiştir. Son iki model için literatür incelemesi şu şekildedir:

Tablo 16: Model 3 ve Model 4 Literatür İncelemesi

Braunerhjelm ve Thulin (2008)	Yıllar: 1981-1999 Ülke Grubu: 19 OECD ülkesi Değişkenler: ARGE harcamaları ve Yüksek teknoloji ihracatı Ar-Ge harcamalarındaki %1’lik artışın yüksek teknolojili ürün ihracatını %3 lük bir artış yapacağını, ülke büyüklüğünün yüksek teknolojili ürünlerin ihracatı üzerinde bir etkisi olmadığını ve kurumsal faktörlerin karşılaştırmalı üstünlüğün dinamiklerini etkileyeceğini belirtmişlerdir. Yüksek teknolojili ürünlerin üretim ve ihracatının dağılımını belirlemenin önemi vurgulanmıştır.
Yoo (2008)	Yıllar: 1988-2000 Ülke Grubu: 91 ülkeden alınan verilere dayalı bir çapraz ülke analizi Değişkenler: Yüksek Teknoloji ihracatının ekonomik büyüme üzerine etkisi Sonuçlar yüksek teknoloji ihracatının kişi başına GSYİH düzeyi üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkiye sahip olduğu ve HT ihracatının ekonomik çıktıya önemli ölçüde katkıda bulunduğunu göstermektedir.
Falk (2009)	Yıllar: 1980-2014 Ülke Grubu: 22 OECD ülkesi Değişkenler: Ar-Ge yoğunluğu, yüksek teknoloji ihracatı ve çalışma çağındaki nüfus başına GSYİH hem işletme Ar-Ge yoğunluğunun hem de yüksek teknoloji ihracatının payının, çalışma çağındaki nüfus başına GSYİH ile önemli ölçüde pozitif bir şekilde ilişkili olduğu bulunmuştur.
Kılavuz ve Topçu (2012)	Yıllar: 1998-2006 Ülke Grubu: 22 gelişmekte olan ülke Değişkenler: yüksek ve düşük teknolojili ihracat, büyüme yüksek teknoloji ihracat değişkeninin büyüme üzerinde olumlu ve önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Wana Ismail (2013)	Yıllar: 2004-2005-2006-2009 Ülke Grubu: 10 asya ülkesi, Avrupa Birliği ve Avrupa Birliği dışındaki otuz bir ithalatçı ülke Değişkenler: Yüksek teknoloji ihracatı arge harcamaları ürünlerin geliştirilmesinde inovasyonun temel itici güç olduğu yüksek teknoloji ticaretinde benimsenebileceğini öne sürdü. Süreç boyunca yerli üreticilerin ürünlerde teknolojiye uyum sağlama ve Ar-Ge harcamalarını artırma kabiliyetine sahip olması gerekmektedir. Sonuç, Asya ülkelerindeki yeniliğin, yüksek teknoloji ihracatının artmasında tamamlayıcı olduğunu doğruluyor.
Meo ve Usmanı (2014)	Yıllar: 1996-2011 Ülke Grubu: 47 Avrupa ülkesi Değişkenler: kişi başı Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH), Ar-Ge harcamaları, üniversite sayıları, indeksli bilimsel dergiler, yüksek teknoloji ihracatı ve patent sayıları Ar-Ge harcamaları, üniversite sayısı, indeksli dergi sayısı, yüksek teknoloji ihracatı ve patent sayısı, çeşitli fen bilimleri ve sosyal bilimler konularında yayınlanan belge sayısı ile pozitif bir korelasyona sahiptir. Patent başvurusu ile yüksek teknoloji ihracatı arasında pozitif bir ilişki bulduk. Bununla birlikte, kişi başına GSYİH ile araştırma sonuçları arasında bir ilişki yoktu. Bilgiye dayalı bir ekonomiye katkıda bulunan en önemli faktörlerin Ar-Ge harcamaları, üniversite sayısı, bilimsel endeksli dergiler ve araştırma yayınları olduğu ve bunun da patentler, yüksek teknoloji ihracatı ve nihayetinde GSYİH'ı etkilediği sonucuna varıldı.
Sandu, S., Ciocanel, B. (2014),	Yıllar: 2006-2010 Ülke Grubu: 26 AB ülkesi (Lüksemburg hariç) Değişkenler: yüksek teknoloji ihracatı, Arge harcamaları ve bilgi yoğun faaliyetlerdeki istihdam, GSYH. Toplam Ar-Ge harcama hacmi ile yüksek teknoloji ihracatı seviyesi arasında pozitif bir korelasyon olduğunu doğrulamaktadır. Özel Ar-Ge harcamalarının yüksek teknoloji ihracatı üzerindeki etkisi, kamu Ar-Ge harcamalarından daha güçlüdür. İhracat politikası ile Ar-Ge ve yenilik politikası ilişkilendirilmesini önermişler. ortalama AB Ar-Ge harcaması düzeyini GSYİH'nın% 3'ü hedefine ve özellikle AB özel Ar-Ge harcamaları ortalamasını GSYİH'nın% 2'sine yükseltmek, ihracatı ve rekabet gücünü önemli ölçüde artırabileceği sonucuna ulaşmışlardır.
Bujari ve Martínez (2016)	Yıllar: 1996-2008 Ülke Grubu: Latin Amerika'daki on iki temsilci ülke Değişkenler: Patent, ileri teknoloji ihracatı ve kişi başına düşen gsyih Patent ve yüksek teknoloji ürünlerinin ihracatına yapılan yatırımın, Latin Amerika ülkelerinin çoğunda toplam faktör verimliliğini ve kişi başına düşen GSYİH'ı artırmak için uygun olduğudur.
Ustabas ve Ersin (2016)	Yıllar: 1989-2014 Ülke Grubu: Türkiye ve Güney Kore Değişkenler: yüksek teknoloji ihracatı ile kişi başına GSYİH Güney Kore için, yüksek teknoloji ihracatının GSYİH üzerindeki olumlu etkisi uzun ve kısa vadede reddedilemez. Türkiye için bu sonuca ulaşılamaz. Türkiye için parametre tahminleri, yüksek teknoloji ihracatının sadece kısa vadede sınırlı bir pozitif etkisine işaret ediyor. Sonuçlar, Türkiye'nin ekonomik büyümeyi hızlandırabilecek beşeri sermaye ve yüksek teknoloji ihracatına yönelik Ar-Ge yatırımlarını gelecekte artırması gerektiğini göstermektedir.
Alagöz ve Akar (2016)	Yıllar: 1996-2014 Ülke Grubu: E7 ülkeleri (Brezilya, Çin, Endonezya, Hindistan, Meksika, Rusya ve Türkiye) Değişkenler: Ar-Ge harcamaları ile ileri teknoloji ihracatı Yapılan değerlendirme sonucunda hem Çin'in Ar-Ge harcamalarına ayırdığı pay hem de yüksek teknoloji ürün ihracatının diğer ülkelere göre daha fazla olduğu tespit edildi.

Özkan ve Yılmaz(2017)	Yıllar: 1996-2015 Ülke Grubu: Avrupa Birliğine üye 12 ülke Değişkenler: Ar-Ge harcamaları, GSYİH, Yüksek Teknolojili Ürün İhracatı Tüm panel için ulaşılan sonuçlar Ar-Ge harcamalarının Yüksek Teknolojili Ürün İhracatı ve GSYİH pozitif yönde etkilediğidir. Buna göre ülkelerin hem GSYİH'sını hem de ihracatlarını arttırmak için Ar-Ge yatırımlarına ağırlık vermesi gerektiği söylenebilir.
Maradana, Pradhan, Dash, Gaurav, Jayakumar and Chatterjee(2017)	Yıllar: 1989-2014 Ülke Grubu: 19 Avrupa ülkesi Değişkenler: (Tüm değişkenler inovasyon olarak düşünülmüş) patent, araştırma ve geliştirme harcamaları, araştırma ve geliştirme faaliyetlerindeki araştırmacılar, yüksek teknoloji ihracatı, bilimsel ve teknik dergi makaleleri ve kişi başına düşen GSMH Belirli bir inovasyon göstergesinin kullanımına atıfta bulunarak, inovasyon ve kişi başına ekonomik büyüme arasındaki uzun vadeli ilişkinin kanıtlarını bulmaktadır. deneysel araştırma sürecinde kullandığımız inovasyon göstergelerinin türlerine bağlı olarak ülkeden ülkeye değişir. inovasyon göstergelerinin kişi başına ekonomik büyüme ile önemli ölçüde bağlantılı olduğunu ortaya koyuyor.
Algan, Manga ve Tekeoğlu (2017)	Yıllar: 1996-2015 Ülke: Türkiye Özeli Değişkenler: yüksek teknoloji ürün ihracatı, patent başvuru sayısı, Ar-Ge harcamalarının GSYİH'deki payı, kişi başına GSYİH değişkeni kısa dönemde, Ar-Ge harcamaları ve yüksek teknoloji ürün ihracatından kişi başına GSYİH'ye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi, yüksek teknoloji ürün ihracatından patent başvuru sayısına doğru tek yönlü ve patent başvuru sayısı ile Ar-Ge harcamaları arasında ise çift yönlü nedensellik ilişkisi, Uzun dönemde ise kişi başına GSYİH, Ar-Ge harcamaları ile patent başvuru sayısından pozitif yönde, yüksek teknoloji ürün ihracatından negatif yönlü etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır.
Alper(2017)	Yıllar: 1990-2015 Ülke: Türkiye Özeli Değişkenler: Patent, Ar-Ge yatırımları, ihracat ve büyüme Hatemi-J asimetrik nedensellik testi sonuçlarına göre ise yüksek teknoloji ürün ihracatı, patent sayısı ve AR-GE harcamalarının negatif ve pozitif bileşenlerinden, ekonomik büyümenin negatif ve pozitif bileşenlerine doğru bir nedensellik tespit edilirken, ekonomik büyümeden, yüksek teknoloji ürün ihracatı ve AR-GE harcamalarına doğru sadece pozitif bileşenlerde nedensellik belirlenmiştir.
Özçelik, Aslan ve Özbek (2018)	Yıllar: 1996-2014 Ülke Grubu: 10 OECD Ülkesi Değişkenler: Arge Harcamaları ve ileri teknoloji İhracatı Ekonometrik analizler sonucunda Ar-Ge harcamalarıyla yüksek teknoloji ihracatı arasında eş bütünleşme ve çift yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.
Kabaklarli, Duran ve Üçler (2018)	Yıllar: 1989-2015 Ülke Grubu: Seçilmiş 14 OECD ülkesi Değişkenler: Yüksek Teknoloji ihracatı, patent başvuruları ve ekonomik büyüme Seçilmiş OECD ülkelerinde yüksek teknoloji ihracatı ile ekonomik büyüme arasında uzun vadeli bir ilişki var. Ampirik sonuçlar, patent başvurularında ve doğrudan yabancı yatırımlarda bir iyileşmenin, seçilmiş OECD ülkelerinin yüksek teknoloji ihracatını yükseltmede belirleyici bir rol oynadığını, büyüme oranı ve yatırımın da bu ülkelerin yüksek teknoloji ihracatını artırmada olumsuz bir rol oynadığını göstermektedir. GSYİH'deki% 1'lik artışın, yüksek teknoloji ihracatında% 2,61'lik bir düşüşe yol açacağı ve Patent başvurularındaki% 1'lik artış, yüksek teknoloji ihracatında% 3,47'lik bir artışa yol açacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Aldakhil vd. (2019)	Yıllar: 1975-2016 Ülke Grubu: Güney asya bölgesi Değişkenler: BİT, yüksek teknoloji ihracatı , Ar-Ge] harcamaları, büyüme BIT (telefon, mobil ve internet),yüksek teknoloji ihracatını önemli ölçüde arttırırken BİT ve Ar-Ge harcamalarının etkileşimiyle ileri teknoloji üzerine etkisi ortaya konmuştur. Sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için enerji verimliliği ve büyümeyi destekleyen politikalar sağlayan bilgi ve iletişim teknolojisi uygulamalarının arttırılması gerektiği vurgulanmıştır.
Erdoğan ve Aydınbaş (2020)	Yıllar: 2007-2018 Ülke Grubu: Seçilmiş 16 Ülke Değişkenler: GSYH, Bilim ve Teknik Dergi Makale Sayısı, Patent Başvuru Sayısı, Yüksek Teknoloji Ürünleri İhracatını Bağımlı değişken olan yüksek teknoloji ürünleri ihracı ile bağımsız değişkenler olan GSYH arasında, patent başvuru sayısı arasında, bilim-teknik dergi makale sayısı arasında, istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.
Maneejuk ve Yamaka (2020)	Yıllar: 1995-2017 Ülke Grubu:gelişmekte olan ülkelerin beş temsilcisi,Çin, Brezilya, Arjantin, Tayland, ve Malezya. Gelişmiş ülkelerin beş temsilcisi de İzlanda, İsviçre, Danimarka, Birleşik Krallık ve Hollanda Değişkenler: Teknoloji ve yenilikle, yani patent başvurularının sayısı, araştırma ve geliştirmeye yönelik gayri safi yurtiçi harcamalar ve Ar-Ge yoğunluğu yüksek ürünlerin ihracat değeri ve ekonomik büyüme. Bu çalışma telekomünikasyon teknolojisinin ve inovasyonun gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyümelerini ne ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. telekomünikasyon teknolojisi ve inovasyon, gelişmiş ülkelere kıyasla gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyümesi üzerinde nispeten daha büyük bir etki yaratmaktadır. telekomünikasyon teknolojisi ile yenilik ve ekonomik büyüme arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğu. gelişmekte olan ülkeler, sabit telefon abonelikleri, mobil cep telefonu abonelikleri, yüksek teknoloji ihracatı ve patent başvuruları durumunda, sakinlerin ekonomik büyüme üzerinde doğrusal olmayan bir etki ürettikleri bulunmuştur.

Üçüncü modelin analizinde yapılan literatür incelemesinde arge harcamalarının ve patent başvurusunun yüksek teknoloji ihracatını arttırdığı sonucuna ulaşan; Thulin (2008), Wana Ismail (2013), Meo ve Usmanı (2014), Braunerhjelm ve Sandu, S., Ciocanel, B. (2014), Maradana, Pradhan, Dash, Gaurav, Jayakumar and Chatterjee(2017), Kabaklarli, Duran ve Üçler (2018), Aldakhil vd. (2019), ve Erdoğan ve Aydınbaş (2020) ile uyumlu olduğu görülmektedir. İleri teknoloji ihracatının belirleyicileri üzerine Türkiye’de yapılmış çalışmaların azlığı bu modellemenin Türkiye’de yapılacak çalışmalar açısından yararlı olacağı düşünülmektedir.

3.2.3.6. Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Kurulan Panel ARDL Modeli

Sonuçları- Model (3)

Tablo 17: Model 3'ün Uzun ve Kısa Dönem Panel ARDL Modeli Sonuçları

Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık
Uzun Dönem Denklemleri				
AH	0.524838	0.042758	1.227.459	0.0000
R	-0.000124	3.74E-05	-3.304.465	0.0016
B	0.014963	0.002458	6.086.736	0.0000
P	8.74E-06	3.15E-06	2.773.691	0.0072
S	6.24E-07	6.47E-07	0.965327	0.3380
Kısa Dönem Denklemleri				
ECM	-0.414306	0.166824	-2.483.500	0.0156
D(AH)	-0.115261	0.091269	-1.262.870	0.2111
D(R)	2.09E-05	4.16E-05	0.502621	0.6169
D(B)	0.010723	0.005703	1.880.158	0.0646
D(P)	-3.64E-06	4.05E-06	-0.899036	0.3720
D(S)	1.02E-06	7.02E-07	1.451.627	0.1514

Not: *%10, ** %5, ***%1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 17'ye göre model 3'ün kısa dönem model tahmini şu şekildedir:

$$\Delta \ln YTI = -0,414ECM - 0,115\Delta AH + 2,09\Delta R - 0,011\Delta B - 3,641\Delta P + 1,021\Delta S + e_t \quad (11)$$

Tahmin edilen modele göre hata düzeltme faktörü içeren model denklem (11)'de gösterilmiştir. Buna göre kısa dönem ilişkiden uzun döneme geçerken modelin uzun dönemi yakalama hızı yaklaşık %41'dir. Kısa dönem modelde yer alan AH, R, P ve S değişkenleri istatistiksel olarak anlamsız B değişkeni 0,10 olasılıkla anlamlı, ECM katsayısı 0,01 olasılıkla anlamlı olduğu gözlenmiştir.

Tablo 17'ye göre model 3'ün uzun dönem model tahmini şu şekildedir:

$$\ln YTI = 0,524AH - 0,001R + 0,014B + 8,741P + 6,241S + e_t \quad (12)$$

Kısa dönem ARDL tahmin sonuçlarıyla kıyaslandığında uzun dönem ilişki model denklem (12)'de gecikmeli değerlerin yer almadığı ve kısa dönemle kıyaslandığında S değişkeni hariç diğer değişkenlerin uzun dönemde ileri teknoloji ihracatı değişkeni üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kısa döneme göre patent ve arge harcamaları değişkeninin ileri teknoloji ihracatı değişkeni üzerinde etkisi uzun dönemde pozitif dönmüştür. Arge'de çalışan araştırmacı sayısı hariç diğer değişkenler ileri teknoloji ihracatını pozitif etkilemektedir. Buna göre panel genelinde arge harcamalarında meydana gelen bir birimlik artış uzun dönemde ileri teknoloji ihracatını % 0.53, bilgi ve iletişim teknolojisi ürünleri ihracatında meydana gelen bir birimlik artış uzun dönemde ileri teknoloji ihracatını % 0.01, patent başvurularında meydana gelen bir birimlik artış uzun dönemde ileri teknoloji ihracatını % 8.75, bilimsel ve teknik dergi makalelerinde meydana gelen bir birimlik artış uzun dönemde ileri teknoloji ihracatını % 6.25 oranında arttırmaktadır.

Tablo 18'e göre hata düzeltme katsayısı İngiltere hariç tüm ülkelerde negatif ve istatistiki bakımdan anlamlı çıkmıştır. Bu katsayıya göre meydana gelen şok ve sapmaların ABD'de % 0.49'u, Almanya'da % 0.98'i, Fransa'da % 1.05'u, Japonya'da % 0,08'si, Kore'de %0.16'ü, Türkiye'de yaklaşık 0.10'u bir dönem içerisinde dengeye gelecektir. Bu model de kısa dönem ilişkilerinde hata düzeltme katsayısı sadece İngiltere'de istatistiki bakımdan anlamlılık 0.10 oranıyla düşük çıkmış diğer ülkelerde 0.01 oranıyla anlamlı çıkmıştır. Katsayı tahminlerine göre, Türkiye'de arge harcamaları katsayısı hariç tüm ülkelerin tüm katsayıları istatistiki bakımdan 0.01 olasılıkla anlamlı çıkmıştır. Buna göre; arge harcamalarında meydana gelen bir birimlik artış yüksek teknoloji ihracatı üzerinde ABD'de %0.24, Kore'de % 0,02 pozitif etkide bulunurken, diğer ülkelerde negatif etkide bulunur. Arge'de çalışan araştırmacı sayısında meydana gelen bir birimlik artış yüksek teknoloji ihracatı üzerinde Almanya'da % 0,002, Fransa'da % 6.51, Japonya'da % 4.27, Kore'de 9.50, Türkiye'de 0,001'lik artış sağlarken, ABD ve İngiltere'de negatif etkide bulunur.

Tablo 18: Ülke Bazında Kısa Dönem Panel ARDL Sonuçları (Bağımlı Değişken: D(LogYTI))

ABD					Almanya			
Değişkenler	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık
ECM	-0.491895	0.037913	-1.297.447	0.0010	-0.983634	0.046503	-2.115.188	0.0002
D(AH)	0.240751	0.019085	1.261.448	0.0011	-0.397695	0.011362	-3.500.093	0.0001
D(R)	-0.000190	6.25E-09	-30390.94	0.0000	0.000110	1.37E-09	80146.72	0.0000
D(B)	0.020686	0.000191	1.083.420	0.0000	-0.009907	0.000101	-9.806.257	0.0000
D(P)	-1.82E-06	1.44E-12	-1262906	0.0000	1.42E-06	1.63E-11	87083.19	0.0000
D(S)	6.22E-07	8.40E-13	739512.8	0.0000	5.72E-07	2.39E-12	239268.1	0.0000
İngiltere					Fransa			
ECM	-0.031227	0.015881	-1.966.355	0.1440	-1.057.604	0.006448	-1.640.133	0.0000
D(AH)	-0.131709	0.013836	-9.519.121	0.0025	-0.451799	0.006325	-7.143.398	0.0000
D(R)	-3.34E-05	1.21E-09	-27496.32	0.0000	6.50E-05	3.56E-09	18236.67	0.0000
D(B)	0.001859	2.00E-06	9.284.033	0.0000	0.030157	1.56E-05	1.937.693	0.0000
D(P)	-1.17E-05	9.25E-11	-126145.3	0.0000	-2.22E-05	1.11E-10	-199517.5	0.0000
D(S)	-9.29E-07	8.25E-12	-112607.6	0.0000	3.70E-06	5.58E-12	663231.3	0.0000
Japonya					Kore			
ECM	-0.076754	0.001741	-4.409.395	0.0000	-0.160942	0.003175	-5.069.543	0.0000
D(AH)	-0.065162	0.002758	-2.362.974	0.0002	0.021963	0.001315	1.670.226	0.0005
D(R)	4.26E-05	8.91E-10	47815.77	0.0000	9.49E-06	7.62E-10	12454.28	0.0000
D(B)	-0.000569	2.55E-05	-2.232.301	0.0002	0.006602	4.35E-06	1.518.730	0.0000
D(P)	-1.12E-06	1.27E-13	-8817864.	0.0000	-1.96E-06	5.05E-13	-3869421.	0.0000
D(S)	-1.12E-06	2.33E-12	-482810.3	0.0000	1.10E-06	1.33E-11	82573.64	0.0000
Türkiye								
Değişkenler	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık				
ECM	-0.098089	0.025212	-3.890.617	0.0301				
D(AH)	-0.023177	0.034036	-0.680954	0.5448				
D(R)	0.000143	3.24E-08	4.403.225	0.0000				
D(B)	0.026232	0.000203	1.293.105	0.0000				
D(P)	1.19E-05	9.21E-10	12899.63	0.0000				
D(S)	3.19E-06	1.05E-10	30443.73	0.0000				

Not: *%10, ** %5, ***%1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 18'e göre bilgi ve iletişim teknolojisi ürünleri ihracatında meydana gelen bir birimlik artış yüksek teknoloji ihracatı üzerinde ABD'de % 0,03, İngiltere'de % 0,02, Fransa'da % 0,03, Kore'de % 0,01, Türkiye'de %0,03'lük artış

sağlarken Almanya ve Japonya’da negatif etkide bulunur. Patent başvuru sayısında meydana gelen bir birimlik artış yüksek teknoloji ihracatı üzerinde Almanya’da %1,43, Türkiye’de %1,19 artış sağlarken diğer ülkelerde negatif etkide bulunur. Bilimsel ve teknik dergi makaleleri sayısında meydana gelen bir birimlik artış yüksek teknoloji ihracatı üzerinde ABD’de % 6.23, Almanya’da % 5.72, Fransa’da %3.71, Kore’de % 1.11, Türkiye’de % 3.20 artış sağlarken diğer ülkelerde negatif etkide bulunur.

Dördüncü modelin analizinde yapılan literatür incelemesinde arge harcamalarındaki bir artışın büyüme üzerinde kalıcı etkide bulunacağını ifade eden Bassanini ve Scarpetta (2001), Bilgi ve iletişim mal ihracatının ekonomik büyümeyi arttırdığı sonucuna ulaşan Joseph (2002), Uzun dönemde GSYİH, Ar-Ge harcamaları ile patent başvuru sayısından pozitif yönde, yüksek teknolojili ürün ihracatından negatif yönlü etkilendiği sonucuna ulaşılan Algan, Manga ve Tekeoğlu (2017), ve ileri teknoloji ihracatının büyüme üzerinde doğrusal olmayan bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşan Maneejuk ve Yamaka (2020) ile uyumludur.

3.2.3.7. Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Kurulan Panel ARDL Modeli Sonuçları- Model (4)

Tablo 19: Model 3’ün Uzun ve Kısa Dönem Panel ARDL Modeli Sonuçları

Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık
Uzun Dönem Denklemi				
LogYTI	-4.890.019	0.817099	-5.984.606	0.0000
AH	0.530411	0.301943	1.756.659	0.0838
P	-4.91E-06	1.79E-06	-2.740.503	0.0079
B	0.034431	0.008598	4.004.414	0.0002
R	-0.000127	0.000135	-0.941583	0.3499
S	3.00E-06	1.67E-06	1.801.918	0.0763
Kısa Dönem Denklemleri				
ECM	-1.009.713	0.148715	-6.789.597	0.0000
D(LogYTI)	3.041.904	2.091.374	1.454.500	0.1507
D(AH)	0.416103	0.978130	0.425407	0.6720
D(P)	0.000165	0.000104	1.584.438	0.1180
D(B)	0.051011	0.059047	0.863894	0.3909
D(R)	-8.90E-05	0.000686	-0.129748	0.8972
D(S)	3.45E-05	2.93E-05	1.177.712	0.2433

Not: *%10, ** %5, ***%1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 19'a göre model 4 in kısa dönem model tahmini şu şekildedir:

$$\Delta \ln G = -1,009ECM + 3,041\Delta \ln YTI + 0,416\Delta AH + 0,001\Delta P + 0,051\Delta B - 8,901\Delta R + 3,451\Delta S + e_t \quad (13)$$

Tahmin edilen modele göre hata düzeltme faktörü içeren model denklem (13)'te gösterilmiştir. Buna göre kısa dönem ilişkiden uzun döneme geçerken modelin uzun dönemi yakalama hızı yaklaşık%100'dir. Diğer bir deyişle panelde ECM katsayısının -1.00 olması, kısa dönemde seriler arasındaki dengesizliğin her dönem yüzde 100'si olmak üzere yaklaşık 1 dönem içerisinde ortadan kalkacağını göstermektedir. Modelde yer alan değişkenlerin tamamı kısa dönemde istatistiksel olarak anlamsız hata düzeltme katsayısının 0,01 olasılıkla anlamlı olduğu gözlenmiştir.

Tablo 19'a göre model 4 in uzun dönem model tahmini şu şekildedir:

$$\Delta \ln G = -4,891\ln YTI + 0,531AH - 4,911P + 0,035B + 0,001R + 3,001S + e_t \quad (14)$$

Kısa dönem ARDL tahmin sonuçlarıyla kıyaslandığında uzun dönem ilişki model denlem (14)'de gecikmeli değerlerin yer almadığı ve kısa dönemle kıyaslandığında arga de çalışan araştırmacı sayısı(R) değişkeni hariç diğer değişkenler uzun dönemde istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. İstaristiksel olarak anlamlı olmasına rağmen ileri teknoloji ihracatı ve patent başvuru sayısını temsil eden değişkenlerin GSYİH üzerinde negatif etkisi çıkmıştır. Beklentilerimiz ile uyumlu çıkan bilgi ve iletişim mal ihracatında meydana gelen bir birimlik artış GSYİH'yı %0,03, bilimsel ve teknolojik dergi makeleleri sayısında meydana gelen bir birimlik artış GSYİH'yı % 3,00 oranında arttırmaktadır.

Tablo 20: Ülke Bazında Kısa Dönem Panel ARDL Sonuçları (Bağımlı Değişken: D(LogG))

ABD					Almanya			
Değişkenler	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık
ECM	-1.583.306	0.018320	-8.642.491	0.0000	-1.020.434	0.111976	-9.112.953	0.0028
D(LogYTI)	8.076.029	2.642.932	3.055.709	0.0552	-0.233428	2.407.393	-0.009696	0.9929
D(AH)	1.873.311	1.027.639	1.822.928	0.1658	-0.408418	3.402.748	-0.120026	0.9120
D(P)	4.99E-06	2.03E-11	245360.3	0.0000	2.04E-05	1.07E-08	1.901.558	0.0000
D(B)	0.259815	0.004730	5.493.378	0.0000	0.047146	0.043774	1.077.020	0.3604
D(R)	-0.001290	2.24E-07	-5.751.245	0.0000	0.001585	1.88E-06	8.441.631	0.0000
D(S)	6.39E-06	2.33E-11	274414.5	0.0000	1.72E-05	2.63E-09	6.560.219	0.0000
İngiltere					Fransa			
ECM	-0.846312	0.064616	-1.309.763	0.0010	-0.949757	0.062988	-1.507.836	0.0006
D(LogYTI)	6.240.977	1.634.882	0.381739	0.7281	-5.760.317	9.492.288	-0.606842	0.5868
D(AH)	2.253.181	4.342.580	0.518858	0.6397	4.162.479	1.063.130	0.391531	0.7216
D(P)	0.000336	2.57E-08	13084.02	0.0000	0.000722	2.42E-07	2.977.595	0.0000
D(B)	-0.010092	0.000368	-2.739.315	0.0001	0.216652	0.022571	9.598.520	0.0024
D(R)	0.000881	2.99E-07	2.949.935	0.0000	-0.003587	6.85E-06	-5.235.577	0.0000
D(S)	3.86E-05	1.02E-09	38028.06	0.0000	-0.000101	2.93E-09	-34494.97	0.0000
Japonya					Kore			
ECM	-1.029.201	0.087328	-1.178.552	0.0013	-1.317.840	0.035305	-3.732.712	0.0000
D(LogYTI)	6.430.609	4.790.787	0.134229	0.9017	-1.646.117	4.726.051	-0.348307	0.7506
D(AH)	-3.744.149	2.112.726	-1.772.188	0.1745	-1.135.537	0.172436	-6.585.272	0.0071
D(P)	-9.13E-06	1.49E-10	-61310.99	0.0000	-1.71E-05	4.70E-11	-364207.3	0.0000
D(B)	-0.212179	0.040245	-5.272.200	0.0133	0.002262	0.000803	2.816.911	0.0669
D(R)	0.001363	8.07E-07	1.688.082	0.0000	0.000346	9.61E-08	3.594.051	0.0000
D(S)	4.26E-05	1.95E-09	21807.00	0.0000	0.000153	1.90E-09	80329.86	0.0000
Türkiye								
Değişkenler	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık				
ECM	-0.321139	0.016807	-1.910.793	0.0003				
D(LogYTI)	8.185.574	2.715.163	3.014.763	0.0570				
D(AH)	-0.088146	1.387.565	-0.063525	0.9533				
D(P)	9.63E-05	3.59E-08	2.679.916	0.0000				
D(B)	0.053469	0.011180	4.782.741	0.0174				
D(R)	7.99E-05	1.54E-06	5.194.893	0.0000				
D(S)	8.48E-05	5.15E-09	16460.49	0.0000				

Not: *%10, ** %5, ***%1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 20'ye göre hata düzeltme katsayısı tüm ülkelerde negatif ve istatistiki bakımdan anlamlı çıkmıştır. Bu katsayıya göre meydana gelen şok ve sapmaların ABD ve Kore'de bir dönemden daha kısa sürede dengeye geleceği, Almanya ve Japonya'da yaklaşık bir dönemde, İngiltere'de yaklaşık 1.1, Fransa'da yaklaşık 1.1, Türkiye'de ise yaklaşık 3,3 dönemde dengeye gelecektir.

Katsayı tahminlerine göre, yüksek teknoloji ihracatı katsayısı ABD ve Türkiye'de istatistiksel olarak anlamlı diğer ülkelerde anlamsız çıkmıştır. Buna göre yüksek teknoloji ihracatında meydana gelen %1'lik bir artış ABD GSYİH'sında yaklaşık % 8.07, Türkiye GSYİH'sında yaklaşık % 8.15 oranında artış gerçekleştirecektir.

Ar-ge harcamaları ise sadece Kore'de istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Buna göre Kore'de Ar-ge harcamalarında meydana gelen bir birimlik artış büyüme oranında %1,13 azalış gerçekleştirecektir.

Patent başvuru katsayısı tüm ülkelerde istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Buna göre patent başvurularında meydana gelen bir birimlik artış ABD'de %4.99 artış, Almanya'da %2,04 artış, İngiltere ve Fransa'da %0,001 artış, Türkiye'de % 9,63 GSYİH artışı, Japonya'da %9,13 Kore %1.71 GSYİH azalışı gerçekleştirecektir. Patent başvuruları açısından ABD, Almanya ve Türkiye beklentilerimiz ile uyumlu sonuçlar çıkmıştır.

Bilgi ve iletişim mal ihracatı Almanya hariç diğer ülkelerde istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Buna göre bilgi ve iletişim mal ihracatında meydana gelen bir birimlik artış Almanya'da %0,25, Fransa'da % 0,21, Türkiye'de %0,05 GSYİH artışı gerçekleştirecektir.

Arge'de çalışan araştırmacıların sayısı tüm ülkelerde istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır ancak sadece Türkiye'de GSYİH'yı dikkate değer bir şekilde etkilemektedir. Buna göre Türkiye'de Argede çalışan araştırmacıların sayısında meydana gelebilecek bir birimlik artış GSYİH'yı % 7,99 oranında arttırmaktadır.

Bilimsel ve teknolojik dergi sayısı tüm ülkelerde istatistiksel bakımdan anlamlı çıkmıştır. Buna göre bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısında meydana gelebilecek bir birimlik artış ABD'de %6,39. Almaya'da % 1.72, İngiltere'de % 3,86, Japonya'da % 4.26, Türkiye'de %8,48'lik GSYİH artışı gerçekleştirecektir.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Genel değerlendirme Tablo 21’de ifade edilmeye çalışılmış, istatistiki bakımdan anlamsız olan değişkenler tabloya alınmamıştır. Panel geneli analiz sonuçlarının değerlendirilmesi yapılacak olursa, arge harcamalarında meydana gelen bir birimlik artış üçüncü modelde yüksek teknoloji ihracatı ve dördüncü modelde büyüme oranını yaklaşık %0,5 oranında arttırmaktadır. Bilgi ve iletişim mal ihracatında meydana gelen bir birimlik artış büyümeyi birinci modelede % 0,01 üçüncü modelde %0,03, dördüncü modelde yüksel teknoloji mal ihracatını ise % 0,01 arttırmaktadır. Bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısında meydana gelen bir birimlik artış büyümeyi ilk modelde %9,27 dördüncü modelde %3 arttırmaktadır. Patent başvurularında meydana gelen artış büyüme oranı ve bilgi ve iletişim mal ihracatını negatif etkilemektedir. Bunun sebepleri olarak analizde ele alınan ülkelerin dünyanın gelişmiş ülkeleri olmaları ve patent başvurularının artması amacıyla kaynak aktarımının fazla olması dolayısıyla büyümeyi negatif etkileyebileceği veya elde edilen patentlerin ekonomik işlerliğinin olmaması veya ekonomik değer yaratamamasından kaynaklanabilmektedir.

Yüksek teknoloji ihracatının büyüme üzerinde etkinliği negatif çıkmıştır. Buna göre, ileri teknoloji ihracatında meydana gelen bir birimlik artış GSYİH oranını % 4,89 azaltmaktadır. Bunun sebebi ise çalışmanın gelişmiş ülkeler üzerine kurulması ve ileri teknoloji ihracatının arttırılması amacıyla teknoloji yatırımlarının yani teknolojik gelişmelere yapılan kaynak aktarımının çok fazla olması, ileri teknoloji ihracatında kullanılan ara girdilerin maliyetinin çok yüksek olması gibi sebeplerle ve ekonomik büyüme üzerinde negatif etkide bulunabileceği düşünülmektedir.

Tablo 21: Analiz Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
	Bağımlı Değişken LogG	Bağımlı Değişken LogB	Bağımlı Değişken LogYTİ	Bağımlı Değişken LogG
Arge Harcamaları		-0,177	0,524	0,531
Argede Çalışan Araştırmacılar		0,001	-0,001	

Bilgi ve İletişim Mal ihracatı	0,016		0,014	0,035
Patent başvurusu	-1,53	-2,41	8,741	-4,911
Bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısı	9,27	-1,65		3,001
İleri Teknolojili Mal İhracatı				-4,891
GSYİH		0,126		

Litaratür ile genel olarak karşılaştırıldığında yapılan çalışmalarda arge harcamalarının büyüme üzerinde etkinliği söz konusuyken analiz sonuçlarımızda arge harcamalarından ziyade patent başvurularının büyüme üzerinde negatif etkisi, bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısının büyüme üzerinde pozitif etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yüksek teknoloji ihracatının büyüme üzerinde negatif etkisi çıkmakla birlikte dolaylı etkisi olacağı düşünülmektedir.

Tablo 22: Ülkeler Açısından Genel Değerlendirme

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
	Bağımlı Değişken LnG	Bağımlı Değişken LnB	Bağımlı Değişken LnYTİ	Bağımlı Değişken LnG
ABD	B,P,S.	P	AH,S	YTİ, P, B,S.
Almanya	P	-	P,S.	P,S.
İngiltere	S	P	-	S.
Fransa	-	AH	R,B,S.	B.
Japonya	S	R,S,G	R.	S.
Kore	S	P,G	AH,R,S.	-
Türkiye	B	P,S	B,P,S.	YTİ, P,B,R,S.

Tablo 22 ülkeler açısından genel değerlendirme vermektedir. Tablo 22’de istatistikî bakımdan anlamlı çıkan ve bağımlı değişkenleri olumlu etkileyen değişkenler yer almaktadır. Ülke özelinde değerlendirme yapılacak olursa inovasyon göstergesi olarak ele alınan patent başvurusu; ABD ve Almanya’da büyümeyi, Almanya’da yüksek teknoloji ihracatını pozitif etkilemektedir.

İnovasyon göstergelerinden bir diğeri bilimsel ve teknolojik dergi makale sayısı; ABD, İngiltere, Japonya ve Kore’de büyümeyi, ABD, Almanya, Fransa, Kore ve Türkiye’de yüksek teknoloji ihracatını pozitif etkilemektedir.

İnovasyon göstergelerinden arge harcamalarının büyüme üzerine pozitif etkisi bulunamamış ancak ABD ve Kore’de yüksek teknoloji ihracatı üzerinde pozitif etkisi bulunmuş ve dolaylı olarak büyümeyi etkileyeceği düşünülmektedir. Arge harcamalarının büyüme üzerine doğrudan etkisi çıkmamasının çeşitli sebepleri olabilir. Çalışmamızda ele aldığımız ülkelerin birçoğu gelişmiş ülkelerden oluştuğu için arge harcamalarının bu ülkelerde yüksek olması veya Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için arge harcamalarında meydana gelen artışın üretime yansımaları ve üretimi dönüştürme kabiliyetinin diğer ülkelere göre yetersiz olması ve büyüme üzerine etkisinin belirlenememesidir.

İnovasyon göstergelerinden bir diğeri arge de çalışan araştırmacıların sayısı Fransa, Japonya ve Kore’de yüksek teknoloji ihracatını arttırırken, Türkiye’de büyüme üzerinde pozitif etkide bulunur.

Diğer bir inovasyon göstergesi bilgi ve iletişim mal ihracatı ABD ve Türkiye’de ekonomik büyüme üzerinde, Fransa ve Türkiye’de yüksek teknoloji ihracatı üzerinde pozitif etkinliğe sahiptir. Teknolojik gelişmelerin ekonomik etkinliğini gösteren yüksek teknoloji ihracatı ise sadece ABD ve Türkiye’de ekonomik büyümeyi pozitif etkilemektedir. Bunun sonucu Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelere ileri teknoloji ürünü miktarı az olsa bile ileri teknoloji ihracatının katma değerinin yüksek olması ve ekonomik büyümeye olan katkısının fazla olması ve ABD gibi gelişmiş ülkelerde ise yüksek teknoloji ürünlerin çok fazla olmasıyla ekonomik büyümeye olan katkısının fazla olmasıyla açıklanabilir.

Küresel boyutta rekabet avantajının sağlanması sosyal, kültürel, ekonomik kısaca toplumsal açıdan söz konusu ülkenin büyümesini ve kalkınmasını sağlamaktadır. Bir ülkenin rekabet gücü yüksek ülkeler içerisinde yer alması için küresel düzeyde inovasyon gelişmelerini takip etmesi ve endüstri 4,0’ı uygulayan ülkelerin gerisinde kalmaması gerekmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkeler için

inovasyon teknolojileriyle üretilmiş ürünlerin, makinelerin ithalatçısı konumunda değil kendi ürünlerini üretebilecek teknolojik gelişmişliği yakalamak büyük önem taşımaktadır. Bir diğer önemli konu bir ülkede icat edilen inovasyonlu teknolojinin ekonomide belli bir değer yaratması üretilen teknolojinin katma değeri yüksek ürünlerin üretilmesini sağlaması gerekmektedir. Kısaca bir ülkenin kendi inovasyonunu yaratması teknoloji bağımlılığından kurtulması amaçlanmalıdır.

İnovasyonlu teknolojik gelişmelerin ekonomik değer ve büyüme yaratabilmesi için endüstri 4,0'ı dönüştüren teknolojiler üzerinde yoğunlaşılmalı bunun için genç beyinlere fırsat verilip uygulama alanları yaratılmalı bireysel ve kurumsal olarak devlet desteğiyle desteklenmelidir.

Sonuç olarak tez çalışmamızın amacı endüstri 4,0'ın gerçekleşmesinde rol oynayan inovasyon ve teknolojik gelişmelerin ekonomide yarattığı değeri ve büyümeyi ortaya koymaktır. İnovasyon değişkenini temsilen seçtiğimiz patent sayısı, arge harcamaları, argede çalışan araştırmacılar, bilimsel ve teknik dergi makale sayısı, bilgi ve iletişim mal ihracatı, dolaylı yoldan inovasyonla ilgisi olan yüksek teknoloji ihracatı gibi değişkenlerin büyüme üzerine etkisi ifade ettiğimiz gibi ülkeden ülkeye değişiklik göstermekle birlikte, beklentilerimizle kısmen uyumlu çıkmıştır. Çalışmanın, veri setinde yararlanılan verilerin 2017 yılına kadar elde edilmesi çalışmanın bir kısıtı olmakla birlikte; Kovit 19 pandemi sürecinin, inovasyon teknolojilerinin uygulanmasını ve kullanımını arttırması sonucu yıllar geçtikçe daha fazla elde edilecek verilerle birlikte, bundan sonraki çalışmalar için bir ışık tutacağı, daha net sonuçların ortaya çıkacağına yardımcı olacağı ve tekrar edilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Alagöz, M., Akar, G., Akar, T., (2016), High Technology Export And R&D Expenditures: A Study For E7 Countries, *International Journal Of Economics*, 4(1): 219-230.

Aldakhil. A.M., Zaheer. A., Younas. S., Nassani. A.A., Abro. M.M.Q. Ve Zaman. K. (2019). Efficiently Managing Green Information And Communication Technologies, High-Technology Exports, And Research And Development Expenditures: A Case Study. *Journal Of Cleaner Production* 240.1-14.

Algan, N. Manga, M ve Tekelioğlu, M. (2017). Teknolojik Gelişme Göstergeleri ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik İlişkisi: Türkiye Örneği. *International Conference On Eurasian Economies*. Session 2C: Büyüme. 332-338.

ALPER, A.E., (2017), Türkiye’de Patent, Ar-Ge Harcamaları, İhracat ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: Bayer-Hanck Eş Bütünleşme Analizi, *3rd International Congress on Political, Economic and Social Studies (ICPESS)*, 9-11 November 2017: 17-26.

Amemiya, K. (2014). What Makes the USA So Innovative? An Investigation into the Characteristics of Innovation and an Analysis and Discussion of the Factors that Foster Innovation in the USA. *Asia-Pacific Revie.* 21(2): 172–194.

Andrzej Kacprzyk & Wirginia Doryń (2017) Innovation and economic growth in old and new member states of the European Union, *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. 30(1): 1724-1742.

ARD ve AMD, (2020). Data Management in the Internet of Things (IOT) Era
Common Policy Principles and Data-Handling Framework for Data Security and
Privacy. [ARM and AMD - Data Management in the Internet of Things.pdf](#)
(corporate-ir.net)

Avdar, R. (2019). Ar-Ge Çalışmalarının İhracat ve Ekonomik Büyüme Üzerine Etkisi: Türkiye Örneği. *Econder International Academic Journal*. 3 (2): 203-220 .

Bai, J. and Ng, S. (2004), “A Panic Attack on Unit Roots and Cointegration”, *Econometrica*, 72(4): 1127-1178’den Yıldırım, K. Mercan, M. ve Kostakoğlu S.F. (2013). Satın Alma Gücü Paritesinin Geçerliliğinin Test Edilmesi: Zaman Seri-si ve Panel Veri Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 8(3): 75-95.

Baltagi, B.H. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data*. Third Edition. İngiltere: John Wiley & Sons Ltd. [baltagi-econometric-analysis-of-panel-data himmy.pdf\(weebly.com\)](http://baltagi-econometric-analysis-of-panel-data-himmy.pdf(weebly.com))

Baltagi, B. H. (2008). *Econometric Analysis of Panel Data*. Fourth Edition, İngiltere: West Sussex: John Wiley & Sons. Econometric Analysis of Panel Data - Badi Baltagi - Google Kitaplar.

Baltagi, B., Feng Q. ve Kao, C. (2012). A Lagrange Multiplier Test for Cross-Sectional Dependence in a Fixed Effects Panel Data Model. Center for Policy Research. *Maxwell School of Citizenship and Public Affairs*. 5-2012.

Bartel. C. Garud. R. (2009). The Role of Narratives in Sustaining Organizational Innovation. *Organization Science*. 20(1): 107-117.

Basılğan. M. (2011). Ekonomik Gelişmenin Yaratıcı Yıkımı: Schumpeteryan Girişimci. *Amme İdaresi Dergisi*. 44(3): s.27-56.

Baskaran. S. ve Mehta. K. (2016). What İs İnnovation Anyway? Youth Perspectives From Resource- Constrained Environments. *Technovation* 52(53): 4-17.

Bassanini. A. ve Scarpetta. S. (2001). The Driving Forces of Economic Growth: Panel Data Evidence for the OECD Countries. *OECD Economic Studies*. 33(2):9-56.

Bhagavan, M.R., (1990). *The Technological Transformation Of Third World: Strategies And Prospects*, Led Books Ltd, London.'dan aktaran Soyak. A. (2017). Teknolojiye Dayalı Sanayileşme: Sanayi 4.0 ve Türkiye Üzerine Düşünceler. *Marmara Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Sayı 11: 68-83.

Boston Consulting Group. Wald D., Laubier R., and Charanya. T. (2019). *The Five Rules Of Digital Strategy*.

Börü. M.K. ve Çelik. D. (2019). Türkiye’de Ar-Ge Harcamaları, İnovasyon ve Ekonomik Büyüme İlişkisi. *Research Studies Anatolia Journal*. 2(5): 196-206.

Braunerhjelm. P. ve Thulin. P. (2008). Can Countries Create Comparative Advantages? R&D Expenditures, High-Tech Exports And Country Size İn 19 OECD Countries, 1981-1999. *International Economic Journal*. Paper No: 61: 1-31.

Breitung, J. (2005). A Parametric Approach to the Estimation of Cointegrating Vectors in Panel Data. *Econometric Reviews*. 24(2): 151-173'den aktaran Yıldırım, K. Mercan, M. ve Kostakoğlu S.F. (2013). Satın Alma Gücü Paritesinin Geçerliliğinin Test Edilmesi: Zaman Seri-si ve Panel Veri Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 8(3): 75-95.

Breuer, B., Mcnown, R. and Wallace, M. (2002). Series-Specific Unit Root Test with Panel Data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*. 64(5): 527-546'den aktaran Yıldırım, K. Mercan, M. ve Kostakoğlu S.F. (2013). Satın Alma Gücü Paritesinin Geçerliliğinin Test Edilmesi: Zaman Seri-si ve Panel Veri Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(3): 75-95.

Breusch, T.S., and Pagan, A.R. (1980). The Lagrange Multiplier Test and its Application to Model Specifications in Econometrics. *Review of Economic Studies*, 47, 239-253'den aktaran Pesaran, M.H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross

Section Dependence in Panels. *University of Cambridge*. CESifo. IZA. Working Paper No. 1229. IZA Discussion Paper No. 1240.

Brynjolfsson, E. ve McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age*. London: Lovedog Studio.

Bujari. A.A. ve Mart'inez. F.V. (2016). Technological Innovation and Economic Growth in Latin America. *Revista Mexicana de Economia y Finanzas*, 11(2): 77-89.

Fernández Caramés, T. M. ve Lamas, P. F. (2019). A Review on the Application of Blockchain to the Next Generation of Cybersecure Industry 4.0 Smart Factories. *Special Section On Advanced Software And Data Engineering For Secure Societies*. Cilt 7. 45201-45218.

Carrion-i-Silvestre, J. L., Kim, D ve Perron, P. (2009). GLS-Based Unit Root Tests with Multiple Structural Breaks under Both the Null and the Alternative Hypotheses. *Econometric Theory*. 25: 1754-1792'den Yıldırım, K. Mercan, M. ve Kostakoğlu S.F. (2013). Satın Alma Gücü Paritesinin Geçerliliğinin Test Edilmesi: Zaman Serisi ve Panel Veri Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(3): 75-95.

Caruso, L. (2018). Digital İnnovation And The Fourth İndustrial Revolution: Epochal Social Changes? *AI & Soc* 33. 379–392.

Choi, I. (2001). Unit Roots Tests for Panel Data", *Journal of International Money and Finance*. 20: 229-272'den Yıldırım, K. Mercan, M. ve Kostakoğlu S.F. (2013). Satın Alma Gücü Paritesinin Geçerliliğinin Test Edilmesi: Zaman Seri-si ve Panel Veri Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(3): 75-95.

Christensen. C. M., McDonald. R., Altman. E. J. and Palmer J. E. (2018). Disruptive Innovation: An Intellectual History and Directions for Future Research. *Journal of Management Studies*. 55(7): 1043-1078.

Colecchia, A., and P. Schreyer. (2002). ICT investment and economic growth in the 1990s: Is the United States a unique case? A comparative study of nine OECD countries. *Review of Economics Dynamics*. 5(2): 408–442.

Çerkini K., ve Çerkini. B. (2016). Impact of Technological Innovation in Business Development in Kosovo. Multidisciplinary Academic Conference. MAC-MME. 96-106.

Dam, M. Ve Yıldız, B. (2016). Brics-Tm Ülkelerinde Ar-Ge Ve İnovasyonun Ekonomik Büyüme Üzerine Etkisi: Ekonometrik Bir Analiz. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi* (33): 220-236.

Dedrick. J. Kraemer. K. L. ve Shih. E. (2013). Information Technology and Productivity in Developed and Developing Countries, *Journal of Management Information Systems*. 30:1. 97-122.

Dereli, D.D. ve Salğar, U. (2019). Ar-Ge Harcamaları İle Büyüme Arasındaki İlişki: Türkiye Üzerine Bir Değerlendirme. *Journal of Life Economics*. 6(3): 345-360.

Dipendra. S. (2008). Patents, Innovations And Economic Growth In Japan And South Korea: Evidence From Individual Country And Panel Data. *Applied Econometrics and International Development*. 8(1): 181-188.

Drucker. P.F. (1985). *Innovation and Entrepreneurship Practice and Principle*. London and Newyork: Butterworth Heinemann. [Innovation and Entrepreneurship - Peter Drucker - Google Kitaplar](#). 10.01.2020.

Dutta, D., & Bose, I. (2015). Managing A Big Data Project: The Case Of Ramco Cements Limited. *International Journal Of Production Economics*. (165): 293-306.

EBSO. (2015) Sanayi 4.0 Uyum Sağlamayan Kaybedecek. Ege Bölgesi Sanayiciler Odası, Araştırma Müdürlüğü.

Erdem, E. Guloğlu, B. ve Nazlıoğlu, S. (2010). The Macroeconomy and Turkish Agricultural Trade Balance With the EU Countries: Panel ARDL Analysis. *International Journal of Economic Perspectives*. 4(1): 371-379.

Erdinç, Z. & Gökçen, A. (2020). Yüksek Teknoloji Ürünleri İhracı Ve Belirleyicileri: Panel Veri Analizi. *International Social Mentality and Researcher Thinkers Journal*. 6(30): 496-507.

Erkan, H. (1992). *Bilgi Toplumu ve Ekonomik Gelişme*. İzmir: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.

Evans, D. (2011). The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. *Cisco White Paper. Internet Business Solutions Group (IBSG)*.1-11.

Falk. M. (2009). High-Tech Exports And Economic Growth İn Industrialized Countries. *Applied Economics Letters*. 16(10): 1025-1028.

Feki. C. ve Mnif. S. (2016). Entrepreneurship, Technological Innovation, and Economic Growth: Empirical Analysis of Panel Data. *J Knowl Econ* 7: 984–999.

Glasnovic. Z. Margeta K. Ve Premec.K. (2016). Could Key Engine, As A New Open-Source For RES Technology Development, Start The Third İndustrial Revolution? *Renewable Ans Sustainable Enerji Rewievs* 57: 1194-1209.

Golov, N. Ve Rönnbäck, L. (2017). Big Data Normalization for Massively Parallel Processing Databases. *Computer Standards & Interfaces. Conference Paper*: 1–12.

Gandomi A. ve Haider, M. (2015). Beyond The Hype: Big Data Concepts, Methods, And Analytics. *International Journal Of Information Management* 35: 137–144.

Göçer. İ. (2013). Ar-Ge Harcamalarının Yüksek Teknolojili Ürün İhracatı, Dış Ticaret Dengesi ve Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkileri. *Maliye Dergisi*. Sayı 165. 2015-240.

Grabowska, S. (2020). Smart Factories In The Age Of Industry 4.0. *Management Systems In Production Engineering*. 28(2): 90-96.

Gubán, M. ve Kovács, G. (2017). Industry 4.0 Conception. *Acta Technica Corviniensis Bulletin of Engineering*. ISSN:2067-3809: 111-114

Gülmez A. ve Yardımcıoğlu F. (2012). OECD Ülkelerinde Ar-Ge Harcamaları ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Panel Eşbütünleşme ve Panel Nedensellik Analizi (1990-2010). *Maliye Dergisi*. Sayı 163: 335-353.

Gülmez, A., ve A. G. Akpolat (2014). Ar-Ge & İnovasyon ve Ekonomik Büyüme: Türkiye Ve AB Örneği İçin Dinamik Panel Veri Analizi. *AİBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 14(2): 1-17.

Güloğlu, B. ve Tekin, R.B. (2012). A Panel Causality Analysis of the Relationship Among Research and Development, Innovation and Economic Growth in High- Income OECD Countries. *Eurasian Economic Review*. 2(1): 32-47.

Hadri, K. (2000). Testing for Stationarity in Heterogeneous Panels. *Econometrics Journal* 3: 148-161'den Yıldırım, K. Mercan, M. ve Kostakoğlu S.F. (2013). Satın Alma Gücü Paritesinin Geçerliliğinin Test Edilmesi: Zaman Seri-si ve Panel Veri Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 8(3): 75-95.

Hanusch. H. Chakraborty. L. ve Khurana. S. (2016). Public Expenditures, Innovation and Economic Growth: Empirical Evidence from G20 Countries. *Volkswirtschaftliche Diskussionsreihe*, No. 329. Augsburg. <http://hdl.handle.net/10419/155642>

Hughes, Thomas P. 1983. *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*. Baltimore: Johns Hopkins Press'den aktaran Mokyr. J. & Strotz. R. (1998). The Second Industrial Revolution, 1870-1914. *Northwestern University*.1-16. [castronovo.PDF \(northwestern.edu\)](http://castronovo.PDF(northwestern.edu))

Im, K., Pesaran, H. and Shin, Y. (2003). Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels. *Journal of Econometrics*, 115(1): 53-74'den Yıldırım, K. Mercan, M. ve Kostakoğlu S.F. (2013). Satın Alma Gücü Paritesinin Geçerliliğinin Test Edilmesi: Zaman Seri-si ve Panel Veri Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 8(3): 75-95.

İslamoğlu, E. ve Zencircioğlu, B. (2020). Ar-Ge Harcamaları İle Milli Gelir (GSYİH) Arasındaki İlişkinin Çeşitli Ülkelerde İncelenmesi: Panel Veri Analizi. 5th International Conference on Multidisciplinary Sciences (İCOMUS) 28-30 May 2020 • Turkey. 523-536.

Jevons, H.S. (1931). The Second Industrial Revolution. *The Economic Journal*. 41(161): 1-18.

Joseph, K. J. (2002) : Growth Of ICT And ICT For Development: Realities Of The Myths Of The Indian Experience, *The United Nations University World Institute For Development Economics Research (UNUWIDER)*.(78): 1-36.

Jun. C. (2017). The Pace of Innovation. Special Report.

Kabaklarlı. E., Duran. M.S. ve Üçler. Y. T. (2018). High-Technology Exports and Economic Growth: Panel Data analysis for Selected OECD Countries. *Forum Scientiae Oeconomia*, 6 (2): 47-60.

Kagermann, H., Wahlster, W. ve Helbig, J. (2013). Securing The Future Of German Manufacturing Industry. *Recommendations For Implementing The Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*. Final Report Of The Industrie 4.0 Working Group. Endüstri 4.0 platformu. Acatech, Frankfurt Am Main, Germany.

Karthiban, Mr. K., Raj, J. S. (2019). Big Data Analytics For Developing Secure Internet Of Everything. *Journal Of Ismac*. 1(2): 129-136

Kelly, A. 2020. “Digital divide ‘isolates and endangers’ millions of UK’s poorest”. The Guardian. 28 Nisan 2020. <https://www.theguardian.com/world/2020/apr/28/digital-divide-isolates-and-endangers-millions-of-uk-poorest> (10.04.2021).

Kılavuz, E. ve Topçu, A. (2012). Export and Economic Growth in the Case of the Manufacturing Industry: Panel Data Analysis of Developing Countries. *International Journal of Economics and Financial Issues*. 2(2): 201-215.

Köse, Z. ve Şentürk, M. (2017). Ar&Ge - Patent Harcamaları Ve Teknolojik İlerlemenin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi: Ampirik Bir Uygulama. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*. 9(17). 215-221.

Kutlar, A. (2017). *Adım Adım EViews ile Panel Veri Ekonometrisi Uygulamaları*. Kocaeli: Umuttepe Yayınları.

Kuznets, S. (1965). *Economic Growth and Structure*, New York: W.W. Norton’dan aktaran Mokyr, J. & Strotz, R. (1998). The Second Industrial Revolution, 1870-1914. *Northwestern University*.1-16. [castronovo.PDF \(northwestern.edu\)](http://castronovo.PDF.northwestern.edu) (20.05.2020)

Landesmann, M. & Pfaffermayr, M. (1997). Technological competition and trade Performance. *Applied Economics*. 29(2): 179-196.

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

Lee, E. A., (2006). Cyber Physical Systems Are Computing Foundations Adequate? *Position Paper for NSF Workshop On Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap*. 1-10.

Lee, J-W. ve Hong, K. (2012). Economic Growth in Asia: Determinants and Prospects. *Japan and the World Economy* 24: 101–113.

Levin, A., Lin, C-F. and Chu, C-S. J. (2002). Unit Root Tests in Panel Data: Asymptotic and Finite Sample Properties”, *Journal of Econometrics* 108: 1-24’den
Yıldırım, K. Mercan, M. ve Kostakoğlu S.F. (2013). Satın Alma Gücü Paritesinin Geçerliliğinin Test Edilmesi: Zaman Seri-si ve Panel Veri Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 8(3): 75-95.

Lichtenberg, F.R. (1993). “R&D Investment and International Productivity Differences”, *NBER Working Paper Series*, No. 4161.

Liu. C. ve Xia G. (2018). Research on the Dynamic Interrelationship Among R&D Investment, Technological Innovation, and Economic Growth in China. *Sustainability* 10. 4260.

Lucas, R. J. (2002). *Lectures on Economic Growth*. Cambridge: Harvard University Press.

Lucke, D, Constantinescu, C, Westkämper, E.(2008). Smart Factory – A Step Towards The Next Generation Of Manufacturing. *In Manufacturing Systems And Technologies For The New Frontier: The 41st CIRP Conference On Manufacturing Systems*. Japan. 115–118.

Maddala, G. S. and Wu, S. (1999). A Comparative Study of Unit Root Tests with Panel Data and a New Simple Test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61, 631-652’den
Yıldırım, K. Mercan, M. ve Kostakoğlu S.F. (2013). Satın Alma

Gücü Paritesinin Geçerliliğinin Test Edilmesi: Zaman Seri-si ve Panel Veri Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 8(3):75-95.

Maneejuk. P. ve Yamaka. W. (2020). An Analysis Of The Impacts Of Telecommunications Technology And Innovation On Economic Growth. *Telecommunications Policy* 44. 102038. *Contents Lists Available At Sciencedirect*. 1-19.

Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C. Byers, A.H., McKinsey Global Enstitute. (2011). Big Data: The Next Frontier For Innovation, Competition and Productivity. 1-13.

Manyika, J., M. Chui, J. Bughin, R., Dobbs, P. Bisson, and A. Marrs. (2013). Disruptive Technologies: Advances that Will Transform Life, Business, and the Global Economy. McKinsey Global Institute, McKinsey & Company'den alan World Economic Forum. (2016). The Global Risks Report 2016 11th Edition.

Maradana, R. P. Pradhan, R. P. Dash, S., Gaurav, K. Jayakumar M. Ve Chatterjee D. (2017). Does Innovation Promote Economic Growth? Evidence From European Countries. *Journal Of Innovation And Entrepreneurship*. 6(1): 1-23.

Maurseth. P. B. ve Frank. B. (2009). The German Information and Communication Technology (ICT) Industry: Spatial Growth and Innovation Patterns. *Regional Studies*. 43(4): 605-624.

Maynard, A.D. (2015). Navigating The Fourth Industrial Revolution. *Nat. Nanotechnol*. 10 (12): 1005–1006.

Meo, S.A., Usmani, A.M. (2014). Impact Of R&D Expenditures On Research Publications, Patents And High-Tech Exports Among European Countries. *European Review For Medical And Pharmacological Sciences*. 18(1): 1-9.

Miller, K. L., (2016) , About Reasonable Cybersecurity: A Proactive and Adaptive Approach, *The Florida Bar Journal*. 90(8): 23-31.

Mohajan. H.K. (2020). The Second Industrial Revolution has Brought Modern Social and Economic Developments. *Journal of Social Sciences and Humanities*, 6(1): 1-14.

Mokyr. J. (1997). Are we living in the middle of an industrial revolution? *Economic Review*. 82(2): 31-43.

Mokyr. J. & Strotz. R. (1998). The Second Industrial Revolution, 1870-1914. *Northwestern University*.1-16. [castronovo.PDF \(northwestern.edu\)](#) (20.05.2020)

Mowery. D. and Rosenberg. N. (1989). *Technology and the Pursuit of Economic Growth*. Cambridge: Cambridge University Press. [Technology and the Pursuit of Economic Growth - David C. Mowery, Nathan Rosenberg - Google Kitaplar](#) (20.04.2020).

Müller. J.M., Buliga. O., Voigt. K.I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. Contents lists available at ScienceDirect. *Technological Forecasting & Social Change* 132. 2–17.

Naisbitt J. ve Aburdene, P. (1990). *Managatrends 2000 (Büyük Yönelimler)*. İstanbul: From Yayınları.

Napoletano. A., Tacchella. A. and Pietronero. L. (2018). A Context Similarity Based Analysis of Countries. *Technological Performance*. 20(833): 1-14.

National Economic Council, Council of Economic Advisers, and Office of Science and Technology Policy. (2011). A Strategy For American Innovation: Securing Our Economic Growth And Prosperity. [InnovationStrategy.pdf \(archives.gov\)](#). (20.03.2020).

National Science Foundation (NSF), https://www.nsf.gov/news/special_reports/cyber-physical (20.07.2020).

Nkoro, E. ve Uko, a. K. (2016). Autoregressive Distributed Lag (ARDL) Cointegration Technique: Application And Interpretation. *Journal Of Statistical And Econometric Methods*. 5(4): 63-91.

OECD. (2015). *The Innovation Imperative: Contributing to Productivity, Growth and Well-Being*, OECD Publishing, Paris.

OECD. (2017). *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017: The digital transformation*, OECD Publishing, Paris.

OECD. (2020). *OECD Digital Economy Outlook 2020*: OECD Publishing, Paris.

OECD. (2021). *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2021: Times Of Crisis And Opportunity*. OECD Publishing, Paris.

Onosato, M. Tanaka, F. Date, H. and Kawagishi R. (2008). Complex Manufacturing Space: An Integrated Description Model of Real and Virtual System Concepts for Information Enhanced Manufacturing. Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier. The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems. 107-110.

Otoo. I. A. Ve Song. N. (2021). The Impact Of ICT On Economic Growth-Comparing Rich And Poor Countries. *Telecommunications Policy. Elsevier*. 45(2): 1-15.

Özçelik, Ö., Aslan, V. ve Özbek, R.İ. (2018). Ar-Ge Harcamalarıyla Yüksek Teknoloji İhracatı Arasındaki İlişki: Seçili 10 OECD Ülkesi İçin Panel Veri Analizi. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 20(3): 57-66.

Özdoğan, O. (2017). *Endüstri 4.0: Dördüncü Sanayi Devrimi ve Endüstriyel Dönüşümün Anahtarları*. İstanbul: Pusula Yayıncılık.

Özer, M., ve Çiftçi, N. (2009). Ar-Ge Harcamaları Ve İhracat İlişkisi: OECD Ülkeleri Panel Veri Analizi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 23(3): 39-50.

Özkan, G., Yılmaz, D.H. (2017). Ar-Ge Harcamalarının Yüksek Teknoloji Ürün İhracatı Ve Kişi Başı Gelir Üzerindeki Etkileri: 12 AB Ülkesi Ve Türkiye İçin Uygulama (1996-2015). *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*. 12(1): 1-12.

Öztürk, F. ve Ateş. E. (2021). İnsanlık Yararına Teknolojik Dönüşüm: Toplum:5.0. TÜBİTAK Yayınları. *Bilim ve Teknik Aylık Popüler Bilim Dergisi*. 54(640): 30-39.

Pala. A. (2019). Empirical Implication of Swamy's Random Coefficient Model (RCM). *Procedia Computer Science* 158. 1122–1130.

Palmer. M. (2012). Industrial Transformation: An Olympic Theme? *Industrial Archaeology Review*. 34(2): 79–91.

Pece, A.M., Simona. O.E.O. ve Salisteanu., F. (2015). Innovation And Economic Growth: An Empirical Analysis For CEE Countries. *Procedia Economics And Finance* 26. 461-467

Pedroni, P. (1997a). Panel Cointegration; Asymptotic and Finite Sample Properties of Pooled Time Series Tests, With An Application to the PPP Hypothesis: New Results Working Paper, Indiana University'den aktaran Pesaran, M.H. Shin, Y. ve Smith, R.P. (1999). Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels. *Journal of The American Statistical Association*. 94(446): 621-634.

Pedroni, P. (1997b). On the Role of Cross Sectional Dependency in Panel Unit Root and Panel Cointegration Exchange Rate Studies. Working Paper, Indiana University'den aktaran Pesaran, M.H. Shin, Y. ve Smith, R.P. (1999). Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels, *Journal of The American Statistical Association*, 94(446): 621-634.

Pedroni, P. (1999). Critical Values For Cointegration Tests In Heterogeneous Panels With Multiple Regressors. *Oxford Bulletin Of Economics And Statistics, Special Issue 0305-9049*: 653-670.

Pedroni, P. (2000). Fully Modified OLS For Heterogeneous Cointegrated Panels. *Advances In Econometrics* 15. 93–130.

Pedroni, P. (2004). Panel Cointegration: Asymptotic And Finite Sample Properties Of Pooled Time Series Tests With An Application To The PPP Hypothesis. *Econometric Theory* 20: 597–625.

Pesaran, M.H. Shin, Y. ve Smith, R.P. (1999). Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels, *Journal of the American Statistical Association*, 94(446): 621-634.

Pesaran, M.H. (2004). *General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels*. University of Cambridge. IZA Discussion Paper No. 1240:1-39.

Peseran, M. H. (2006). A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Crosssection Dependecy”, *Cambridge Working Papers in Economics*, 0346’den Yıldırım, K. Mercan, M. ve Kostakoğlu S.F. (2013). Satın Alma Gücü Paritesinin Geçerliliğinin Test Edilmesi: Zaman Seri-si ve Panel Veri Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 8(3): 75-95.

Pesaran, M.H. (2007). A Simple Panel Unit Root Test In The Presence Of Cross-Section Dependence. *Journal Of Applied Econometrics* 22: 265-312.

Pesaran, M.H. ve Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics* 142: 50-93.

Pesaran, M.H., Ullah, A. and Yamagata, T. (2008). A Bias-Adjusted LM Test of Error Cross-Section Independence. *Econometrics Journal* 11: 105-127.

Philbeck, T. And Davis, N. (2019). The Fourth Industrial Revolution: Shaping A New Era. *Journal o f International Affairs*, 72(1): 17-22.

Philippe. A. and Howitt. P. (1992). A Model of Growth Through Creative Destruction. *Econometrica* 60(2) 323-351.

Porat, M.U. (1978). Emergence of An Information Economy, *Economic Impact*. 24(4): 29-34.

Rafferty. J.P. (09 Ekim 2018). Encyclopaedia Britannica Industrial Revolution. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/287086/Industrial-Revolution>. (20.10.2019).

Rifkin. Jeremy. 2011. *The Third Industrial Revolution How Lateral Power Is Transforming Energy, The Economy, and the World*. Newyork: St. Martin's Griffin.

Roblek, V., Mesko, M. & Krapez, A. (2016). A complex view of Industry 4.0. *SAGE Open*. 1-11.

Rojko, A. (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *Special Focus Paper*. 11(5): 77-90.

Sabo. Filip. (2015). Industry 4.0 -A Comparison Of The Status In Europe And The Usa. Universty Of Applied Sciences. Austrian Marshall Plan Foundation.

Sandu, S., Ciocanel, B. (2014). Impact Of R&D And Innovation On High-Tech Export. *Procedia Economics And Finance* 15: 80-90.

Schmidt. R. Möhring. M. Härting. R.-C., Reichstein, C., Neumaier, P., Jozinović, P., (2015). Industry 4.0 - Potentials For Creating Smart Products: Empirical Research Results. *Lecture Notes In Business Information Processing* 208. 16-27.

Schwab, K. (2016). *Dördüncü Sanayi Devrimi*. (Çev. Zülfü Dicleli). İstanbul. Optimist Kitap.

Schwab, K. World Economic Forum. (2016). The Global Competitiveness Report 2016–2017.

Slusarczyk, B. (2018). Industry 4.0 – Are We Ready? *Polish Journal Of Management Studies*. 17(1): 232-248.

Stoessel, C. Wiesbeck, M. Stork, S. Zaeh, M. F. and Schuboe, A. (2008). Towards Optimal Worker Assistance: Investigating Cognitive Processes in Manual Assembly. Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier. The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems. 245-250.

Sungur, O. Aydın, H. İ.; Eren, M. V. (2016). Türkiye’de Ar-Ge, İnovasyon, İhracat Ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: Asimetrik Nedensellik Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 21(1): 173-192.

Sütçü, İ. ve Bozan, T. (2019). İnovasyon Ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: G7 Ülkeleri Üzerine Panel Veri Analizi. *Uluslararası Ekonomi, İşletme ve Politika Dergisi*. 3 (2): 289-810.

Swamy, P.A.V.B. (1970). Efficient Inference in Random Coefficient Regression Model. *Econometrica*, 38. 311-323’den aktaran Pesaran, M.H. (2004). *General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels*. University of Cambridge. IZA Discussion Paper No. 1240:1-39.

Şişman, B. (Mart-2021). Bilim Kurgudan Gerçeğe: Arttırılmış Gerçeklik ve Karma Gerçeklik. TÜBİTAK Yayınları. *Bilim ve Teknik Aylık Popüler Bilim Dergisi*. 54(640): 58-65.

Taylor, M. and Sarno, L. (1998). The Behaviour of Real Exchange Rates during the Post-Bretton Woods Period. *Journal of International Economics*, 46: 281-312'den Yıldırım, K. Mercan, M. ve Kostakoğlu S.F. (2013). Satın Alma Gücü Paritesinin Geçerliliğinin Test Edilmesi: Zaman Seri-si ve Panel Veri Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 8(3): 75-95.

The Boston Consulting Group. Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, Philipp., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., and Harnisch M., (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries.

Thoben, K.D., Wiesner, S. ve Wuest T. (2017). Industrie 4.0 and Smart Manufacturing– A Review of Research Issues and Application Examples. *Int. J. of Automation Technology*. 11(1): 4-16.

TOBB. (2016), “Akıllı Fabrikalar Geliyor”, Ekonomik Forum. 16-27. http://haber.tobb.org.tr/ekonomikforum/2016/259/016_027.pdf. (20.08.2020)

TÜSİAD ve The Boston Consulting Group. (2016). Numanoğlu, N., Eynehan, M.E., Markoç-Nikelay, G. Aksoy, E. (ed.) *Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklik Olarak Sanayi 4.0 Gelişmekte olan Ülke Perspektifi. Türkiye'nin Sanayi 4.0 Dönüşümü*. Yayın No: TÜSİAD-T/2016-03/576.

Ustabaş, A., Ersin, Ö. (2016), The Effects Of R&D And High Technology Exports On Economic Growth: A Comparative Cointegration Analysis For Turkey And South Korea, Proceedings From International Conference On Eurasian Economies 2016, Session 2A: Growth. Kaposvar. 44-55.

Ülkü, H. (2004). R&D, Innovation, and Economic Growth: An Empirical Analysis. *IMF Working*. 04(85): 1-36.

Wana Ismail. N. (2013). Innovation And High-Tech Trade In Asian Countries, Proceedings From International Conference On Recent Developments In Asian Trade Policy And Integration, *The University Of Nottingham Malay*.1-19.

World Economic Forum. (2016). The Global Risks Report 2016. 11th Edition.

World Economic Forum ve McKinsey & Company. (2018). The Next Economic Growth Engine Scaling Fourth Industrial Revolution Technologies in Production. The Next Economic Growth Engine.

World Economic Forum. (2020). The Future of Jobs Report 2020. October 2020.

World Economic Forum. (2021). The Global Risks Report 2021. 16th Edition.

Yıldırım, K. Mercan, M. ve Kostakoğlu S.F. (2013). Satın Alma Gücü Paritesinin Geçerliliğinin Test Edilmesi: Zaman Seri-si ve Panel Veri Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 8(3): 75-95.

Yoo. S.H. (2008). High-Technology Exports And Economic Output: An Empirical Investigation. *Applied Economics Letters*. 15(7): 523-525.

Yousefi. A. (2011). The Impact Of Information And Communication Technology On Economic Growth: Evidence From Developed And Developing Countries. *Economics of Innovation and New Technology*. 20(6): 581-596.

Zellner. A. (1962). An Efficient Method for Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests of Aggregation Bias”, *Journal of American Statistical Association*, 58, 977-992’den aktaran Pesaran, M.H. (2004). *General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels*. University of Cambridge. IZA Discussion Paper No. 1240:1-39.

Zheng, Z., Xie S., Dai, H., Chen, X., and Wang, H. (2017). An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends. IEEE 6th International Congress on Big Data. 557-564.

<https://stats.oecd.org/index.aspx?lang=en#> (26.04.2021).

<http://databank.worldbank.org/data/source/world-development-indicators> (11.12.2020).

<https://www.britannica.com/event/Industrial-Revolution> (25.04.2019).

<http://uis.unesco.org/> (15.02.2020)

<http://unctadstat.unctad.org/ReportFolders/reportFolders.aspx> (10.01.2020)

[WIPO - World Intellectual Property Organization](#) (10.01.2021)