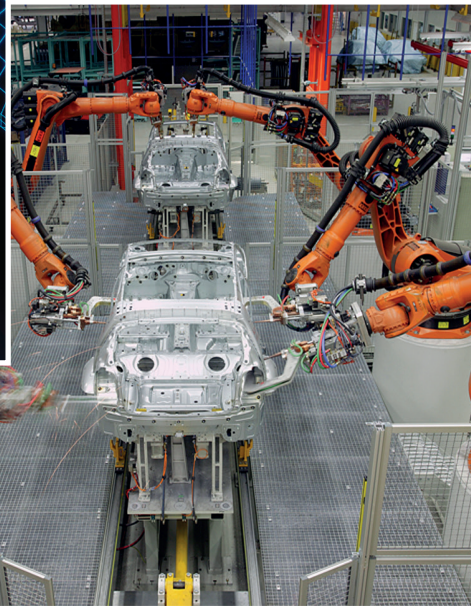
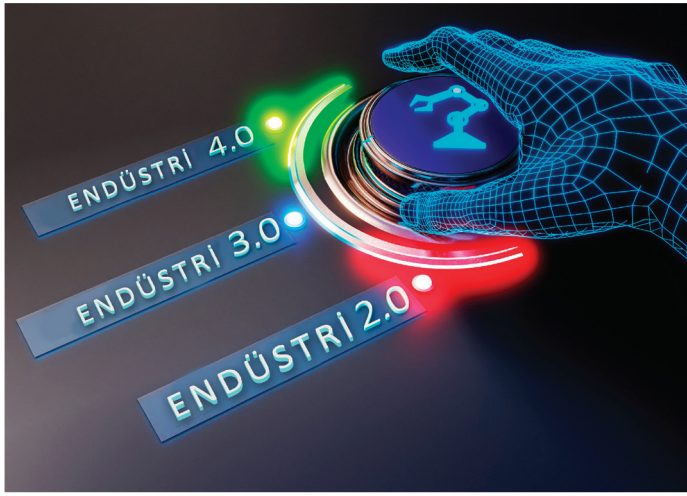




ENDÜSTRİ 4.0

Kavramsal Çerçeve ve
Ülke Uygulamaları



TÜRKİYE BÜYÜK MİLLET MECLİSİ
ARAŞTIRMA HİZMETLERİ BAŞKANLIĞI



ENDÜSTRİ 4.0

Kavramsal Çerçeve ve Ülke Uygulamaları

TÜRKİYE BÜYÜK MİLLET MECLİSİ
ARAŞTIRMA HİZMETLERİ BAŞKANLIĞI



TBMM ARAŞTIRMA HİZMETLERİ BAŞKANLIĞI YAYINLARI ENDÜSTRİ 4.0: Kavramsal Çerçeve ve Ülke Uygulamaları

Yayın No: 16

Yayın Sahibi

Prof. Dr. Mustafa Şentop
TBMM Başkanı

Yayın Yönetmeni

Emrah Hurma

Editör

Mehmet Topaca

Yazarlar

Abdullah Karaer	Ayşen Atlay
Akın Türer	İshak Bozkurt
Ayça İncereis İnoğlu	Mehmet Ergin

Yayına Hazırlayan

İshak Bozkurt

Katkıda Bulunanlar

Berk İbikli Ercan Çeliker Mehmet Burak Ünal

Kapak-Sayfa Tasarımı

Gülcan Acartürk - Fatma Yılmaz

ISBN:

978-605-2089-94-1

978-605-2089-96-5 (e-kitap)

Araştırma Hizmetleri Başkanlığı

Türkiye Büyük Millet Meclisi Ek Hizmet Binası,
Remzi Oğuz Arık Mah. Güvenlik Cad. No:35 Çankaya/ANKARA

Tel: +90 312 420 68 38 **Faks:** +90 312 420 78 00

E-posta: iletisim.armer@tbmm.gov.tr

TBMM Basımevi – ANKARA

1. Baskı / Mayıs 2023



© TBMM Araştırma Hizmetleri Başkanlığı



Türkiye Büyük Millet Meclisi Başkanlığı Araştırma Hizmetlerinin Yürütülmesine İlişkin Yönetmeliğe göre; Araştırma ürünlerinde yer alan bilgiler kaynak gösterilerek kullanılabilir. Araştırma ürünleri, TBMM Başkanlığının görüşlerini yansıtmaz.

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

Bu eseri, aşağıdaki şartlar altında her boyut ve formatta paylaşabilir, kopyalayabilir ve çoğaltabilirsiniz:



Atıf — Uygun atıf bilgisini, bu lisansa ilişkin internet bağlantısını ve değişiklik yapıldıysa buna ilişkin bilgiyi belirtmelisiniz. Söz konusu işlemleri, sizi veya kullanımınızı lisansörün onayladığını ima etmemek kaydıyla, uygun şekilde gerçekleştirebilirsiniz.



Gayri Ticari — Bu materyali ticari amaçlarla kullanamazsınız.



Aynı Lisansla Paylaş — Materyali aktarmanız, dönüştürmeniz veya temel olarak üzerine eklemeler yapmanız durumlarında ortaya çıkacak materyali ancak aynı lisans ile dağıtabilirsiniz.

Ek sınırlamalar yoktur — Lisansın izin verdiği hakları başkaları üzerinde kanunlarla ya da teknolojiyi kullanarak sınırlayamazsınız.

Creative Commons Atıf-Gayri Ticari-Aynı Lisansla Paylaş 4.0 Uluslararası Kamu Lisansı hakkında daha fazla bilgi için Creative Commons Lisansına ilişkin sayfanın Türkçe çevirisini ziyaret edebilirsiniz:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.tr>

İÇİNDEKİLER

TABLolar	viii
ŞEKİLLER	ix
GÖRSELLER	xi
KISALTMALAR	xii
TAKDİM	xv
Prof. Dr. Mustafa ŞENTOP	
I. BÖLÜM: GİRİŞ VE YÖNTEM	1
1. Giriş	1
2. Yöntem	5
II. BÖLÜM: SANAYİ DEVRİMLERİNE KAVRAMSAL VE TARİHSEL BİR BAKIŞ	9
1. Sanayi Devrimi	9
2. Önceki Sanayi Devrimlerine Genel Bakış	11
2.1. Birinci Sanayi Devrimi	11
2.2. İkinci Sanayi Devrimi	13
2.3. Üçüncü Sanayi Devrimi	15
2.4. Dördüncü Sanayi Devrimi: Endüstri 4.0	17
III. BÖLÜM: ENDÜSTRİ 4.0	23
1. Endüstri 4.0: Tanımı	23
2. Endüstri 4.0'ı Hazırlayan Etkenler ve Endüstri 4.0'ın Ortaya Çıkışı	27
2.1. Teknolojik Etkenler	27
2.2. Ekonomik ve Sosyal Etkenler	28
3. Endüstri 4.0'ın Temelleri	30
3.1. Endüstri 4.0'ın Bileşenleri ve İlkeleri	34
3.1.1. Endüstri 4.0'ın Bileşenleri	35
3.1.2. Endüstri 4.0'ın İlkeleri	45
3.2. Endüstri 4.0'ın Temel Teknolojileri	46

3.2.1. Büyük Veri ve Analitiği	49
3.2.2. Akıllı Robotlar	54
3.2.3. Benzetim (Simülasyon) ve Modelleme	58
3.2.4. Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu.....	61
3.2.5. Endüstriyel Nesnelerin İnterneti	62
3.2.6. Siber Güvenlik	63
3.2.7. Bulut Bilişim	66
3.2.8. Eklemeli Üretim	68
3.2.9. Gerçeklik Teknolojileri	71

IV. BÖLÜM: ENDÜSTRİ 4.0: GELİR-İSTİHDAM-EĞİTİM

İlişkisi75

1. ENDÜSTRİ 4.0'IN UZUN DÖNEMDE MİLLÎ GELİR VE BÜYÜMEYE ETKİSİ	75
1.1. Gelişmiş Ülkelerde Endüstriyel Nesnelerin İnternetinin GSYH'ye Etkisi.....	75
1.2. Gelişmiş Ülkelerde Yapay Zekâ Teknolojisinin Ekonomik Büyümeye Etkisi	78
1.3. Endüstri 4.0'ın Dış Ticaret İçin Önemi	80
2. ENDÜSTRİ 4.0'IN İSTİHDAM VE EĞİTİME ETKİSİ	82
2.1. Endüstri 4.0 ve İstihdam	84
2.1.1. Bilişsel Otomasyon ve İstihdam.....	88
2.1.2. Güvenlik ve Emniyet	89
2.1.3. Depo Lojistiği	90
2.1.4. Tehlikeli İşler	90
2.1.5. Sağlık Sektörü.....	91
2.2. Endüstri 4.0 ve Eğitim.....	94
2.2.1. Teknolojinin Kullanımı: Anlamak, Tasarlamak ve Geliştirmek.....	94
2.2.2. STEM-A (Science, Technology, Engineering, Math and Art) Eğitimi.....	95

2.2.3. Eğitimde Temel Değişim ve Dönüşüm Noktaları	96
--	----

V. BÖLÜM: ÜLKELERİN ENDÜSTRİ 4.0'A UYUMU VE ÜLKE ÖRNEKLERİ 99

1. ENDEKSLER	101
1.1. Üretimin Geleceği İçin Hazırlık Değerlendirmesi	101
1.2. Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI).....	104
1.3. Sanayide Robot Kullanımı Değerlendirmeleri	105
1.4. Bazı Uluslararası İnovasyon Göstergeleri	108
2. ÜLKE UYGULAMALARI	111
2.1. Almanya	111
2.1.1. Almanya'nın Endüstri 4.0 Stratejisi	112
2.1.2. Kurumsal Yapı	119
2.1.3. Endüstri 4.0 Değerlendirmeleri ve Uygulama Örnekleri	126
2.2. Amerika Birleşik Devletleri	133
2.2.1. ABD'de Endüstri 4.0 Altyapısı ve Stratejisi.....	134
2.2.2. ABD'de Endüstri 4.0 Sürecine İlişkin Önemli Girişim ve Ortaklıklar.....	141
2.2.3. Endüstri 4.0 Sürecinde ABD'nin Dünyadaki Konumu ve Bazı İstatistiksel Veriler	148
2.3. Çin	157
2.3.1. Çin'in Endüstri 4.0 Stratejisi	158
2.3.2. Çin'de Endüstri 4.0 Sürecine İlişkin Önemli Girişim ve Projeler	161
2.3.3. Endüstri 4.0 Sürecinde Çin'in Dünyadaki Konumu ve Bazı İstatistiksel Veriler	167
2.4. Güney Kore	179
2.4.1. Güney Kore'de Endüstri 4.0 Stratejisi.....	180
2.4.2. Güney Kore'de Endüstri 4.0 Sürecine İlişkin Kamu ve Özel Sektör Girişimleri ile Devlet Destekleri.....	184

2.4.3. Endüstri 4.0 Sürecinde Güney Kore'nin Dünyadaki Konumu ve Bazı İstatistiksel Veriler.....	194
2.5. Japonya.....	198
2.5.1. Japonya'nın Endüstri 4.0 Stratejisi.....	199
2.5.2. Japonya'da Endüstri 4.0 Sürecine İlişkin Önemli Girişim, Proje ve Ortaklıklar	207
2.5.3. Endüstri 4.0 Sürecinde Japonya'nın Dünyadaki Konumu ve Bazı İstatistiksel Veriler	212
KAYNAKÇA	217

TABLÖLAR

Tablo 1: Endüstriyel Devrimler: Önemli Gelişmelerle Birlikte Sanayinin Evrimi	20
Tablo 2: Endüstri 4.0'ın Hedefleri	34
Tablo 3: Sanayi Devrimlerinde Verinin Evrimi	53
Tablo 4: Endüstriyel Nesnelerin İnterneti Alanına Yapılan Yatırımların 2030 İtibarıyla Çeşitli Ülkelerin GSYH'sine Olası Etkisi	77
Tablo 5: Yapay Zekâ Teknolojisinin 2035 Yılına Kadar Çeşitli Ülkelerdeki İş Gücü Verimliliğini Artırma Potansiyeli	79
Tablo 6: Geleceğin Meslekleri ve Özellikleri	87
Tablo 7: Eğitimde Temel Değişim ve Dönüşüm Noktaları	96
Tablo 8: Üretimin Geleceği İçin Hazırlık Değerlendirmesi Endeksi	102
Tablo 9: Küresel İnovasyon Endeksine Göre En Yenilikçi 10 Ülke	108
Tablo 10: Bloomberg İnovasyon Endeksinde Yer Alan İlk 10 Ülke	110
Tablo 11: Almanya'da Endüstri 4.0 Girişimi	132
Tablo 12: AMP Gelişme Eksenleri ve Eylemler.....	138
Tablo 13: AMP 2.0 Gelişme Eksenleri ve Eylemler.....	138
Tablo 14: Federal Kurumların İleri İmalattaki Rollerini	143
Tablo 15: Nesnelerin İnterneti Endüstrisi Konsorsiyumunun Yapısı.....	145
Tablo 16: ABD'de Ar-Ge'ye İlişkin Bazı Veriler	154
Tablo 17: ABD'de Teknoloji Seviyelerine Göre Sanayi Ürün Gruplarının Sanayi Üretimi ve Sanayi İhracatı İçindeki Payları	155
Tablo 18: Çin'de Teknolojik Özelliklerine Göre Sanayi Ürünlerinin İhracat ve Üretimdeki Payı	177
Tablo 19: Güney Kore İnovatif Platform Programının Çerçevesi.....	189
Tablo 20: Güney Kore'de Ar-Ge Bütçesi.....	193
Tablo 21: Güney Kore'de Patent, Marka ve Endüstriyel Tasarım Sayıları.....	196

ŞEKİLLER

Şekil 1: Sanayi Devrimleri ve Ağ İlişkisi (Üretim Ağları).....	21
Şekil 2: Endüstri 4.0'ın İşleyişi	32
Şekil 3: Siber Fiziksel Sistemler ile Nesnelerin İnternetinin Karşılaştırılması.....	39
Şekil 4: Bağlantıdan İnsan İçin Değer Oluşturmaya Kadar Nesnelerin İnterneti	40
Şekil 5: Endüstri 4.0'ın Temel Teknolojileri	48
Şekil 6: Büyük Veri Analitiğinde Tür Piramidi.....	51
Şekil 7: Üretimde Büyük Veri Analizi İlişkisi.....	67
Şekil 8: Gerçeklik Teknolojilerinden Örnekler	71
Şekil 9: Endüstriyel Nesnelerin İnterneti Alanına Yapılan Yatırımların 20 Ülkede GSYH'ye Etkisi.....	76
Şekil 10: Seçilmiş Bazı Ülkelerde Yapay Zekânın Ekonomik Büyümeye Etkisi.....	80
Şekil 11: Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksinin Dijital Teknoloji Entegrasyonu Bileşeni.....	104
Şekil 12: Yıllara Göre Endüstriyel Robot Kurulumu.....	105
Şekil 13: Yıllık Endüstriyel Robot Kurulumunda İlk 15 Ülke.....	107
Şekil 14: Sanayi Sektöründe Robot Yoğunluğu Açısından İlk 21 Ülke	107
Şekil 15: Kendi Bölgelerinde Yenilikçilikte İlk Üçe Giren Ülkeler	109
Şekil 16: Küresel Araştırma ve İnovasyon Performansları.....	110
Şekil 17: Alman İnovasyon Sistemi.....	122
Şekil 18: Endüstri 4.0 Platformunun Yapısı	123
Şekil 19: ABD'de 2010-2020 Yılları Arasında Gerçekleştirilen Yıllık Endüstriyel Robot Kurulumu Sayısı.....	149
Şekil 20: ABD'nin Yüksek Teknolojili Sanayi Ürünleri İhracatı	156
Şekil 21: 2015 ve 2020 Yıllarında Bazı Ülkelerdeki İş Gücü Verimliliği	159
Şekil 22: MIC Yerli Üretimin Ulusal Pazar Payı Hedefleri	162

Şekil 23: 2008-2020 Yılları Arasında Çin’de Endüstriyel Robot Stokuna İlişkin Bilgiler	169
Şekil 24: Çin’de 2010 ve 2020 Yılları Arasında Yıllık Endüstriyel Robot Kurulumu.....	170
Şekil 25: Çin’de 2010 ve 2018 Yılları Arasında İmalat Sektöründe Robot Yoğunluğu.....	172
Şekil 26: Çin’de Endüstriyel Robot Kurulumlarının Sektörlere Göre Dağılımı.....	173
Şekil 27: Çin’de İmalat Sektörüne Yapılan Ar-Ge Harcamaları	175
Şekil 28: Çin’in Yüksek Teknolojili Sanayi Ürünleri İhracatı.....	178
Şekil 29: OECD Ülkelerinde Ar-Ge Harcamalarının GSYH İçindeki Payı	194
Şekil 30: OECD Ülkelerinde Araştırmacı Sayıları	195
Şekil 31: Güney Kore’de Endüstriyel Robot Kurulum Miktarı	197

GÖRSELLER

Görsel 1: Endüstri 4.0	26
Görsel 2: Dış İskelet ve Giyilebilir Robot Örnekleri	58
Görsel 3: Üretimde Robot Kullanımı Örneği	59
Görsel 4: Endüstri 4.0'da Gerçeklik Teknolojileri Uygulaması	73
Görsel 5: Endüstri 4.0 ve İstihdam	86
Görsel 6: Operasyonel Lojistik.....	90
Görsel 7: Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Sağlık Sektöründe Uygulama Örneği	92
Görsel 8: Otomotiv Sektöründe Endüstriyel Robotlarla Üretim	128
Görsel 9: Amazon Alexa Ürünü	151
Görsel 10: Robot Festivalinde Fotoğraf Çektikten Sonra İnsan Silüetleri Çizen Endüstriyel Bir Robot.....	168
Görsel 11: Otomotiv Sektöründe Kullanılan Endüstriyel Robotlar	171
Görsel 12: 3B Yazıcı Kullanılarak Parça Üretimi.....	176
Görsel 13: Japonya'daki Bir Mağazada Çalıştırılan Müşteri Görevlisi Robot.....	209
Görsel 14: İtalya'da Kullanılan İlk Garson Robotlar	210

KISALTMALAR

3B:	3 Boyutlu /3D
5G:	5. Kuşak Kablosuz İletişim Teknolojisi (<i>The Fifth Generation of Wireless Technology</i>)
AB:	Avrupa Birliği
ABD:	Amerika Birleşik Devletleri
AMP:	İleri İmalat Ortaklığı (<i>Advanced Manufacturing Partnership</i>)
Ar-Ge:	Araştırma ve Geliştirme
BMBF:	Almanya Eğitim ve Araştırma Bakanlığı (<i>Bundesministerium für Bildung und Forschung</i>)
BMWK:	Almanya Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı (<i>Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz</i>)
BCG:	<i>Boston Consulting Group</i>
CSF:	İnternet Bağlantılı Akıllı Fabrika (<i>Connected Smart Factory</i>)
CPS:	Siber Fiziksel Sistemler (<i>Cyber-Physical Systems</i>)
DESI:	Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (<i>Digital Economy and Society Index</i>)
FICCI:	Hindistan Sanayi ve Ticaret Odaları Federasyonu (<i>Federation of Indian Chambers of Commerce and Industry</i>)
GE:	<i>General Electric</i>
GSKD:	Gayrisafi Katma Değer
GSYH:	Gayrisafi Yurtiçi Hâsıla
IFR:	Uluslararası Robotik Federasyonu (<i>International Robotic Federation</i>)
IIC:	Endüstriyel İnternet Konsorsiyumu (<i>Industrial Internet Consortium</i>)
IIoT:	Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (<i>Industrial Internet of Things</i>)
IoS:	Hizmetlerin İnterneti (<i>Internet of Services</i>)
IoT:	Nesnelerin İnterneti (<i>Internet of Things</i>)

IVI:	Endüstriyel Değer Zinciri Girişimi (<i>Industrial Value Chain Initiative</i>)
KOBİ:	Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler
MIC 2025:	Çin Yapımı 2025 Planı (<i>Made in China 2025 Plan</i>)
MII 3.0:	İmalat Sanayi İnovasyonu 3.0 (<i>Manufacturing Industry Innovation 3.0</i>)
NNMI:	İmalatta İnovasyon Ulusal Ağı (<i>National Network for Manufacturing Innovation</i>)
OCF:	Açık Bağlantı Vakfı (<i>Open Connectivity Foundation</i>)
OECD:	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (<i>Organisation for Economic Cooperation and Development</i>)
RRI:	Robot Devrimi Girişimi (<i>Robot Revolution Initiative</i>)
SEI:	Gelişmekte Olan Stratejik Endüstriler Girişimi (<i>Strategic Emerging Industries Initiative</i>)
STEM-A:	Fen Bilimleri, Teknoloji, Mühendislik, Matematik ve Sanat Eğitimi (<i>Science, Technology, Engineering, Math and Art</i>)
UNDP:	Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (<i>United Nations Development Programme</i>)
WEF:	Dünya Ekonomik Forumu (<i>World Economic Forum</i>)
WIPO:	Dünya Fikri Mülkiyet Teşkilatı (<i>World Intellectual Property Organization</i>)

Takdim

İnsanlık; avcı ve toplayıcı, tarım ve sanayi toplumu gibi aşamalardan geçerek günümüzün bilgi toplumuna erişmiştir. Bu süreçte; tekerlek, yazı, pusula, matbaa, buhar makinesi, elektrik, telgraf, telefon, internet gibi birçok buluş gerçekleştirilmiştir. Birbirinin birikimi üzerine inşa edilen bu yenilikler insanlığı; ekonomik, sosyal ve politik alanlar başta olmak üzere birçok yönden derinden etkilemiş, yaşam şeklinden beslenmeye, üretimden ticarete, eğitimden devlet yönetimine kadar değişikliklere sebep olmuştur. Özellikle sanayi toplumuna geçildikten sonra bilim ve teknolojiye yaşanan gelişmeler insanlığı daha derinden etkilemiştir.

Buhar makinesinin bulunmasıyla birlikte Birinci Sanayi Devrimini yaşayan insanlık, elektrik ve montaj hattının keşfiyle İkinci Sanayi Devrimini gerçekleştirmiş, elektronik ve bilgisayar sistemlerinin üretimde kullanılmasıyla Üçüncü Sanayi Devriminin kapılarını aralamıştır. Önceki üç sanayi devriminin birikimi, Dördüncü Sanayi Devrimi de denilen Endüstri 4.0'ın doğuşunu sağlamıştır. 1700'lü yıllarda başlayan ve yaklaşık üç asırlık bir dönemi kapsayan üç sanayi devriminden sonra gerçekleştirilmekte olan bu yeni devrimi, Üçüncü Sanayi Devriminden kesin bir şekilde ayırmak mümkün değildir. Henüz tamamlanmamış bir devrim olan Endüstri 4.0, bu yönüyle bir kopuşu değil tedrici bir gelişmeyi simgelemektedir. Özellikle üretimde rekabet üstünlüğünü sürdürme gayretinin bir ürünü olan Endüstri 4.0, dijitalleşmenin başta imalat sanayii olmak üzere gündelik hayatın her alanına yaygınlaştırılması amacını taşıyan bir anlayıştır.

İnternet, artık sadece insanlar arasında iletişimi sağlayan bir araç olmaktan çıkmıştır. Endüstri 4.0 ile birlikte internet; nesneler ile nesneler, nesneler ile insanlar hatta hizmetler arasında da iletişimi sağlayan bir araç haline gelmiştir. Bu devrimin en dikkat çeken özelliği insandan nesneye, fabrikadan tüketiciye hayatın her bir alanını, insan vücudundaki damarların vücudu sarması gibi bir tür ağla birbirine bağlamayı hedeflemesidir. Büyük veri ve analitiği, bulut bilişim sistemleri, siber güvenlik, akıllı robotlar, yapay zekâ gibi pek çok

yeni teknolojiyi barındıran Endüstri 4.0 önümüzdeki dönemde ekonomiden sağlığa, eğitimden güvenliğe, istihdamdan yatırıma birçok alanda değiştirici ve dönüştürücü etki gösterecektir. Endüstri 4.0'ın bu etkisini öngören ülkeler hızlı bir şekilde bu yeni teknolojiye uyum sağlama çalışmalarına başlamış ve diğerlerine kıyasla her alanda çok önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Bu yönüyle dünya, başta imalat sanayi olmak üzere endüstrinin birçok kolunda ve diğer alanlarda, el aletleri ile üretimden fabrikalı seri üretime geçişte yaşadığı deneyimin bir benzerini yaşayacak ve gelişmiş ülke, az gelişmiş ülke sınıflandırmaları yeniden şekillenecektir.

Dünyadaki gelişmeleri yakından takip ederek milletvekillerine objektif bilgi desteği sağlayan Araştırma Hizmetleri Başkanlığımızın, dünyanın ileri endüstrilerinin gündeminde olan Endüstri 4.0 konusunda yapmış olduğu bu çalışmada, Endüstri 4.0'ın teorik çerçevesinin yanı sıra ülke uygulamalarına ve uluslararası araştırma bulgularından hareketle yakın gelecekte doğuracağı pratik sonuçlarına da ışık tutulmaktadır.

Parlamentonun yeni teknolojileri takip etme misyonunun gerçekleşmesine destek sağlamanın yanında Endüstri 4.0'ın ve öneminin anlaşılmasına katkı sunacak olan bu eserin hazırlanmasında emeği geçen herkese teşekkür eder, bu değerli eseri başta Türkiye Büyük Millet Meclisi'nin kıymetli üyeleri olmak üzere konunun ilgililerinin istifadesine sunmaktan memnuniyet duyuyorum.

Prof. Dr. Mustafa ŞENTOP
Türkiye Büyük Millet Meclisi Başkanı

I. BÖLÜM: GİRİŞ VE YÖNTEM

1. Giriş

İnsanın alet yapabilme becerisi çevresinden daha iyi faydalanmasını, yaşama daha çok tutunmasını ve doğa karşısında daha güçlü olmasını sağlamış, ürettiği yenilikler ise yaşam kalitesini ve refahını artırmıştır. McLuhan'ın "insan önce aletleri (teknolojiyi) şekillendirir, sonrasında aletler (teknoloji) insanı şekillendirir" ifadesindeki gibi¹ teknoloji, geçmişten bugüne insanın sadece iş yapma biçimini değil, yaşam şeklini ve toplumsal yapıyı da derinden etkilemiştir. Tarihsel olarak insanlığın yaşadığı ilk büyük dönüşüm avcı-toplayıcılıktan tarıma geçiş olmuş ve gelişmiş toplumlar tarım, sanayi ve bilgiye dayalı toplum olmak üzere üç geçiş dalgasını yaşamıştır.² Tarım toplumuna geçişle başlayan dönüşümler³ bugün Dördüncü Sanayi Devrimi olgusuna evrilmiştir.

Buhar ve hidroelektrik gücüne dayalı üretimin mekanizasyonu ile beliren Birinci Sanayi Devrimini (Endüstri 1.0) elektriğin yaygınlaşması ve seri üretimle anılan İkinci Sanayi Devrimi (Endüstri 2.0) takip etmiştir. Zamanla elektronik ve dijital (sayısal) kontrol yoluyla otomasyona dayalı seri üretimin gelişmesiyle birlikte Üçüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 3.0) gerçekleşmiştir. Dördüncü Sanayi Devrimi ise Endüstri 4.0 ile gelmektedir.⁴ Dünya Ekonomik Forumu kurucusu Klaus Schwab tarafından Ocak 2016'da "Dördüncü Sanayi Devrimi"

¹ Culkin J.M., "A Schoolman's Guide to Marshall McLuhan", The Saturday Review, S:41, 18.03.1967, s.70, Erişim:09.06.2022, <https://www.unz.com/print/Saturday-Rev-1967mar18-00051>

² Pozdnyakova U.A., Golikov V.V., Peters I.A. vd., "Genesis of the Revolutionary Transition to Industry 4.0 in the 21st Century and Overview of Previous Industrial Revolutions", Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century içinde, E.G. Popkova, Y.V. Ragulina, A.V. Bogoviz ed., Springer International Publishing AG, 2019, s.12.

³ Tarihsel olarak insanlığın toplumsal gelişimi sırasıyla: "Avcı-Toplayıcı Toplum (Toplum 1.0), Tarım Toplumu (Toplum 2.0), Sanayi Toplumu (Toplum 3.0), Bilgi Toplumu (Toplum 4.0) olarak sıralanabilir. Süper Akıllı Toplum (Toplum 5.0)" ise bir sonraki aşama olarak kabul edilmektedir. (Kaynak: Government of Japan, Realizing Society 5.0, s.1, Erişim:09.06.2022, https://www.japan.go.jp/abonomics/_userdata/abonomics/pdf/society_5.0.pdf)

⁴ Aichholzer G., Rhomberg W., Gudowsky N. vd., "Industry 4.0", Austrian Academy of Sciences Institute of Technology Assessment, Viyana, Kasım 2015, s.13, Erişim:13.06.2022, <https://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte/ITA-AIT-1en.pdf>

adlı kitabın yayımlanması ile ortaya atılan “Dördüncü Sanayi Devrimi” terimi⁵ öylesine ilgi çekici hale gelmiştir ki 2016 yılında gerçekleştirilen Dünya Ekonomik Forumunun Davos’taki toplantısının ana konusu “Dördüncü Sanayi Devriminde Ustalaşmak” olmuştur.⁶ Endüstri 4.0 o zamandan beri dijitalleştirilmiş üretim için genel bir terim olarak kabul edilmekte, makineler ve ürünler, yerel, küresel ve şirketler arası veri alışverişi yapabilen ağ bağlantılı ve akıllı bileşenler olarak görülmektedir.⁷ Bir başka ifadeyle Endüstri 4.0 bilişim teknolojileri ve internet temelinde dijital, akıllı, ağa bağlı ve kendi kendini yöneten üretim olarak tanımlanmaktadır.⁸ Endüstri 4.0, bilgi teknolojilerinin üretimin her aşamasına uygulanması esasına dayanmaktadır.⁹ Endüstri 4.0’ın belirgin özelliklerinden birisi olan akıllı makinelerin birbirine bağlanabilmesiyle, bir anlamda Nikola Tesla’nın 1926 yılındaki nesnelerin interneti (*internet of things*-IoT) bağlamında kablosuz iletişimin sağlanacağı ve Alan Turing’in 1950’lerdeki akıllı makinelerin birbiriyle bağlantı kuracağı öngörüsü bugün gerçekleşmiştir.¹⁰

Almanya Eğitim ve Araştırma Bakanlığı tarafından 2011 yılında “Yüksek Teknoloji Eylem Planı” kapsamında sunulan on farklı Gele-

⁵ Philbeck T., Davis N., “The Fourth Industrial Revolution: Shaping A New Era”, Journal of International Affairs, 22 Ocak 2019, Erişim:07.06.2022, <https://jia.sipa.columbia.edu/fourth-industrial-revolution-shaping-new-era>

⁶ Dünya Ekonomik Forumu (WEF), “World Economic Forum Annual Meeting 2016: Mastering the Fourth Industrial Revolution”, 02 Şubat 2016, Erişim:07.06.2022, <https://www.weforum.org/reports/world-economic-forum-annual-meeting-2016-mastering-the-fourth-industrial-revolution>

⁷ Philbeck T., Davis N., “The Fourth Industrial Revolution: Shaping A New Era”; Orth M., Industry 4.0 – explained in simple terms, The Germany Portal, 24.08.2018, Erişim:20.06.2022, <https://www.deutschland.de/en/topic/business/what-industry-40-means-and-what-benefits-it-brings>

⁸ Aichholzer G., Rhomberg W., Gudowsky N., Saurwein F., Weber, “Industry 4.0”, s.13.

⁹ Ghobakhloo M., Fathi M., “Corporate Survival in Industry 4.0 Era: The Enabling Role of Lean-Digitized Manufacturing”, Journal of Manufacturing Technology Management, C:31, S:1, 2020, s.5, Erişim:20.06.2022, <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-11-2018-0417/full/html>

¹⁰ Öztuna B., “Logistics 4.0 and Technologic Applications, Logistics 4.0 and Future of Supply Chains”, Logistics 4.0 and Future of Supply Chains. Accounting, Finance, Sustainability, Governance & Fraud: Theory and Application içinde, İ. İyigün, Ö.F. Görçün ed., Springer Singapore 2022, s.10.; Munirathinam S., “Industry 4.0: Industrial Internet of Things (IIOT)”, The Digital Twin Paradigm for Smarter Systems and Environments: The Industry Use Cases içinde, P. Raj, P. Evangeline ed., Advances in Computers, C:117, S:1, 2020, s.134-135, Erişim:20.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/bookseries/advances-in-computers/vol/117/issue/1>

cek Projesi'nden (*Future Project*) birisi "*Industrie 4.0*" projesi idi.¹¹ Alman Hükûmeti tarafından benimsenen bu proje daha sonra Nisan 2011 tarihinde Almanya'da dünyanın en büyük endüstriyel teknoloji fuarlarından biri olan Hannover Messe Fuarında kavramı geliştiren mühendisler tarafından tüm dünyaya duyurulmuştur.¹²

Almanya kökenli *Industrie 4.0* projesi bir anlamda yeni bir sanayi devrimini, yani Dördüncü Sanayi Devrimini, tetiklemiş ve yeni bir üretim anlayışının kapılarını aralamıştır.¹³ Bu çabaların arkasında ağırlıklı olarak imalat sanayiinin özellikle de otomotiv ve makine üretiminin Alman ekonomisi için önemi ile Almanya'nın dijital teknolojilerdeki gelişmiş altyapısı yer almaktadır.¹⁴ Tarihsel olarak, imalat sanayiindeki üretim gücünü iyi değerlendiren ülkelerin verimlilik ve refah artışı yaşadığı gözlenmiştir. Ayrıca imalat sanayiinin ihracat ve istihdam için oldukça önemli olan araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde kilit bir yatırım kaynağı olduğu çeşitli araştırmalar tarafından ortaya konulmaktadır.¹⁵ Aynı dönemlerde Amerika Birleşik Devletleri'nde de (ABD) imalat sanayii üzerine kurgulanmış Endüstri 4.0 benzeri ileri

¹¹ Almanya Ticaret ve Yatırım Ajansı (GTAI), *Industry 4.0-Germany Market Report and Outlook*, s.13, Erişim:13.06.2022, <https://www.gtai.de/resource/blob/64500/8b7afcaa0cce1ebd42b178b4430edc82/industrie4-0-germany-market-outlook-progress-report-en-data.pdf>

¹² Proctohtohr M., Wilkins J., "4.0 Sight-Digital Industry Around the World", *EU Automation*, s.8-9,11, Erişim:20.06.2022, <https://www.euautomation.com/4sight/>

¹³ Almanya Ticaret ve Yatırım Ajansı (GTAI), *Industrie 4.0: Smart manufacturing for the future*, s.6, Erişim:10.06.2022, <http://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/Industries/industrie4.0-smart-manufacturing-for-the-future-en.pdf>; Pfeiffer S., "The Vision of "Industrie 4.0" in the Making-A Case of Future Told, Tamed, and Traded, Nanoethics", C:11, S:1, Nisan 2017, s.107, Erişim:20.06.2022, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11569-016-0280-3>

¹⁴ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), *Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industry 4.0*, April 2013, s.5,30, Erişim:20.06.2022, <https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/download-pdf?lang=en>; Rojko A., "Industry 4.0 Concept: Background and Overview", *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, C:11, S:5, 2017, s.80, Erişim:10.06.2022, <https://online-journals.org/index.php/i-jim/article/view/7072>

¹⁵ Herman E., "The Importance of the Manufacturing Sector in the Romanian Economy", *Procedia Technology*, C:22, 2016, s.977, Erişim:10.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017316001225>; Karami M., Elahinia N., Karami S., "The Effect of Manufacturing Value Added on Economic Growth: Empirical Evidence from Europe", *Journal of Business Economics and Finance*, C:8, S:2, 2019, s.133, Erişim:10.06.2022, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/745367>

İmalat (*Advanced Manufacturing*)¹⁶ stratejisi ortaya çıkmıştır.¹⁷ Bununla birlikte Birleşmiş Milletler Kalkınma ve Sanayi Örgütü'nün de belirttiği gibi Endüstri 4.0, imalat sanayii temelinde geliştirilmiş olsa da akıllı ulaşım ve lojistik, akıllı binalar, enerji, akıllı sağlık ve akıllı şehirler gibi diğer birçok uygulamayı da içerisinde barındırmaktadır. Bu yüzden Endüstri 4.0, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları¹⁸ açısından da oldukça önemlidir.¹⁹

Almanya'nın Industrie 4.0 projesinin öncesinde akıllı üretim bağlamında benzer projeler²⁰ ortaya çıkmış, Endüstri 4.0 yaklaşımı başka ülkelerin de ilgisini çekmiş ve bazı ülkeler²¹ bu dijital devrimin potansiyeli ve ekonomiye muhtemel katkılarından hareketle bu yeni

¹⁶ Bilgi, otomasyon, hesaplama, yazılım, algılama ve ağ kurmanın kullanımına ve koordinasyonuna bağlı olan ve/veya nanoteknoloji, kimya ve biyoloji gibi fiziki ve biyolojik bilimler tarafından devreye sokulmuş en yeni malzemelerden ve yeni ortaya çıkan yeteneklerden istifade eden faaliyetler bütünü olarak tanımlanmıştır. (Kaynak: President's Council of Advisors on Science and Technology, "Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing", s.ii, Erişim:10.06.2022, <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-advanced-manufacturing-june2011.pdf>)

¹⁷ Yang F., Gu S., "Industry 4.0, a revolution that requires technology and national strategies", *Complex & Intelligent Systems*, C:7, 2021, s.1321, Erişim:10.06.2022, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40747-020-00267-9>; President's Council of Advisors on Science and Technology, Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing, s.ii.

¹⁸ Küresel Hedefler olarak da bilinen Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, 2015 yılında Birleşmiş Milletler tarafından kabul edilen yoksulluğu sona erdirmek, gezegeni korumak ve 2030 yılına kadar tüm insanların barış ve refah içinde yaşamasını sağlamak için evrensel bir eylem çağrısıdır. (Kaynak: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP), "What are the Sustainable Development Goals?", Erişim:19.09.2022, <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>)

¹⁹ Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (UNIDO), "Industry 4.0-Preparing for the 4th Industrial Revolution", World Summit on the Information Society (WSIS) 2017, s.3, Erişim:09.06.2022, https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-06/WSIS%202017_final_3_online.pdf

²⁰ 2011 yılında ABD'de Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (Industrial Internet of Things-IloT).

²¹ Avrupa Komisyonunun tespitlerine göre ABD endüstriyel pazarlarda kaybedilen zemini yeniden elde etmek için dijital dönüşümü kullanmayı amaçlarken, Google, Amazon, Microsoft, Cisco gibi büyük teknoloji şirketlerinin küresel egemenliğinden yararlanmaktadır. Çin ise dijital dönüşümde ABD'yi yakalayarak Çin'in küresel konumunu güçlendirmeyi hedeflemektedir. (Kaynak: Avrupa Birliği Ekonomik ve Sosyal Komitesi, Opinion of the European Economic and Social Committee on Industry 4.0 and digital transformation: Where to go, COM(2016) 180 final, 2016, s.6, Erişim:09.06.2022, <https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-information-reports/opinions/industry-40-and-digital-transformation-where-go>)

yaklaşımı kendilerine uyarlamıştır.²² Bu ülkeler, yeni nesil üretimin önemini fark edip çeşitli girişimlerde bulunarak, işletmelerin Endüstri 4.0'ı benimsemesini sağlamak ve farkındalığını artırmak için alt-yapı yatırımları, vergi avantajları ve eylem planları gibi uygulamaları devreye almıştır.²³ 2019 yılında başlayan COVID-19 salgını son 25-30 yıldır yaşanan dijitalleşmeyi etkileyerek özellikle uzaktan erişim temelli teknolojilerin²⁴ benimsenmesini ve dünya genelinde dijital dönüşümü hızlandırmıştır.²⁵ Endüstri 4.0 önceleri kuramsal (teorik) bir araştırma alanı iken gerçek dünya uygulamalarına dönüşmüş, COVID-19 salgınının arttırdığı dijital dönüşüm ile Endüstri 4.0'a geçiş de hızlanmış, bir anlamda Endüstri 4.0'ın geleceği daha erkene çekilmiştir.²⁶

2. Yöntem

Endüstri 4.0 konusunda ülkelerin kendine has uygulamaları görülebilmektedir. Ancak genel olarak bakıldığında ülkelerin farklı alanlarda önde olma durumu söz konusudur. Çalışmada seçilen ülkeler; alanda öncü olma, kısa sürede kat edilen sektörel ilerleme, endüstriyel robot kullanım yoğunluğu, alana özel farklı programların ve iş birliklerinin varlığı gibi ölçütlerden bir veya birkaçı esas alınarak belir-

²² The EQulP Project İnternet Sitesi, "Enhancing the Quality of Industrial Policies (EQulP)-Tool 12", Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)-UNIDO, s.6, Erişim:10.06.2022, <https://www.equip-project.org/wp-content/uploads/2020/01/Industry-4.0-Tool-12.pdf>; Chiarello F., Trivelli L., Bonaccorsi A. vd., "Extracting and Mapping Industry 4.0 Technologies Using Wikipedia", Computers in Industry, C:100, 2018, s.245, Erişim:10.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361517306176>

²³ Büchi G., Cugno M., Castagnoli R., "Smart Factory Performance and Industry 4.0", Technological Forecasting and Social Change, C:150, 2020, s.1.

²⁴ COVID-19'un hızlandırdığı teknolojiler; video konferans, çevrimiçi iletişim, , yapay zekâ , sanal ve artırılmış gerçeklik, siber güvenlik, teletip, nesnelerin interneti, e-ticaret, robotik, insansız araçlar, bulut teknolojileri vb. sayılabilir. (Kaynak: Konina N., "19-Conclusion: The Fourth Industrial Revolution-Further Research Agenda", Digital Strategies in a Global Market-Navigating the Fourth Industrial Revolution içinde, N. Konina ed., Palgrave-MacMillan 2021, s.270-271).

²⁵ Konina N., "19-Conclusion: The Fourth Industrial Revolution-Further Research Agenda", s.270.

²⁶ Butt J., "A Conceptual Framework to Support Digital Transformation in Manufacturing using an Integrated Business Process Management Approach", Designs 2020, C:4, S:3, s.1, Erişim:10.06.2022, <https://www.mdpi.com/2411-9660/4/3/17/htm>; Yang F., Gu S., "Industry 4.0, a revolution that requires technology and national strategies", Complex & Intelligent Systems, C:7, 2021, s.1311, Erişim:10.06.2022, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40747-020-00267-9>; Konina N., "19-Conclusion: The Fourth Industrial Revolution-Further Research Agenda", s.270.

lenmiştir. Söz konusu ölçütlere göre öne çıkan ülkelerden Almanya, ABD, Çin, Güney Kore ve Japonya bu çalışmada incelenmektedir. Almanya, kavramın ilk olarak ortaya çıktığı ülke olması, uygulamaların sistematığı ve geçmişten gelen ileri sanayi gücü açısından önem arz etmektedir. GSYH açısından dünyanın en büyük ülkesi olan ABD, üretim yapısı dikkate alındığında Endüstri 4.0 bakımından önde gelen ülkelerdendir. Çin, yüksek miktardaki iş gücüne rağmen imalat sanayiindeki liderliğini koruyabilmek için Endüstri 4.0'a, özellikle de endüstriyel robot kullanımına odaklanmış olup açık farkla dünyada en büyük endüstriyel robot stokuna sahip ülke konumundadır. Güney Kore ise bu alanda sunduğu Ar-Ge teşvikleri ile öne çıkmaktadır. Dünyada en çok robot ihraç eden ülke konumundaki Japonya, üretim yapısı açısından Endüstri 4.0 sürecine en hazır ülke olarak değerlendirilmekte olup Toplum 5.0 kavramının da doğduğu ülkedir.

Bazı ülkelerde konu, doğrudan Endüstri 4.0 adı ile anılmakta iken bazı ülkelerde bu konu kapsamında değerlendirilebilecek program ve uygulamalar farklı isimler altında sınıflandırılabilir. Dolayısıyla çalışmada, doğrudan Endüstri 4.0 adı zikredilmese de bu kavrama dönük uygulamalara yer verilmiştir. Ayrıca her ülke, Endüstri 4.0 ile ilişkilendirilebilen önde gelen uygulamalar bakımından ele alınmıştır.

Küresel olarak etkileyici, dönüştürücü ve kaçınılmaz nitelikteki Endüstri 4.0'ın bilinirliğinin artırılması ve yasama organı üyeleri için Endüstri 4.0 ile ilgili genel bir çerçevenin sunulması bu çalışmanın asıl amacıdır. Çalışmada, Endüstri 4.0'ın tüm unsurlarını kapsamlı bir şekilde ele almak yerine anahatlarını ortaya koyma yaklaşımı benimsenmiştir. Literatür taraması niteliği taşıyan bu çalışmada öncelikle sanayi devrimlerinin tarihsel gelişim süreci sunulmuş, Endüstri 4.0'ın ilkeleri, temel bileşenleri açıklanarak kavramsal çerçeve verilmiş; Endüstri 4.0'ın büyüme, millî gelir, iş gücü piyasası ve eğitim gibi alanlar üzerine etkilerine değinilmiştir. Ardından seçilmiş ülkelerde Endüstri 4.0 uygulamalarının gelişimine, bu yönde kamunun ve özel sektörün attığı adımlara, uygulanan strateji ve politikalara, uygulama örneklerine ve ilgili ülkenin Endüstri 4.0 ile ilişkilendirilebilecek alanlarda dünyadaki yerinin ne olduğu konusuna çeşitli istatistiksel veriler üzerinden ışık tutulmuştur. Endüstri 4.0 kavramının nispeten yeni olması, farklılıkları barındırması ve dinamikliği de dikkate alın-

rak anlaşılabilirliğinin kolaylaştırılması adına çalışmada örneklendirme yöntemi kullanılmıştır.

Endüstri 4.0'a yön veren etken ve teknolojilerin çeşitli sektörler açısından incelenmesi; *Tarım 4.0, Lojistik 4.0, İnşaat 4.0, Enerji 4.0, İnovasyon 4.0, İş 4.0* vb. yeni "... 4.0" terimlerini doğurmuştur.²⁷ Burada yinelemek gerekir ki Endüstri 4.0 esasen imalat sanayiini yani üretim süreçlerini ve üretimle ilgili hizmetleri ifade etmektedir.²⁸ Öte yandan Endüstri 4.0 farklı ülkelerde ve çalışmalarda; Dördüncü Sanayi Devrimi, Gelecek Üretim Devrimi (*The Next Production Revolution*), Dijital Üretim (*Digital Manufacturing*), Dijital Endüstriyel Teknoloji (*Digital Industrial Technology*), Sanayi İnterneti (*Industrial Internet*), Akıllı Fabrika (*Smart Factory*), İleri İmalat (*Advanced Manufacturing*), İmalat Sanayii İçin Nesnelerin İnterneti (*Internet of Things for Manufacturing*), Geleceğin Sanayii (*Industrie du Futur-I-dF*), Ağa Bağlı (Ağ Bağlantılı) İşletme (*Connected Enterprise*), Akıllı Üretim (*Smart Manufacturing*), Üretim 4.0 (*Manufacturing 4.0*)²⁹ gibi çok çeşitli isimlerle de anılmaktadır. Bu yüzden çalışmada anılan bu unsurları inceleyen literatür araştırmaları dikkate alınmış, tanım ve adlandırmada bu çalışmaların yol göstericiliğinden yararlanılarak imalat sanayii çerçevesinde, en yaygın kullanım olan Endüstri 4.0 kavramı tercih edilmiştir.

²⁷ I-Scoop İnternet Sitesi, "Industry 4.0 and the Fourth Industrial Revolution Explained", Erişim:10.06.2022, <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>; Madsen D.Ø., "The Emergence and Rise of Industry 4.0 Viewed through the Lens of Management Fashion Theory", *Administrative Sciences*, C:9, S:3, 2019, s.2, Erişim:10.06.2022, <https://www.mdpi.com/2076-3387/9/3/71>

²⁸ Steden P., "Industry 4.0-Overview and Policy Implications", Berlin/Minsk, Mart 2019, s.9, Erişim:09.06.2022, https://www.german-economic-team.com/wp-content/uploads/2022/01/PB_01_2019_en.pdf

²⁹ OECD, *Enabling the Next Production Revolution: The Future of Manufacturing and Services-Interim Report*, 2016, s.6, Erişim:10.06.2022, <https://www.oecd.org/mcm/documents/Enabling-the-next-production-revolution-the-future-of-manufacturing-and-services-interim-report.pdf>; Da Silva E.R, Shinohara A.C., Nielsen C.P. vd., "Operating Digital Manufacturing in Industry 4.0: the role of advanced manufacturing Technologies", *Procedia CIRP*, C:93, 2020, s.175, Erişim:10.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827120306405>; Rüßmann M., Lorenz M., Gerbert P. vd., "Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries", Boston Consulting Group, Nisan 2015, Erişim:08.06.2022, https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries; Tinmaz H., "History of Industrial Revolutions: From Homo Sapiens Hunters to Bitcoin Hunters", *Blockchain Technology for Industry 4.0-Secure, Decentralized, Distributed and Trusted Industry Environment içinde*, R. R. Righi, A. M. Alberti, M. Singh, ed., Springer Nature, Singapur, 2020, s.15.

Dördüncü Sanayi Devrimi ile Endüstri 4.0 arasındaki ilişkiye de kısaca değinmekte fayda görülmektedir. Genel itibarıyla literatürde Dördüncü Sanayi Devrimi kavramı “Endüstri 4.0” kavramının eş anlamlısı olarak kabul edilmekte ve bu kavramlar birbirlerinin yerine kullanılmaktadır.³⁰ Bu iki kavram birbiriyle iç içe olmakla birlikte, farkları da bulunmaktadır. Endüstri 4.0, daha çok üretim ve üretim sistemlerindeki dijitalleşmeye, organizasyonel dönüşüm ve verimlilik artışı arasındaki ilişkiye odaklanırken Dördüncü Sanayi Devrimi üretim süreçleri ve endüstrileşme konusuna çok daha geniş bir yelpazeden bakmakta ve bu yönüyle Endüstri 4.0, Dördüncü Sanayi Devriminin önemli bir bileşeni konumunda olmaktadır.³¹ Bir başka ifadeyle her ikisi de aynı anlayışın ürünü olmakla birlikte Endüstri 4.0 daha dar kapsamlıdır ve Dördüncü Sanayi Devriminin en önemli itici güçlerinden biridir.³² Bu çalışmada diğer alternatif kavramlar da göz önünde bulundurularak literatürdeki genel eğilim izlenmekte ve Endüstri 4.0 kavramı, Dördüncü Sanayi Devrimini de kapsayacak şekilde geniş anlamda kullanılmaktadır. Öte yandan nadir de olsa sanayi devrimleri ile Endüstri 4.0’ın ilişkisini göstermek adına çalışmada Dördüncü Sanayi Devrimi kavramı da kullanılmaktadır.

³⁰ Philbeck T., Davis N., “The Fourth Industrial Revolution: Shaping A New Era”.; I-Scoop İnternet Sitesi, “Industry 4.0 and the fourth industrial revolution explained”.

³¹ Philbeck T., Davis N., “The Fourth Industrial Revolution: Shaping A New Era”.

³² Philbeck T., Davis N., “The Fourth Industrial Revolution: Shaping A New Era”.; Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (UNIDO), Industry 4.0-Opportunities and Challenges of the New Industrial Revolution for Developing Countries and Economies in Transition, s.2, Erişim:09.06.2022, https://www.unido.org/sites/default/files/2017-01/Unido_industry-4_NEW_0.pdf

II. BÖLÜM: SANAYİ DEVRİMLERİNE KAVRAMSAL VE TARİHSEL BİR BAKIŞ

1. Sanayi Devrimi

Ani ve köklü bir değişimi ifade eden “devrim” terimi genel olarak Fransız ve Amerikan devrimlerindeki gibi birkaç yıla sığan dönemleri çağrıştırırken uzun zamana yayılan kimi dönemler için de kullanılabilir. ³³ XVI. ve XVII. yüzyıllarda yaşanan ve iki bin yıl bilime egemen olan Yunan doğa görüşünün yerini alarak bilimsel düşünceyi köklü bir şekilde değiştiren “Bilimsel Devrim” bu duruma örnek gösterilmektedir. İlk olarak İngiliz ekonomi tarihçisi Arnold Toynbee tarafından İngiltere’nin 1760-1840 yılları arasındaki ekonomik gelişimini anlatmak için kullanılan Sanayi Devrimi de ani bir olay olmayıp uzun yıllar sürmüştür. ³⁴

Bir sanayi devrimi gerçekleştiğinde, üretimde önceki döneme göre tamamen farklı olan yeni teknolojiler kullanılır. Başka bir deyişle üretim anlayışı köklü ve sistematik değişime uğrar, yeni döneme uyum sağlanır, teknolojilerde ve donanımda kitlesel yenilenme (modernizasyon) gözlemlenir. Tüm bu değişimlerin etkisi ile üretim hacmi artar, maliyetler düşer, lojistik hizmetleri gelişir, daha karmaşık ve yeni ürünler ortaya çıkar. ³⁵ Sanayi devrimi teknolojide olağanüstü bir büyüme ve değişim ile bilimde bir sıçrama olarak kendisini göstermektedir. ³⁶

Sanayi devrimini daha iyi anlayabilmek için Castells tarafından ortaya konulan, Birinci ve İkinci Sanayi Devrimlerini, “devrim” yapan ortak unsurlara bakmak faydalı olacaktır. Castells’e göre her iki sanayi devriminde

³³ Schwab K., “The Fourth Industrial Revolution”, Dünya Ekonomik Forumu (WEF), 2016, s.11.; More C., “Understanding the Industrial Revolution”, Routledge, New York, 2000, s.1.

³⁴ Encyclopædia Britannica, “Scientific Revolution”, Erişim:10.06.2022, <https://www.britannica.com/science/Scientific-Revolution>; Encyclopædia Britannica, “Industrial-Revolution”, Erişim:10.06.2022, <https://www.britannica.com/event/Industrial-Revolution>; More C., “Understanding the Industrial Revolution”, s.1.

³⁵ Popkova E.G., Ragulina Y.V., Bogoviz A.V., “Fundamental Differences of Transition to Industry 4.0 from Previous Industrial Revolutions”, Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century içinde, E.G. Popkova, Y.V. Ragulina, A.V. Bogoviz ed., Springer International Publishing, 2019, s.22-24.

³⁶ Gunal M.M., “Simulation and the Fourth Industrial Revolution”, Simulation for Industry 4.0-Past, Present, and Future içinde, M.M. Gunal ed, Springer, 2019, s.4.

de görülen bu ortak unsurlar: Teknolojik uygulamaların ani ve beklenmedik bir şekilde yükselişiyle yeni ürünlerin ortaya çıkması; yeni teknolojik sisteme uyum sağlayan ülkeler ve seçkinler tarafından küresel ölçekte üretim ve dağıtım süreçlerinin dönüştürülmesi ve zenginliğin ve iktidarın konumunun değişmesidir.³⁷ Benzer şekilde Moll de çalışmasında Birinci Sanayi Devrimini oluşturan temel unsurları belirleyerek diğer sanayi devrimlerinin bu unsurlar çerçevesinde irdelenebileceğini ortaya koymuştur. Buna göre bir sanayi devrimi, kendi sosyo-ekonomik bütünlüğü içinde, şu unsurları içermelidir:³⁸

- Geniş ölçekli ve yeniliğe (inovasyona) dayalı teknolojik bir devrimi,
- Emek sürecinin ya da "iş yapma biçiminin" dönüşümü,
- İş yerinde çalışma ilişkilerinin değişimi ve bunların toplumsal etkileri,
- Özellikle şehirlerde günlük sosyal yaşama yansıyan köklü değişiklikleri,
- Uluslararası ticaret ve güç kümelenmelerinde küresel dönüşümü.

Yukarıda bahsedilen görüşlerden de anlaşılacağı üzere sanayi devrimlerinde, insanlar ve teknoloji arasındaki karmaşık etkileşimlerin şekillendirdiği, zaman içinde değişen yeni algılama (değerler) ve davranış biçimleriyle sonuçlanan dönüşümler yaşanmaktadır.³⁹ Tarihsel sürece baktığında hemen hemen tüm sanayi devrimlerinde teknolojik atılımlar ani bir şekilde belirmiş, hâkim üretim şekli değişmiştir. Bu devrimlerde yeni enerji kaynakları ile materyallere erişim de önemli bir etken olmuştur. Değişimler, ekonomik, sosyal ve politik dönüşümleri beslemiştir. Tüm bu ifadelerden anlaşıldığı üzere bir sanayi devrimi, karmaşık bir dizi ekonomik, sosyal ve politik dönüşümler bütünüdür.⁴⁰

³⁷ Castells M., "Enformasyon Çağı: Ekonomi, Toplum ve Kültür- Birinci Cilt: Ağ Toplumunun Yükselişi", İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları, İkinci Baskı 2008, s.44.

³⁸ Moll I., "The Myth of the Fourth Industrial Revolution", Theoria, C:68, S:167, Haziran 2021, s.8-9, Erişim:14.06.2022, <https://www.berghahnjournals.com/view/journals/theoria/68/167/th6816701.xml>

³⁹ Philbeck T., Davis N., "The Fourth Industrial Revolution: Shaping A New Era".

⁴⁰ Moll I., "The Myth of the Fourth Industrial Revolution".

2. Önceki Sanayi Devrimlerine Genel Bakış

Tarihsel olarak endüstriyel üretimde değişimler yaşanmış olmakla birlikte insanoğlunun el aletlerinden makineye bir başka ifadeyle kas gücünden makine gücüne geçişi ancak 1700'lü yıllardan itibaren gerçekleşebilmiş ve o tarihten sonra ivme kazanarak bugün Dördüncü Sanayi Devrimi aşamasına erişilmiştir.⁴¹ Sanayi devrimlerinin itici güçleri olan buhar gücü, elektrik, bilgi ve iletişim teknolojileri gibi birçok sektöre etki eden ve yayılan teknolojiler kendilerine dayalı başka yeniliklerin icat edilmesini de sağlamış ve ekonomiyi etkilemiştir.⁴² Bu başlık altında sanayileşme aşamalarının tarihsel sürecine yer verilmektedir.

2.1. Birinci Sanayi Devrimi

Sanayi Devrimi terimi, ilk olarak İngiliz ekonomi tarihçisi Arnold Toynbee tarafından İngiltere'nin 1760-1840 yılları arasındaki ekonomik gelişimini anlatmak için kullanılmıştır.⁴³ Çok az tarihçi Birinci Sanayi Devriminin başlangıcı için 1750'den öncesini dikkate almaktadır. Diğer yandan 1760 tarihinden bahsedilmesinin nedeni bu tarihten sonra bir dizi önemli icadın ortaya çıkmasıdır.⁴⁴ Bununla birlikte 1784 yılı başlangıç olarak genel kabul görmektedir.⁴⁵ Bitiş tarihi olarak ise 1830 yılı sıkça kullanılmaktadır. Bunun nedeni buharlı lokomotiflerin ve demiryollarının bu tarihten sonra yaygınlaşmış olmasıdır. Demiryolları, Birinci Sanayi Devriminin (Endüstri 1.0) sonu ve aynı zamanda bir sonraki olgunluk aşamasının başlangıcı sayılmaktadır.⁴⁶

Birinci Sanayi Devrimi, tarım ve el sanatları ekonomisinden sanayi ve makine imalatının egemen olduğu ekonomiye geçiş yapılan bir süreci ifade etmektedir. Bu dönemde teknolojik değişiklikler, yeni çalışma ve yaşam biçimlerini beraberinde getirmiş ve toplumu temelden dönüştür-

⁴¹ Öztemel, E., "Endüstri 4.0 ve Yapay Zekâ", TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, S:607, Haziran 2018, s.80.

⁴² Interreg Internet Sitesi, "Industry 4.0-A Policy Brief from the Policy Learning Platform on Research and Innovation", Eylül 2019, s.2, Erişim:14.06.2022, https://www.interregurope.eu/sites/default/files/inline/INDUSTRY_4.0_Policy_Brief.pdf

⁴³ Encyclopædia Britannica, "Industrial-Revolution".

⁴⁴ More C., "Understanding the Industrial Revolution", s.2.

⁴⁵ Dünya Ekonomik Forumu (WEF), "What is the Fourth Industrial Revolution?", Erişim:14.06.2022, <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/what-is-the-fourth-industrial-revolution/>

⁴⁶ More C., "Understanding the Industrial Revolution", s.2.

müşür.⁴⁷ İngiltere’de başlayan ve buradan dünyaya yayılan Birinci Sanayi Devrimi “İngiliz Sanayi Devrimi” ile özdeş tutulmaktadır.⁴⁸

Bu dönemde hammadde, enerji kaynakları, mekanizasyon, ulaşım ve iletişim gibi alanlarda önemli ilerlemeler yaşanmıştır.⁴⁹ Birinci Sanayi Devriminin en belirgin özelliklerinden birisi üretim kabiliyetindeki artış ve ekonomik büyümedir.⁵⁰ Daha önce görülmemiş şekilde ucuz enerji ve hammadde sağlanmasıyla üretimde adeta patlama yaşanmıştır. Bu patlama ilk önce ve en fazla tarımsal üretimde kendini göstermiştir.⁵¹ Birinci Sanayi Devrimi, tarımda makineleşme ve ticarileşmede bir dönüm noktası olmuştur.⁵² Harari, bu dönemi yaygın kanının aksine şöyle tanımlamaktadır: *“Sanayi Devrimi deyince aklımıza duman çıkan bacalarla kaplı şehirler veya toprağın derinliklerinde ter döken maden işçileri gelir, ama aslında Sanayi Devrimi her şeyden önce İkinci Tarım Devrimi’dir.”*^{53,54}

Başta demir ve çelik olmak üzere yeni ve temel materyallerin kullanımı bu dönemde artmıştır.⁵⁵ Önceden bilinen buhar gücünün endüstriyel

⁴⁷ Mokyr J., “Editor’s Introduction: The New Economic History and the Industrial Revolution”, The British industrial revolution: an economic perspective içinde, J. Mokyr ed., 2.Baskı, Westview Press, 1999, s.2.

⁴⁸ Encyclopædia Britannica, “Industrial-Revolution”.; Mokyr J., “Editor’s Introduction: The New Economic History and the Industrial Revolution, The British industrial revolution: an economic perspective”, s.2.

⁴⁹ Encyclopædia Britannica, “Industrial-Revolution”.

⁵⁰ Daim T.U., Faily Z., “Industry 4.0 Value Roadmap Integrating Technology and Market Dynamics for Strategy, Innovation and Operations”, Springer Nature İsviçre 2019, s.1.

⁵¹ Harari Y.N., “Hayvanlardan Tanrılara: Sapiens-İnsan Türünün Kısa Bir Tarihi”, Ertuğrul Genç çev., 12.Baskı, Kolektif Kitap, İstanbul 2016, s.336.

⁵² Herrera R.J., Garcia-Bertrand R., “Chapter 13-The Agricultural Revolutions”, Ancestral DNA, Human Origins, and Migrations içinde, R.J. Herrera, R. Garcia-Bertrand ed., Academic Press, 2018, s.505.

⁵³ İnsan, hayatını sürdürecekt besinleri çok uzun bir dönem avlanarak, balık tutarak ve yabani meyveleri toplayarak elde etmeye çalıştıktan sonra aşağı yukarı bundan 10.000 yıl önce, çeşitli bitkileri yetiştirmeyi ve hayvanları ehlileştirmeyi öğrenerek ilk kez yerleşik tarıma geçmeyi başarmıştır. Besin toplayıcılığından besin üreticiliğine geçiş anlamına gelen bu gelişme, Neolitik Devrim (Birinci Tarım Devrimi) (MÖ 7000-5500) olarak adlandırılan temel bir ekonomik değişmeye zemin hazırlamıştır. İnsan, doğal çevresindeki kaynaklardan yararlanarak bitkilerle hayvanların arzını kontrol altına alarak daha bol ve güvenilir beslenme kaynaklarına kavuşmuştur. (Kaynak: T.C. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, “2. Tarım Devrimi ve Sonuçları”, s.25, Erişim:14.06.2022, <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/yyavuz/131676/02-TARIM%20DEVIR%C4%B0M%C4%B0%20VE%20SONU%C3%87LARI.pdf>)

⁵⁴ Harari Y.N., “Hayvanlardan Tanrılara: Sapiens”, s.336.

⁵⁵ Encyclopædia Britannica, “Industrial-Revolution”.

amaçlar için kullanılması verimliliği artırarak Birinci Sanayi Devriminin en büyük atılımı olmuştur.⁵⁶ Daha az enerji ile üretim yapılabilen eğirme makinesi ve dokuma tezgahı gibi yeni makineler icat edilmiştir.⁵⁷ Mekanize yöntemin kullanıldığı iplik üretimi, geleneksel iplik üretimi hacmini sekiz katına çıkartmıştır.⁵⁸ Bu teknolojik yeniliklerin getirdiği üretim kabiliyeti sayesinde doğal kaynakların kullanımı artmış ve bu sayede malların seri üretimi sağlanmıştır. Bütün bunlar bilimin sanayiye artan şekilde uygulanmasının bir neticesidir.⁵⁹

Birinci Sanayi Devrimi sadece üretimdeki değişimle sınırlı kalmamış toplumsal hayatı da etkilemiştir. Ailenin ve hane halkının rolü, çalışma düzeni, kadın ve çocukların durumu, kilisenin sosyal hayata etkisi, insanların yöneticilerini seçme ve dünyayı kavrayış şekli gibi hususlar her zamankinden daha köklü ve hızlı bir şekilde değişime uğramıştır.⁶⁰ Bütün bu yaşananlar sanayi devriminden çok bir "sosyal devrim" olarak nitelendirilmiştir.⁶¹

2.2. İkinci Sanayi Devrimi

Birinci Sanayi Devrimine göre çok daha fazla bilimsel bilgi temeline dayanan İkinci Sanayi Devriminde, ağırlık merkezi İngiltere'den kimyasal ürünler, elektrik, telefon gibi alanlarda köklü yeniliklerin gerçekleştiği ABD ile Almanya'ya kaymıştır.⁶² Önceki sanayi devriminden farklı olarak bu sanayi devriminde kimya ve çelik endüstrisindeki gelişmeler ile elektrik ve montaj hattının üretime dâhil edilmesi bilgi ve teknolojinin önemini artırmıştır.⁶³ İlk taşıyıcı bandın 1870 yılında ABD'nin Cincinnati eyaletinde bir mezbahada kurulması, montaj hatları üzerinde seri üretimle simgele-

⁵⁶ Desoutter Industrial Tools İnternet Sitesi, "Industrial Revolution-From Industry 1.0 to Industry 4.0", Erişim:14.06.2022, <https://www.desouttertools.com/industry-4-0/news/503/industrial-revolution-from-industry-1-0-to-industry-4-0>

⁵⁷ Encyclopædia Britannica, "Industrial-Revolution".

⁵⁸ Desoutter Industrial Tools İnternet Sitesi, "Industrial Revolution-From Industry 1.0 to Industry 4.0".

⁵⁹ Encyclopædia Britannica, "Industrial-Revolution".

⁶⁰ Mokyr J., "Editor's Introduction: The New Economic History and the Industrial Revolution, The British industrial revolution: an economic perspective", s.6.

⁶¹ Perkin H., "The Origins of Modern English Society", Second Edition, Routledge, 2002, s.viii.

⁶² Castells M., "Enformasyon Çağı: Ekonomi, Toplum ve Kültür- Birinci Cilt: Ağ Toplumunun Yükselişi", s.45.

⁶³ Özkan M., Al A., Yavuz S., "Uluslararası Politik Ekonomi Açısından Dördüncü Sanayi-Endüstri Devrimi'nin Etkileri ve Türkiye", Siyasal Bilimler Dergisi, C:1, S:1, s.130, 2018, Erişim:08.11.2020, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ipsus/issue/39175/460135>

şen ikinci devrimin başlangıcı sayılmaktadır.⁶⁴ Bu yöntemde kesilmiş hayvanlar taşıyıcı bantlara asılmakta, bandın ilerlemesiyle sabit duran işçiler hayvanı parçalama görevinin sadece bir kısmını yerine getirmekteydi.⁶⁵ Amerikalı sanayici Henry Ford'un 1913'te "Model T" otomobilini üretmek için bir montaj hattı tasarlamasına kadar, mezbahalardaki bu yenilikçi uygulama başka bir endüstri alanında henüz benimsenmemiştir. Henry Ford, mezbahalardan esinlendiği taşıyıcı bandı otomobil üretimine montaj hattı şeklinde uyarlayarak seri üretimi gerçekleştirmiş, böylece verimlilik artmış ve otomobil fiyatları düşmüştür. Bu atılım otomobil sahipliğini kolaylaştırmakla kalmamış, aynı zamanda montaj hattının, endüstrinin pek çok alanında uygulanabilir olduğunu da göstermiştir. Sonrasında montaj hattına dayalı çalışma şekli ve organizasyonu, üretimi köklü bir şekilde dönüştürerek modern endüstrinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir.⁶⁶

Çelik ve kimya endüstrisinde, içten yanmalı motor ile telgraf ve telefon gibi iletişimde gözlenen sıra dışı gelişmeler bir yana İkinci Sanayi Devriminin asıl itici gücü elektrik olmuştur. Elektriğin 1870'lerden itibaren yaygınlaşması ve buna dayalı olarak elektrik motorunun kullanılması; ulaşımı, iletişimi (telgraf), aydınlatmayı ve fabrikalardaki çalışma düzenini değiştirmiştir. Dolayısıyla fabrikalardaki geniş ölçekli örgütlenmeyi mümkün kılan etken elektrik motoru olmuştur.⁶⁷

Bu dönemde üretim düzenindeki değişimlerin dışında 1837'den itibaren telgrafın yaygınlaşması,⁶⁸ dünyayı geniş bir ölçekte birbirine bağlamıştır.⁶⁹ Telefon ve telgraf gibi iletişim araçlarının daha yoğun kullanımı Üçüncü Sanayi Devrimine zemin hazırlamıştır.⁷⁰

⁶⁴ Capgemini Engineering İnternet Sitesi, "The virtual factory of the future", s.1, Erişim:14.06.2022, https://ignition.altran.com/wp-content/uploads/2017/06/alt-ran_white_paper_virtual_reality_web.pdf

⁶⁵ Desoutter Industrial Tools İnternet Sitesi, "Industrial Revolution-From Industry 1.0 to Industry 4.0".

⁶⁶ Science Encyclopedia, "Assembly Line", Erişim:13.06.2022, <https://science.jrank.org/pages/558/Assembly-Line-History.html>

⁶⁷ Castells M., "Enformasyon Çağı: Ekonomi, Toplum ve Kültür- Birinci Cilt: Ağ Toplumunun Yükselişi", s.48-49.

⁶⁸ 1790'larda deneysel olarak kullanılmaya başlanmıştır. (Kaynak: Castells M., "Enformasyon Çağı: Ekonomi, Toplum ve Kültür- Birinci Cilt: Ağ Toplumunun Yükselişi", s.48.)

⁶⁹ Castells M., "Enformasyon Çağı: Ekonomi, Toplum ve Kültür- Birinci Cilt: Ağ Toplumunun Yükselişi", s.48.

⁷⁰ Özkan M., Al A., Yavuz S., "Uluslararası Politik Ekonomi Açısından Dördüncü Sanayi-Endüstri Devrimi'nin Etkileri ve Türkiye", Siyasal Bilimler Dergisi, C:1, S:1, s.130, 2018, Erişim:08.11.2020, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/463762>

2.3. Üçüncü Sanayi Devrimi

İkinci Sanayi Devriminin sonlarından yaklaşık yüzyıl sonra dünya bir başka sanayi devrimine tanık olmuş, 1950'lerden itibaren Üçüncü Sanayi Devrimi sürecine girmiştir.⁷¹

1971'de mikroişlemcinin⁷² geliştirilmesi elektronik dünyasını, hatta dünyayı değiştirmiştir.⁷³ Böylece mekanik ve analog teknolojiden dijital teknolojiye geçiş hızlanarak yeni bir sanayi devriminin önünü açan teknolojik ilerlemeler yaşanmıştır.⁷⁴ Endüstrideki iki önemli buluş; programlanabilir mantık denetleyicileri⁷⁵ ve robotlar, üst düzey otomasyon çağını açmıştır.⁷⁶ Bilgi teknolojilerindeki gelişmelerin sonucunda kişisel bilgisayarların üretim sürecine dâhil olmasıyla birlikte "bilgisayarlı üretim sistemleri"⁷⁷ kullanılmaya başlanmıştır.⁷⁸ Endüstriyel robotların yaygınlaş-

⁷¹ Institute of Entrepreneurship Development (IED) İnternet Sitesi, "The 4 Industrial Revolutions", 30 Haziran 2019, Erişim:14.06.2022, <https://ied.eu/project-updates/the-4-industrial-revolutions/>; Dünya Ekonomik Forumu (WEF), "What is the Fourth Industrial Revolution?".

⁷² Bilgisayar sistemlerinin temel unsuru olan mikroişlemciler, verileri ve sistemi oluşturan çeşitli birimler arasında bilgi akışı kontrolü işlemlerini tek bir entegre üzerinden gerçekleştirmektedir. (Kaynak: Söylemez S.A., Yenilik Ekonomisinin Temelleri, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 2020, s.81).

⁷³ Castells M., "Enformasyon Çağı: Ekonomi, Toplum ve Kültür-Birinci Cilt: Ağ Toplumunun Yükselişi", s.55.

⁷⁴ Skilton M., Hovsepian F., The 4th Industrial Revolution Responding to the Impact of Artificial Intelligence on Business, Palgrave MacMillan, 2017, s.8-9.; Pereira A.C., Romero F., "A Review of the Meanings and the Implications of the Industry 4.0 Concept", Procedia Manufacturing, C:13, 2017, s.1207.

⁷⁵ Programlanabilir Mantık Denetleyicisi (Programmable Logic Controller): Programlanabilir denetleyiciler, röleler ve elektromekanik adımlama aygıtlarının yerine geçen işlevleri gerçekleştirmek için programlanabilen mikroişlemci tabanlı özel amaçlı bilgisayarlardır. İlk üretilen tasarımların makine denetimi uygulamalarında kullanılması amaçlanmıştır. Bugünkü tasarımlar endüstriyel süreç denetim uygulamalarında da kullanılmaktadır. (Kaynak: Engin D., "Programlanabilir Denetleyici Uygulamaları", T.C. Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu Mekatronik Programı, s.5, Erişim:16.06.2022, https://tec.ege.edu.tr/dersler/PLC_DersNotu.pdf)

⁷⁶ Institute of Entrepreneurship Development (IED) İnternet Sitesi, "The 4 Industrial Revolutions".

⁷⁷ Bilgisayar Sayısal Kontrolü (Computer Numerical Control-CNC), Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design-CAD), Bilgisayar Destekli İmalat (Computer Aided Manufacturing-CAM), Bilgisayar Destekli Süreç Planlama (Computer-Aided Processing Planning-CAPP), Bilgisayarla Bütünleşik İmalat (Computer Integrated Manufacturing-CIM) sistemleri.

⁷⁸ Taymaz E., Dijital Teknolojiler ve Ekonomik Büyüme Raporu, TÜSİAD, İstanbul, 2018, s.23-24, Erişim:15.06.2022, <https://www.tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/10130-dijital-teknolojiler-ve-ekonomik-buyume-raporu>

ması ise esnek üretim sistemlerini mümkün kılmış, artık insan yardımı olmadan üretim süreci otomatikleştirilebilmiştir.⁷⁹

Üçüncü Sanayi Devriminde, özellikle 1990'lı yıllardan sonra cihazların minyatürleşmesi, ucuzlaması ve yaygınlaşması ile iletişim altyapısının gelişmesi ve hızlanmasıyla, insanlar ve endüstriler eşi görülmemiş şekilde birbirine bağlanabilmiş, böylelikle küreselleşme ortaya çıkmıştır. Bu dönemde "menşe ülke" kavramı ortadan kalkmış; herhangi bir ürünün tasarımı bir ülkede gerçekleştirilirken, montajı üçüncü bir ülkede, pazarlanması da bir başka ülkede yapılmaya başlanmıştır.⁸⁰ İnternetin doğuşu, makinelerin birbirleriyle ve insanlarla "konuşmalarını" sağlamış, çevrimiçi ticaret, pazar yerleri ve dijital iş gücü mümkün hale gelmiştir.⁸¹

Elektronik ve bilgi teknolojilerinin üretimde otomasyon için kullanılması ve dijitalleşme, Üçüncü Sanayi Devrimini öncekilerden farklı kılmaktadır.⁸² Birinci ve İkinci Sanayi Devrimlerinde kilit unsur, enerjinin üretimi ve dağıtımı olduğundan, bu dönemler için buhar makinesi, elektrik ve fosil yakıtlar gibi yeni enerji kaynakları ne derece önemliyse Üçüncü Sanayi Devrimi için de bilgi teknolojileri o derece önemli kabul edilmektedir.⁸³ Bu dönemde elektronik, iletişim (telekomünikasyon) ve bilgisayarların yükselişi, yeni teknolojiler aracılığıyla uzay keşiflerinin ve biyoteknolojinin kapılarını aralamış, internet ortaya çıkmış ve bir sonraki sanayi devrimine yani dördüncü sanayi devrimine zemin hazırlanmıştır.⁸⁴

⁷⁹ Desoutter Industrial Tools İnternet Sitesi, "Industrial Revolution-From Industry 1.0 to Industry 4.0".

⁸⁰ Söylemez S.A., Yenilik Ekonomisinin Temelleri, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 2020, s.56.; Skilton M., Hovsepian F., The 4th Industrial Revolution Responding to the Impact of Artificial Intelligence on Business, s.8-9.; Pozdnyakova U.A., Golikov V.V., Peters I.A. vd., "Genesis of the Revolutionary Transition to Industry 4.0 in the 21st Century and Overview of Previous Industrial Revolutions", s.17.

⁸¹ Skilton M., Hovsepian F., The 4th Industrial Revolution Responding to the Impact of Artificial Intelligence on Business, s.8.

⁸² Pereira A.C., Romero F., "A Review of the Meanings and the Implications of the Industry 4.0 Concept", s.1207.; Bilgin O., Dördüncü Sanayi Devrimi ve Türkiye Ekonomisi: Ulusal Yenilik Sistemi Çerçevesinde Bir İnceleme, T.C. Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale, 2018, s.41, Erişim:10.06.2022, <https://acikerisim.kku.edu.tr:8443/xmlui/handle/20.500.12587/15403>

⁸³ Castells M., "Enformasyon Çağı: Ekonomi, Toplum ve Kültür- Birinci Cilt: Ağ Toplumunun Yükselişi", s.40.

⁸⁴ Institute of Entrepreneurship Development (IED) İnternet Sitesi, "The 4 Industrial Revolutions".; Kumar A., Nayyar A., "si3-Industry: A Sustainable, Intelligent, Innovative, Internet-of-Things Industry", A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development içinde, A. Nayyar, A. Kumar ed., Springer Nature 2020, s.4.

2.4. Dördüncü Sanayi Devrimi: Endüstri 4.0

Üçüncü Sanayi Devriminde bilgisayar temelli gelişen ileri teknolojiler ve akıllı sistemler sayesinde daha fazla dijitalleştirilmiş sistemler ve ağ entegrasyonu oluşturulabilmesi ve yeni ileri teknolojilerin endüstriyel üretimde değer yaratması "Dördüncü Sanayi Devrimi" olarak adlandırılan olguyu şekillendirmiştir.⁸⁵

Kimi araştırmacılara göre Endüstri 4.0, Üçüncü Sanayi Devrimiyle ortaya çıkan otomasyonun dijitalleşmeye doğru bir (d)evrimidir.⁸⁶ Öte yandan Endüstri 4.0 ile "ikinci makine çağına" ya da "ikinci bilgi devrimine" girildiği şeklinde kabuller de mevcuttur.⁸⁷ Benzetmeler ne olursa olsun bu yeni sanayi devrimi, bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelerin üretim sistemlerinde meydana getirdiği dijital dönüşümdür.⁸⁸ Daha açık bir ifadeyle, üretim sistemlerinin dijitalleşmesidir. Bu dönüşümü şekillendiren teknoloji artık bilgisayar değil, internettir.⁸⁹

Dünya Ekonomik Forumu kurucusu Klaus Schwab'ın XXI. yüzyılın başlarından itibaren ortaya çıkan yeni teknolojilerin etkisini irdelediği Ocak

⁸⁵ Erboz G., How to Define Industry 4.0: The Main Pillars of Industry 4.0, Managerial Trends in the Development of Enterprises in Globalization Era, 2017, s.761, Erişim:14.06.2022, https://www.researchgate.net/publication/326557388_How_To_Define_Industry_40_Main_Pillars_Of_Industry_40; Müller J.M., Kiel D., Voigt K.I., "What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability", Sustainability, C:10, S:1, 2018, s.1, Erişim:14.06.2022, <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/1/247>; Avrupa Komisyonu, Accelerating the digital transformation of European industry and enterprises, 2016, s.3, Erişim:15.06.2022, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/15856/attachments/1/translations/en/renditions/native>

⁸⁶ Rejikumar G., Raja Sreedharan V., Arunprasad P. vd., "Industry 4.0: Key Findings and Analysis from the Literature Arena", Benchmarking: An International Journal C:26, S:8, 2019, s.2515.

⁸⁷ Brynjolfsson E., McAfee A., "The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies", 2014, W.W. Norton & Co.; Lee M., Yun J.J., Pyka A. vd., "How to Respond to the Fourth Industrial Revolution, or the Second Information Technology Revolution? Dynamic New Combinations between Technology, Market, and Society through Open Innovation", Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, C:4, S:3, 2018, s.3, Erişim:17.06.2022, <https://www.mdpi.com/2199-8531/4/3/21>.

⁸⁸ TÜBİTAK, Yeni Sanayi Devrimi: Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası, 2016, s.1, Erişim:17.06.2022, https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/akilli_uretim_sistemleri_tyh_v27aralik2016.pdf

⁸⁹ Pascual D.G., Daponte P., Kumar U., "Handbook of Industry 4.0 and SMART Systems", CRC Press 2020, s.6.

2016 tarihli “Dördüncü Sanayi Devrimi” adlı kitabının yayımlanmasından itibaren “Dördüncü Sanayi Devrimi” terimi kullanılmaktadır.⁹⁰

Siber fiziksel sistemlerin (*cyber-physical systems*) ortaya çıkışı, Dördüncü Sanayi Devriminin en önemli aşamalarından biri olarak değerlendirilmektedir. Üçüncü Sanayi Devriminde makinelerin ve süreçlerin otomasyonu gerçekleşirken Endüstri 4.0 ile bunlara ilave olarak uçtan uca dijitalleşme sayesinde endüstriyel ekosistemler bütünleşmektedir.⁹¹ Dünya Ekonomik Forumu’na göre önceki sanayi devrimlerine benzer şekilde üretim biçimini değiştirmesi beklenen Dördüncü Sanayi Devriminin ulusal ve küresel ölçekte gelir ve refah düzeyini yükseltme ve yaşam kalitesini iyileştirme potansiyeli mevcuttur.⁹²

Her bir sanayi devrimi bir öncekinden farklı olsa da Endüstri 4.0’ın daha ayrıksı bir devrim olduğu kabul edilmektedir.⁹³ Endüstri 4.0 döneminde üretimi dönüştürecek buluşların ortaya çıkışı ve küresel ölçekte yayılışı önceki sanayi devrimleriyle karşılaştırıldığında çok daha hızlı gerçekleşmektedir. Bununla birlikte henüz başlangıç aşamasındaki bu yeni teknoloji dalgasının yayılması ve etkilerinin belirmesi zaman alacaktır.⁹⁴

Başlangıç tarihi 2011 olarak kabul edilen Endüstri 4.0, önceki sanayi devrimlerinin aksine henüz gerçekleşmeden öngörülen bir devrimdir.⁹⁵ Bir başka ifadeyle Endüstri 4.0 ile birlikte ilk kez bir sanayi devrimi önceden (*a priori*) tahmin edilmiştir. Böylece şirketler, kurumlar ve hükûmetler

⁹⁰ Philbeck T., Davis N., “The Fourth Industrial Revolution: Shaping A New Era”.

⁹¹ Xu L.D., Xu E.L., Li L., “Industry 4.0: State of the Art and Future Trends”, *International Journal of Production Research*, C:56, S:8, 2018, s.2942.

⁹² Dünya Ekonomik Forumu (WEF), “The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond”, Erişim:17.06.2022, <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/?DAG=3>

⁹³ Gunal M.M., “Simulation and the Fourth Industrial Revolution”, *Simulation for Industry 4.0-Past, Present, and Future içinde*, M.M. Gunal ed., Springer, 2019, s.3.

⁹⁴ OECD, “The Next Production Revolution: A Report for The G20”, s.4, Erişim:17.06.2022, <https://www.oecd.org/g20/summits/hamburg/the-next-production-revolution-G20-report.pdf>

⁹⁵ Gunal M.M., “Simulation and the Fourth Industrial Revolution”, s.3.; Hermann M., Pentek T., Otto B., “Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review”, *Technische Universität Dortmund Fakultät Maschinenbau-AudiStiftungslehrstuhl Supply Net Order Management*, Working Paper No. 01/2015, s.11, Erişim:17.06.2022, https://www.researchgate.net/publication/307864150_Design_Principles_for_Industrie_40_Scenarios_A_Literature_Review/link/57cfd2fb08aed6789701cbeb/download

gibi Endüstri 4.0'ın tarafları, geleceği etkin bir biçimde şekillendirebilme imkânı bulmaktadır.⁹⁶

Önceki sanayi devrimlerinde insanların makineleri kontrol etmesi söz konusu iken, bu dönemde özerk makinelerin sürece hâkim olması söz konusudur. Üretimin denetimi artık makinelere geçmektedir.⁹⁷ Endüstri 4.0 döneminde makinelerin "akla ve özerkliğe" kavuşmasıyla üretimde tam bir bütünleşme (entegrasyon) mümkün olmaktadır. Yani Endüstri 4.0'da; işin tasarım, tedarik, üretim ve satış boyutundan dağıtım ve lojistik ile müşteri ilişkileri kısmına kadar bütünleşebilen bir sistem söz konusudur.⁹⁸

⁹⁶ Pascual D.G., Daponte P., Kumar U., "Handbook of Industry 4.0 and SMART Systems", s.3.

⁹⁷ Gunal M.M., "Simulation and the Fourth Industrial Revolution", s.3.

⁹⁸ Ansal H., "'Bilim, Teknoloji ve Toplum' Perspektifinden: Sanayi 4.0", İTÜ Vakfı Dergisi, S:74 Ekim-Aralık 2016, s.14, Erişim:17.06.2022, https://www.ituvakif.org.tr/_files/ugd/8db14c_a8f6cb6daef141e6b941f79eb20a05bc.pdf

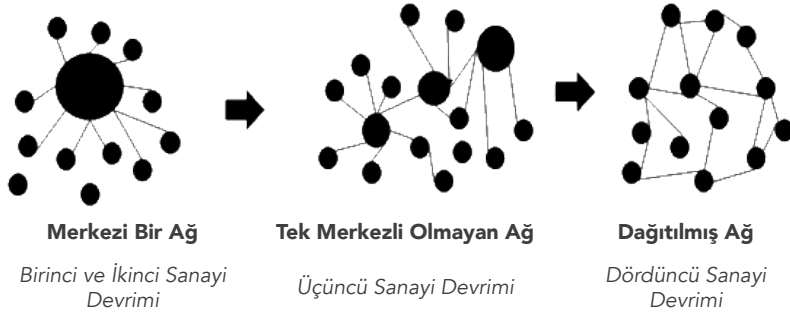
Tablo 1: Endüstriyel Devrimler: Önemli Gelişmelerle Birlikte Sanayinin Evrimi

Birinci Sanayi Devrimi	İkinci Sanayi Devrimi	Üçüncü Sanayi Devrimi Dönem	Dördüncü Sanayi Devrimi
XVIII.yy Sonları	XX.yy Başları	1970-2000'ler	2010 ve Sonrası
Enerji Üretimi	Sanayileşme	Elektronik Otomasyon	Akıllı Otomasyon
Mekanik Dönem	Elektrik Dönemi	Bilgisayar Dönemi	Dijitalleşme Dönemi
- Mekanik dokuma tezgâhının keşfi - Üretim tesislerinin su ve buhar gücü ile mekanizasyonu	1870 yılında mezbahalarda taşıyıcı bandın devreye alınması - Pek çok alanda elektrığe dayalı seri üretime geçilmesi	- İlk programlanabilir mantık denetleyicisinin 1969'da geliştirilmesi - Üretim süreçlerini otomatikleştirmek için artan elektronik ve bilişim teknolojisi uygulamaları	- Siber fiziksel sistemlerin kullanımının giderek artması - Ocak 2011'de Alman Hükûmeti tarafından "Gelecek Projesi" olarak Endüstri 4.0'in başlatılması 2012'de IPv6 sayesinde sınırsız adreslendirme
Çağ Adı			
Buhar Çağı	Elektrik Çağı	Bilgi-Entormasyon Çağı Üretim Teknolojisi	Siber Fiziksel Sistemler Çağı
Buhar ve su, mekanizasyon ve tek görevli işler	Elektrik enerjisi, makine otomasyonu için mekanik kontrol sistemleri, yığın üretim	Elektronik, bilgi ve iletişim teknolojisi, otomotivde robotik kullanımıyla esnek otomasyon, yalın üretim	Elektrik ve yenilenebilir enerji, yazılım platformları, endüstriyel nesnelerin interneti, büyük veri analizi, yapay zekâ, sensörler, endüstriyel robotlar, cobotlar, katmanlı üretim, akıllı üretim

Kaynak: Sniderman B., Mahto M., Cotteleer M.J., Industry 4.0 and manufacturing ecosystems- Exploring the world of connected enterprises, Deloitte İnternet Sitesi, s.4, Erişim:08.06.2022, https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/manufacturing-ecosystems-exploring-world-connected-enterprises/DUP_2898_Industry4.0ManufacturingEcosystems.pdf; Andreoni A., Anzolin G., A Revolution in the Making? Challenges and Opportunities of digital producti- on technologies for developing countries, UNIDO, s.12, 2019, Erişim:08.06.2022, <https://www.unido.org/api/opentext/documents/download/16423347/unido-fi-le-16423347>; Tinmaz H., History of Industrial Revolutions: From Homo Sapiens Hunters to Bitcoin Hunters, s.4-11; Fonseca L.M., Industry 4.0 and the digital society: concepts, dimensions and envisioned benefits, s.390-; Xu L.D., Xu E.L., Li L., "Industry 4.0: state of the art and future trends", s.2943, Erişim:08.06.2022, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2018.1444806>

Birinci ve İkinci Sanayi Devrimlerinde merkezi bir üretim ağı söz konusu iken, Üçüncü Sanayi Devriminde güçlü merkezlerin etkisinin azaldığı, tek merkezli olmayan (çok merkezli) bir üretim ağı ortaya çıkmıştır. Öte yandan Şekil 1’de görüleceği üzere Dördüncü Sanayi Devriminde ise tüm bağlantı noktalarının (paydaşların, unsurların) eşit güce sahip olduğu hiçbir merkezin bulunmadığı dağıtık bir üretim ağı gelişmektedir.⁹⁹

Şekil 1: Sanayi Devrimleri ve Ağ İlişkisi (Üretim Ağları)



⁹⁹ Lee M., Yun J.J., Pyka A. vd., "How to Respond to the Fourth Industrial Revolution, or the Second Information Technology Revolution? Dynamic New Combinations between Technology, Market, and Society through Open Innovation", s.6-7.

III. BÖLÜM: ENDÜSTRİ 4.0

Çalışmanın buraya kadar olan kısmında sanayi devriminin ne olduğu, bugüne kadar yaşanan sanayi devrimleri ve onları ortaya çıkaran dinamikler genel hatlarıyla ele alınmıştır. Daha genel bir ifadeyle çalışmanın bundan önceki bölümünde Dördüncü Sanayi Devrimine yani Endüstri 4.0'a giden sürecin kısa ve öz bir değerlendirmesi yapılmış, Endüstri 4.0'ın daha iyi anlaşılabilmesi için bir altlık sunulmuştur. Bu kısımda ise Endüstri 4.0 konusu çeşitli açılardan ele alınarak konunun özü ortaya konulmaya çalışılacaktır.

1. Endüstri 4.0: Tanımı

Endüstri 4.0 kavramı ilk kez 2011 yılında Almanya'da ortaya çıkmış olup Alman Hükûmetinin, sanayi alanında rekabetçiliğini devam ettirebilmek için geliştirdiği bir hükûmet politikasının ürünüdür. Kavram ilk kez Hannover Ticaret Fuarında duyurulmuş akabinde Almanya'nın İleri Teknoloji Stratejisinin uygulanması için oluşturulan Eylem Planında, Strateji çerçevesinde belirlenen on stratejik girişimden birisi olarak yer almıştır. O dönem gündemde olan Dijital Almanya 2015, Bilgi Teknolojileri Zirvesi, Gömülü Sistemler Yol Haritası gibi programlara entegre bir şekilde hazırlanmış olup teknolojinin yanı sıra ekonomik ve sosyal politikalara da odaklanmaktadır.¹⁰⁰ Hükûmet adına Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı (BMWK) ile Eğitim ve Araştırma Bakanlığı (BMBF) tarafından koordine edilen Endüstri 4.0'ın özel sektörle ortaklıklar yürütülerek ve araştırma camiasını özel sektörle buluşturarak ilerlemesi kurgulanmıştır. Spesifik olarak Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı (BMWK); "akıllı üretim", "insan-makine etkileşimi", "3B" gibi kavramları desteklemeye odaklanırken, Eğitim ve Araştırma Bakanlığı; "akıllı fabrika-

¹⁰⁰ Carvalho N.G.P., Cazarini E.W., "Industry 4.0-What Is It?", Erişim:23.06.2022, <https://www.unido.org/api/opentext/documents/download/11712839/unido-file-11712839>

lar", "gömülü sistemler", "nesnelerin interneti", "sanal gerçeklik" gibi konularda yeni bir gündem oluşturmuştur.¹⁰¹

Endüstri 4.0 pek çok yeni teknolojinin¹⁰² yönlendirdiği yeni bir endüstriyel üretim anlayışını vurgulayan şemsiye bir terimdir.¹⁰³ Yaygın kullanılan bu terim akademi, düşünce kuruluşları, iş dünyası, uluslararası örgütler ve politika yapıcılar arasında farklı algılanmaktadır.¹⁰⁴ Tek bir tanıma sığdırmayacak kadar geniş kapsamlı olduğu için şu ana kadar evrensel olarak benimsenmiş ortak bir tanımı bulunmamaktadır. Otomasyon, fiziksel ve sanal dünya arasındaki bağlantı, bazı yeni ve etkinleştirici teknolojilerin kullanılmaya başlanması, dijitalleşme, internet ve paydaşlarla ilişkilerde ve yönetimdeki değişiklikler Endüstri 4.0'ın ortak unsurları arasında sayılmakla birlikte asıl vurgu yeni teknolojiler, dijitalleşme ve robotlaşma üzerindedir.¹⁰⁵ Kavramı dünyaya tanıtan Almanya'daki Endüstri 4.0 Platformu (*Plattform Industrie 4.0*) Endüstri 4.0'ı; bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanan akıllı makineler ve süreçlerin akıllı ağı olarak tanımlamaktadır.¹⁰⁶ Buna göre; Endüstri 4.0'da modüler yapılandırılmış akıllı fabrikalarda siber fiziksel sistemler, fiziksel süreçleri izler, fiziksel dünyanın sanal bir kopyasını oluşturur ve bağımsız (merkezi olmayan) kararlar verir. Nesnelerin interneti (IoT) üzerinden siber fiziksel sistemler, birbirleriyle ve insanlarla gerçek zamanlı olarak iletişim kurar ve iş birliği yapar. Hizmetlerin interneti (*internet of services-IoS*) aracılığıyla hem dâhilî hem de kurumlar arası hizmetler değer zincirinin katılımcıları tarafından sunulur ve kullanılır.¹⁰⁷

¹⁰¹ Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), "What Can Policymakers Learn from Germany's Industrie 4.0 Development Strategy", s.9.

¹⁰² Siber fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, hizmetlerin interneti, robotlar, büyük veri ve analitiği, bulut bilişim ve artırılmış gerçeklik teknolojileri.

¹⁰³ Pereira A.C., Romero F., "A Review of the Meanings and the Implications of the Industry 4.0 Concept", s.1207.

¹⁰⁴ De Propriis L., Bailey D., "Disruptive Industry 4.0+: Key Concepts", Industry 4.0 and Regional Transformations içinde, L. De Propriis, D. Bailey ed., Routledge New York, Oxon 2020, s.7.

¹⁰⁵ Büchi G., Cugno M., Castagnoli R., "Smart Factory Performance and Industry 4.0", s.3.; Maresova P., Soukal I., Svobodova L. vd., "Consequences of Industry 4.0 in Business and Economics", Economies, C:6, S:3, 2018, s.2, Erişim:08.06.2022, <https://www.mdpi.com/2227-7099/6/3/46/html>

¹⁰⁶ Endüstri 4.0 Platformu, "What is Industrie 4.0?", Erişim:17.06.2022, <https://www.platform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html>

¹⁰⁷ Hermann M., Pentek T., Otto B., "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review", s.11.

Endüstri 4.0; değer zinciri organizasyonu teknolojileri ve kavramları için ortak kullanılan bir terim olup "üretimle ilişkin yeni bir yaklaşım ve merkezi olmayan yapılar lehine, geleneksel merkezi kontrol yapılarındaki değişiklikleri içeren bir paradigma" olarak tanımlanmaktadır.¹⁰⁸

Yukarıdaki tanımların yanı sıra farklı yaklaşımların bir neticesi olarak Endüstri 4.0 farklı şekillerde de tanımlanmaktadır. Bunlardan bazıları şöyledir:

- Siber fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, bulut bilişim ve bilişsel bilgi işlem ve akıllı fabrikayı oluşturma dâhil olmak üzere üretim teknolojilerinde otomasyon ve veri alışverişinin mevcut trendidir.¹⁰⁹
- Nesnelerin interneti gibi yeni siber-fiziksel teknolojileri bünyesine katarak üretimde özerk (dağıtılmış) karar vermeyi sağlayan dijitalleştirilmiş, entegre ve akıllı değer zincirlerine doğru bir paradigma değişimidir.¹¹⁰
- Makine baskın üretimden pek çok yeni ve gelişmekte olan teknolojiyi kullanarak dijital üretime geçen, mevcut üretimde devrim yapan bir metodolojidir.¹¹¹
- Sadece nesnelerin interneti, bulut bilişim ve 3B yazıcılar gibi teknolojik bazı araç gereçlerden ibaret olmayan, aynı zamanda insanın eğitilmiş ve girişimci olduğu, inovasyonun ön planda yer aldığı, dijitalleşmenin tüm iş süreçlerine dağıtıldığı geniş ve büyük kapsamlı bir yaklaşımdır.¹¹²

¹⁰⁸ Hermann M., Pentek T., Otto B., "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review", s.11.; Yüksel H., Basmacı G., Genç S., "Evaluation of the Challenges of Companies in Industry 4.0 Transformation by GRA Method", Digital Conversion on the Way to Industry 4.0 içinde, N.M. Durakbasa, M. G. Gençyılmaz ed., 24-26 Eylül 2020, Springer 2021, s.312, Erişim:17.06.2022, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-62784-3_26

¹⁰⁹ I-Scoop İnternet Sitesi, "Industry 4.0 and the Fourth Industrial Revolution Explained".

¹¹⁰ Avrupa Birliği Siber Güvenlik Ajansı (ENISA), Good Practices for Security of Internet of Things in the context of Smart Manufacturing, Kasım 2018, s.12, Erişim:17.06.2022, <https://www.enisa.europa.eu/publications/good-practices-for-security-of-iiot/@download/fullReport>

¹¹¹ Öztemel E., Gürsev S., "Literature Review of Industry 4.0 and Related Technologies", Journal of Intelligent Manufacturing, C:31, S:1, 2018, s.128, Erişim:17.06.2022, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10845-018-1433-8>

¹¹² Öztemel E., Gürsev S., "Türkiye'de Lojistik Yönetiminde Endüstri 4.0 Etkileri ve Yatırım İmkanlarına Bakış Üzerine Anket Uygulaması", Marmara Fen Bilimleri Dergisi, C:30, S:2, 2018, s.152.

ründe kullanılan sürüm adlandırma yönteminin tercih edilmesidir.¹¹⁵ Bu yönüyle kavramın adlandırılış şekli, içinde bulunan yeni sanayi devrinin ruhunu yansıtmaktadır.

2. Endüstri 4.0'ı Hazırlayan Etkenler ve Endüstri 4.0'ın Ortaya Çıkışı

Endüstri 4.0, son yıllarda endüstriyel sektörde dünya çapında yaşanan teknolojik gelişmelerden kaynaklanan yeni bir olgudur.¹¹⁶ Endüstri 4.0 birdenbire değil, önceki sanayi devrimlerinde olduğu gibi teknolojik gelişmelerin ve bilimsel birikimin belli bir olgunluğa erişmesiyle ortaya çıkmıştır. Teknolojik gelişmelerin yanı sıra özellikle gelişmiş ülkelerde yaşanan ekonomik ve sosyal zorluklar da Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışında etkili olmuştur. Endüstri 4.0'ı ortaya çıkaran etkenler aşağıda başlıklar halinde incelenmektedir.

2.1. Teknolojik Etkenler

Endüstri 4.0, geniş anlamıyla Dördüncü Sanayi Devrimi, 2000'lerin başından itibaren yaşanan büyük teknolojik ilerleme ile Üçüncü Sanayi Devrimine ait birikimin üzerine inşa edilmiştir.¹¹⁷ Mikroelektronik alanındaki ilerlemeler sonucunda mikroişlemcilerin kullanıldığı kişisel bilgisayarlar kitlesel ölçekte üretilmeye başlanmıştır. Yazılım alanında da benzeri bir yaygınlaşma gözlemlenmiş; yazılımlar da kitlesel olarak üretilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca, 1970'lerin sonlarından itibaren mikroişlemcilere dayalı otomasyon yöntemleriyle üretim sürecinin bütünlüklü otomasyonu sağlanmış, kişisel bilgisayarlar üretim sürecine dâhil edilmiştir.¹¹⁸ Bilgisayar ve elektronik teknolojisindeki gelişmeler, iletişimdeki gelişmeyi de beraberinde getirmiştir. Mobil telefon sistemleri ile veri sıkıştırma teknolojisinde ilerlemeler yaşanmış, fiber optik hatlar iletişimin hızını arttırmıştır. 1990'larda bilgisayarların birbirine bağlanmasıyla küresel bilgisayar

¹¹⁵ Selfbits İnternet Sitesi, "Why Industry 4.0?", Erişim:16.06.2022, <https://selfbits.de/en/learn/digital-production-industry-4-0/>

¹¹⁶ Koh L., Orzes G., Jia F., "The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): Technologies Disruption on Operations and Supply Chain Management", International Journal of Operations & Production Management, C:39, S:6/7/8, s.818, Erişim:16.06.2022, <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJOPM-08-2019-788/full/html>

¹¹⁷ Proctoohr M., Wilkins J., "4.0 sight-Digital industry around the World", s.5.

¹¹⁸ Taymaz E., Dijital Teknolojiler ve Ekonomik Büyüme Raporu, s.23-24.

ağı olan internet ortaya çıkmıştır.¹¹⁹ Güçlü, özerk mikrobilgisayarların (gömülü sistemler) giderek birbirleriyle ve internet ile kablosuz olarak ağ bağlantısı kurabilmesi fiziksel dünyanın ve sanal dünyanın (siber uzay) siber fiziksel sistemler şeklinde yakınlaşmasıyla sonuçlanmıştır.¹²⁰ Yeni bir internet protokolü olan IPv6'nın¹²¹ 2012 yılında uygulanmaya başlanması Endüstri 4.0 için önemli bir kilometre taşı sayılmaktadır.¹²² O günlerde cihazların internete bağlanması için gerekli olan IP adresleri tükenme aşamasına gelmişken IPv6'ya geçiş ile sorun çözülerek neredeyse tüm fiziksel nesnelerin adreslendirilerek internete bağlanabilmesinin önü açılmıştır.¹²³ Böylece ilk kez ağ kaynakları, bilgi, nesneler ve insanlar arasında internet bağlantısı kurulması mümkün olmuştur. İmalat sanayiinin yeni üretim fırsatlarını keşfetmesi uzun sürmemiş, bu teknolojik gelişmeler daha sonra sanayileşmenin dördüncü aşaması veya Endüstri 4.0 olarak ortaya çıkmıştır.¹²⁴

2.2. Ekonomik ve Sosyal Etkenler

2000'li yıllardan itibaren XX. yüzyılın gelişmiş ekonomilerinde imalat sanayiinin gayri safi yurt içi hasıladaki payı azalmış, zamanla bu ekonomiler bir hizmet ekonomisine dönüşürken, üretim bu ülkelerden ucuz iş gücünün bulunduğu başta Asya olmak üzere üçüncü dünya ekonomilerine kaymıştır. Bir başka deyişle sanayi üretimi As-

¹¹⁹ Taymaz E., Dijital Teknolojiler ve Ekonomik Büyüme Raporu, s.24-25.

¹²⁰ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industry 4.0, April 2013, s.13.

¹²¹ İnternet'e bağlanan tüm cihazlar IP adresine ihtiyaç duymaktadır. İnternet'in yaygınlaşması ve gelişen teknoloji sonrasında bu adresler hızlı bir şekilde tüketilmiştir. İnternet tarihinde, merkezi havuzda kalan son IPv4 IP bloklarının dağıtımıyla kritik bir noktaya gelinmiştir. IPv6 ile neredeyse sınırsız sayıda farklı IP adresi sağlanmaktadır. (Kaynak: ODTÜ, "IPv6 Nedir?", Erişim:20.06.2022, https://ipv6.metu.edu.tr/ipv6_nedir.html)

¹²² Sniderman B., Mahto M., Cotteleer M.J., "Industry 4.0 and Manufacturing Ecosystems-Exploring the World of Connected Enterprises", s.4.

¹²³ ODTÜ, "IPv6 Nedir?"; ODTÜ, "Türkiye İnternet'inin 10. Yaşını Doğduğu Yerde," "ODTÜ'de", Kutladık...", Erişim:20.06.2022, <http://www.internetarsivi.metu.edu.tr/10yil.php>; Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (UNIDO), Industry 4.0-Opportunities Behind the Challenge Background Paper, 2018, s.9, Erişim:20.06.2022, https://www.unido.org/sites/default/files/2017-11/UNIDO%20Background%20Paper%20on%20Industry%204.0_27112017.pdf

¹²⁴ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industry 4.0, s.13.

yalılaşmış, nihayetinde gelişmiş ülkelerin imalat sanayi ürünlerinde küresel rekabet gücü azalmıştır.¹²⁵ Öte yandan Avrupa ülkeleri de dâhil olmak üzere birçok gelişmiş ülkede yaşam süresinin uzaması, doğurganlığın azalması ve nüfusun yaşlanması gibi demografik eğilimlerin iş gücüne yansması bazı toplumsal sorunlara neden olmuştur.¹²⁶ Gelişmiş ülkeler yaşanan bu toplumsal sorunları çözmek, endüstrilerini daha rekabetçi ve etkili hale getirmek için teknolojik imkânlardan faydalanarak üretimde dönüşümü¹²⁷ amaçlamışlardır.¹²⁸ Söz konusu bu dönüşümün, ülkelerin ve şirketlerin küresel pazardaki konumlarını etkilemesi nedeniyle ülkeler endüstriyi yeniden canlandırma (*re-industrialisation/revitalization*) planlarını¹²⁹ uygulamaya koymuş, bu doğrultuda çeşitli girişimler başlatmışlardır.¹³⁰ Bu girişimlerin neticesi olan Endüstri 4.0, dünyanın doğusuna kayan üretimle rekabet edebilmek, verimliliği ve Almanya'nın küresel pazardaki rekabet gücünü artırmak için yüksek teknolojiye dayalı sa-

¹²⁵ Yeldan E., Yıldırım D., "Türkiye'de Devlet, Demokrasi ve Toplumda Vasatlıkla Yüzleşme ve Bundan Çıkış Yolları", İstanbul Sanayi Odası 12.Sanayi Kongresi için Hazırlanmış olan Çalıştay Raporu, 2014, s.5, Erişim:22.06.2022, https://bilimakademisi.org/wp-content/uploads/2014/02/ISO2014_YeldanYildirim_v2_Sub07.pdf; Yalçinkaya S., "Sanayi 4.0. Nedir?" Sanayi 4.0-Teknolojik Alanları ve Uygulamaları içinde, K. Çetinkaya, P. Demircioğlu, K. Özsoy, B. Duman ed., PEGEM Yayınevi, s.5.

¹²⁶ Kuo C.C., Shyu J.Z., Ding K., "Industrial revitalization via industry 4.0-A Comparative Policy Analysis among China, Germany and the USA", *Global Transitions*, C:1, 2019, s.3, Erişim:22.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589791819300039>; Horváth D., Szabó R.Z., "Driving Forces and Barriers Of Industry 4.0: Do Multinational and Small and Medium-Sized Companies Have Equal Opportunities?", *Technological Forecasting and Social Change*, C:146, 2019, s.120-121, Erişim:22.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162518315737>

¹²⁷ Bu projelerin amacı özellikle endüstriyel nesnelerin internetini uygulamak veya Almanya'daki adlandırmayla Endüstri 4.0'ı geliştirmek ve uygulamaktır. (Kaynak: Rojko A., "Industry 4.0 Concept: Background and Overview", s.77.)

¹²⁸ Safar L., Sopko J., Bednar S. vd., "Concept of SME Business Model for Industry 4.0 Environment", *Technology, Education, Management, Informatics Journal*, C:7, S:3, August 2018, s.627, Erişim:22.06.2022, https://www.temjournal.com/content/73/TemJournalAugust2018_626_637.html

¹²⁹ 2014 yılında, ABD Kongresi ülkedeki inovasyon enstitülerinin girişimlerini bir ağ kurarak bir araya getirmek için Amerikan İmalatını ve İnovasyonu Canlandırma Yasasını (RAMI) onaylamıştır. (Kaynak: Springer M., Schnelzer J., Differentiation of Industry 4.0 Models-The 4th Industrial Revolution from different Regional Perspectives in the Global North and Global South, *Regional Academy on the United Nations*, Viyana 2019, s.19, Erişim:10.06.2022, http://www.ra-un.org/uploads/4/7/5/4/47544571/1_unido_differentiation_of_industry_4.0_models.pdf)

¹³⁰ Kuo C.C., Shyu J.Z., Ding K., "Industrial revitalization via industry 4.0-A comparative policy analysis among China, Germany and the USA", s.3.; Rojko A., "Industry 4.0 Concept: Background and Overview", *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, s.78.

nayi stratejisi (*Industrie 4.0*) olarak ortaya çıkmıştır.¹³¹ Bu stratejinin Almanya’da ortaya çıkmasında dünyanın en rekabetçi imalat sanayilerinden birine sahip olan ve imalat sanayiinde küresel lider olarak görülen Almanya’nın güçlü makine ve imalat endüstrisi, bilgi ve iletişim teknolojileri altyapısı, gömülü sistemler ve otomasyon mühendisliğindeki bilgi birikiminin itici güç olduğu da söylenmektedir.¹³²

3. Endüstri 4.0’ın Temelleri

Endüstriyel süreçlerin kontrolünü, devamlılığını ve güvenliğini sağlayan endüstriyel kontrol sistemleri “operasyonel teknolojiler” (*operational technologies-OT*)¹³³ olarak adlandırılmaktadır.¹³⁴ Gelecekte operasyonel teknolojilerin ortamları genellikle kapalı ağlar şeklinde iken cihazların birbirine bağlanabilmesi sayesinde operasyonel teknoloji ortamları internet üzerinden erişilebilir ve bağlanabilir hale gelmekte ve cihazlardan veri işlenmesi kolaylaşmaktadır.¹³⁵ Endüstri 4.0’da operasyonel teknolojiler ile bilgi teknolojilerinin birlikteliği sayesinde imalatın her aşaması dijital sistemlerle yürütül-

¹³¹ Ulusoy T., Yasar E., Aktan M., “Impact of Industry 4.0 Revolution on Science, Technology, and Society (STS): Challenges and Opportunities in the Industry 4.0 Era”, Research Anthology on Cross-Industry Challenges of Industry 4.0, C:1 içinde, H. Christina Lum ed., IGI Global 2019, s.2.; Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B. vd., “Industry 4.0 and Industry 5.0-Inception, Conception and Perception”, Journal of Manufacturing Systems, C:61, 2021, s.532, Erişim:22.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612521002119>

¹³² Bartodziej C.J., “The Concept Industry 4.0-An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics”, Springer Gabler, 2017, s.32.

¹³³ Operasyonel Teknolojiler: Bir işletmedeki fiziksel cihazlar, işlemler ve olayların doğrudan izlenmesi ve/veya kontrolü yoluyla, bir değişikliği algılayan veya değişikliğe yol açan donanım ve yazılım sistemleridir. Bu sistemler, cihazları, süreçleri, işlemleri izler, denetler ve yönetir. Endüstriyel kontrol sistemleri, bina yönetim sistemleri, yangın kontrol sistemleri, enerji şebekeleri vb. örnekler arasında sayılabilir. (Kaynak: ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), “Operational Technology”, Erişim:22.06.2022, https://csrc.nist.gov/glossary/term/operational_technology; Türkiye Makine İhracatçıları Birliği, “Dijital Terimler Kılavuzu”, Erişim:23.06.2022, <https://www.digital-glossary.com/terim205-operasyonel-teknoloji>)

¹³⁴ Ernst & Young Türkiye İnternet Sitesi, “OT ve IoT Siber Güvenlik Değerlendirmesi Raporu”, s.4., Erişim:23.06.2022, https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/tr_tr/pdf/2020/11/ot-ve-iot-sistemlerin-ne-olcude-guvenli.pdf

¹³⁵ Ernst & Young Türkiye İnternet Sitesi, “OT ve IoT Siber Güvenlik Değerlendirmesi Raporu”, s.4.

mektedir.¹³⁶ Değer zincirindeki¹³⁷ tüm bileşenlerin gerçek zamanlı ve özerk olarak eşleşmesi, iletişim kurabilmesi ve üretim süreçlerinin elde edilen bilgilere dayalı olarak organize edilmesi Endüstri 4.0'ın temel özelliklerindendir.¹³⁸ Üretim hattında bulunan akıllı ve kendi kendini optimize eden makineler, tedarikçilere sipariş vermekten müşterilere ürün teslimatına kadar tüm değer zinciriyle eşleşmekte, iletişime geçmekte ve bütünleşmektedir.¹³⁹ Sonuç olarak, üretim sistemleri, fabrikalar ve işletmeler hem kendi içindeki iş süreçleriyle dikey şekilde hem de gerçek zamanlı yönetilebilen mekânsal açıdan dağınık haldeki değer zincirindeki ağlara yatay şekilde bağlanabilmektedir.¹⁴⁰

¹³⁶ Gajdzik B., Grabowska S., Saniuk S., "A Theoretical Framework for Industry 4.0 and Its Implementation with Selected Practical Schedules", *Energies* C:14, S:4, 2021, s.1, Erişim:23.06.2022, <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/4/940>; Öztemel E., "Endüstri 4.0 ve Yapay Zekâ", s.81.

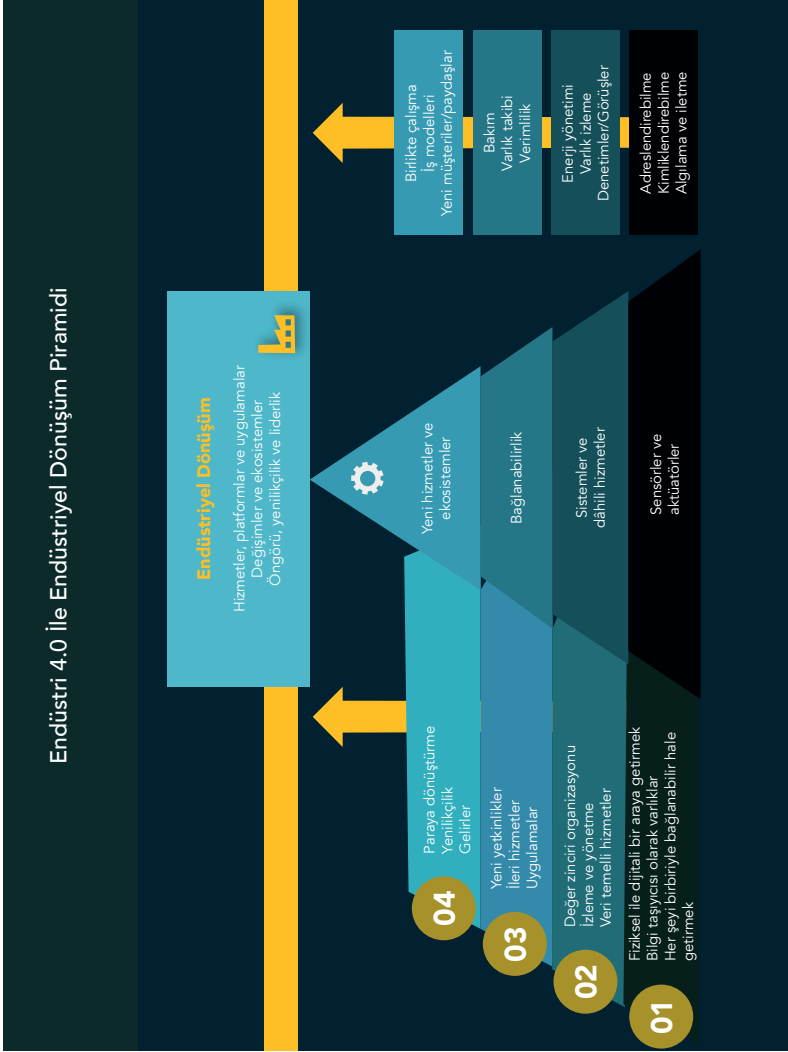
¹³⁷ Değer zinciri (value chain), bir hizmet veya ürünün, fikir ve tasarım aşamasından itibaren birçok üretim sürecinden geçerek (fiziksel değişim ve birçok değişik üretici hizmetlerinin katkısını da içermek üzere) nihai tüketiciye erişimine ve kullanım sonrasına dek bir parçası olduğu tüm operasyonları açıklayan, değer yaratan birbirine bağlı etkinlikler setidir. Değer zincirinin amacı maliyetleri olabildiğince en optimal seviyeye indirmek ve müşteriye yönelik sunulan hizmet veya üründen kaynaklanan değeri en yüksek düzeye ulaştırmaktır. Değer zincirinde ana etkinlikler şu sırayı izlemektedir: Fikir, tasarım ve hammaddeyle başlar, üretim ve pazarlama, satış ve dağıtım ile devam eder, en son aşamada kullanıcıya ulaşır ve geri dönüşüme gider. (Kaynak: Eraslan İ.H., Helvacioğlu Kuyucu A.D., Bakan İ., "Değer Zinciri (Value Chain) Yöntemi İle Türk Tekstil ve Hazırgiyim Sektörünün Değerlendirilmesi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi* C:10, S:2, 2008, s.3, Erişim:20.06.2022, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/akuiibfd/issue/1628/20412>; T.C. Ekonomi Bakanlığı, "Kümeler İçin Değer Zinciri Yönetimi Kılavuzu", s.19-20, Erişim:20.06.2022, http://www.urge.gov.tr/userfiles/pdf/UR-GEProjeHazirlamaVeUygulamaKilavuzu_Web.pdf; Alphan C., Özcan D., "Modern Maliyetleme Sürecinde Değer Zinciri Yaklaşımı", *Fırat Üniversitesi İİBF Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, C:3, S:2, 2019, s.4, Erişim:20.06.2022, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/fuiibfd/issue/51484/668180>

¹³⁸ KPMG İnternet Sitesi, "Sanayi 4.0", Kasım 2015, s.1, Erişim:21.06.2022, <https://home.kpmg/content/dam/kpmg/tr/pdf/2016/08/tr-sanayi-4.PDF>; Avrupa Parlamentosu, *Industry 4.0*, 2016, s.20, Erişim:17.06.2022, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU\(2016\)570007_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU(2016)570007_EN.pdf)

¹³⁹ Sanders A., Elangeswaran C., Wulfsberg J., "Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing", *Journal of Industrial Engineering and Management*, C:9, S:3, 2016, s.816, Erişim:17.06.2022, <http://www.jiem.org/index.php/jiem/article/view/1940>

¹⁴⁰ Avrupa Parlamentosu, *Industry 4.0*, s.20.

Şekil 2: Endüstri 4.0'ın İşleyişi



Kaynak: I-Scoop internet Sitesi, "Industry 4.0 and the fourth industrial revolution explained".

Endüstri 4.0 ile üretim sürecinde fabrikalardaki makineler, bilgisayarlar, sensörler ve diğer cihazlar birbirleriyle bilgi alışverişinde bulunacak, gerçek zamanlı ve anlık veri takibi ile ürünün durumu, konumu ve üretim süreci kontrol edilebilecektir.¹⁴¹ Birbirleriyle haberleşen, sensörlerle ortamı algılayabilen ve veri analizi yaparak ihtiyaçları fark edebilen robotlar ve akıllı makineler, insanlarla birlikte veya bağımsız olarak kendi kendilerini yönlendirerek üretim yapabilecektir.¹⁴² Ayrıca fabrikalar ve tedarik zincirleri, ürünler ile üretim kapasiteleri gelişmiş ağ ve bilişim teknolojileri aracılığıyla daha önce gerçekleşmemiş bir şekilde daha fazla birbirine bağlanmaktadır.¹⁴³ Böylelikle üretim dünyası devasa bir bilgi sistemi haline gelecektir.¹⁴⁴

Endüstri 4.0'ın imalat sistemi; zekâ, iletişim, bilgi ağı ve ürün dörtlüsünün odağında şekillenmektedir. İmalatın her aşaması dijital sistemlerle yürütüldüğü için Endüstri 4.0 bir dijital dönüşüm hareketi olarak da anılmakta, bir başka deyişle dijital üretim vizyonu olarak değerlendirilmektedir.¹⁴⁵

Eğilmez'e göre Endüstri 4.0'ın üç temel amacı bulunmaktadır: i) Üretimde insan emeğinin en aza indirilmesi ve böylece üretimdeki hataların ortadan kaldırılması, ii) üretimin en üst düzeyde esnekliğe kavuşturulması ve bu yolla tüketiciye özel ürün yapabilme imkânının elde edilmesi ve iii) üretimin hızlandırılmasıdır.¹⁴⁶ Bir küresel danışmanlık şirketinin çalışmasında ise Endüstri 4.0'ın hedefleri; strateji, organizasyon ve süreçler olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Söz konusu çalışmanın ortaya koyduğu hedefler Tablo 2'de sunulmuştur.

¹⁴¹ Ege B., "Endüstri Devrimi Kapıda mı?", TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, 2014 S:558, Mayıs 2014, s.27, Erişim:17.06.2022, https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/biltek_arsiv/S-558-26.pdf; Vaidya S., Ambad P., Bhosle S., "Industry 4.0-A Glimpse", Procedia Manufacturing, C:20, 2018, s.234, Erişim:17.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918300672>

¹⁴² Yıldız A., "Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, C:22, S:2, 2018, s.546, Erişim:20.04.2022, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/441614>; Ege B., "Endüstri Devrimi Kapıda mı?", s.27.

¹⁴³ ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), "Advanced Manufacturing Technology Services/Industry 4.0", Erişim:20.06.2022, <https://www.nist.gov/mep/advanced-manufacturing-technology-servicesindustry-40>

¹⁴⁴ KPMG İnternet Sitesi, Sanayi 4.0, Kasım 2015, s.1.

¹⁴⁵ Öztemel E., "Endüstri 4.0 ve Yapay Zekâ", s.81; Buhr D., "Social Innovation Policy for Industry 4.0", s.4.

¹⁴⁶ Eğilmez M., "ENDÜSTRİ 4.0", Muhasebe ve Finans Tarihi Araştırmaları Dergisi, S:15, Temmuz 2018, s.268, Erişim:21.06.2022, <https://dergipark.org.tr/tr/download/issue-full-file/37137>

Tablo 2: Endüstri 4.0'ın Hedefleri

Strateji	• Dijitalleştirilmiş ürünler aracılığıyla yeni iş modelleri ve hizmetler • Müşteri taleplerini hızla karşılamak için pazara sunma süresinin kısaltılması • Müşterilerin değişken ihtiyaçlarına karşılık esnekliğin artırılması
Organizasyon	• İş-yaşam dengesinin iyileştirilmesi sonucu iş kalitesinin artırılması • Rutin işlerin otomasyonu sonucunda görevlerin farklılaştırılması • İnsan-makine etkileşimi sayesinde kullanıcı odaklı çalışma ortamı oluşturulması
Süreçler	• Daha verimli ve daha belirgin üretim süreçleri sayesinde zamandan tasarruf edilmesi • Dinamik planlama, kontrol ve yürütme yoluyla daha yüksek esnekliğin sağlanması • Kişiselleştirilmiş ürünlerde daha yüksek üretim ve kaynak verimliliği sağlanması • Akıllı analiz yöntemleriyle teslim sürelerinin kısaltılması • Mobil süreç kontrolü ve yürütme yoluyla farklı iş organizasyonu yapılabilmesi

Kaynak: Deloitte University Press, Industry 4.0-Is your ERP system ready for the digital era?, s.8, Erişim:05.08.2022, https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/technology/Deloitte_ERP_Industrie-4-0_Whitepaper.pdf

3.1. Endüstri 4.0'ın Bileşenleri ve İlkeleri

Bakış açılarının ve amaçların farklılığı ile konunun karmaşıklığı hem akademide hem de sanayi sektöründe Endüstri 4.0'ın anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Hermann, Pentek ve Otto'nun kapsamlı araştırması bu açıdan yol göstericidir. Söz konusu çalışmada literatürde Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri ve ilkelerinde ortak hususlar incelenerek yaygın kabul gören sonuçlara ulaşılmış ve Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinin dört ana başlıkta, ilkelerinin ise altı ana başlıkta toplandığı bir çalışma ortaya konmuştur.¹⁴⁷ Bu çalışmada da konu, genel itibarıyla Hermann, Pentek ve Otto'nun araştırmasının sonuçları üzerinden ele alınmaktadır.

¹⁴⁷ Hermann M., Pentek T., Otto B., Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review, s.8-10.

3.1.1. Endüstri 4.0'ın Bileşenleri

Endüstri 4.0'ı anlamak için onun temel bileşenlerini tanımak gerekmektedir. Endüstri 4.0'ın ana bileşenleri; i) siber fiziksel sistemler, ii) nesnelerin interneti, iii) hizmetlerin interneti ve iv) akıllı fabrika olmak üzere dört başlıkta toplanmıştır.¹⁴⁸ Söz konusu bileşenler arasına 5G teknolojisini¹⁴⁹ dâhil edenler de bulunmaktadır.¹⁵⁰ Aşağıda bu bileşenler ele alınmaktadır.

Siber Fiziksel Sistemler: Dördüncü Sanayi Devriminin en devrimci yeniliklerinden biri olarak nitelendirilen siber fiziksel sistemler,¹⁵¹ teknik açıdan Endüstri 4.0'ın temeli ve en kritik bileşeni olarak kabul edilmektedir.¹⁵² Endüstri 4.0 denince akla gelen nesnelerin interneti, büyük veri, bulut bilişim ve akıllı sistemler gibi önemli teknolojiler siber fiziksel sistemler bünyesinde birleşmektedir.¹⁵³ Akıllı fabrikanın ana unsuru olan siber fiziksel sistemler hâlen endüstriyel kontrol sis-

¹⁴⁸ Hermann M., Pentek T., Otto B., Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review, s.8-10.

¹⁴⁹ 5G Teknolojisi (Beşinci Nesil Mobil Haberleşme): Mobil haberleşme teknolojilerinin gelişimleri incelendiğinde, 2G teknolojisinin ses haberleşmesini sağladığı, 3G teknolojilerinde odağın ses haberleşmesi ve aynı zamanda internet bağlantısını sağlamak olduğu, 4G teknolojilerinde ise video aktarımı gibi servisleri yaygın ve hızlı şekilde sağlayabilecek yüksek kapasiteyi kullanıcılara verebilmek olduğu görülmektedir. 5G'ye gelindiğinde ise temel odağın dikey sektörler olduğu görülmektedir. Bu anlamda, 5G tekil kullanıcılara haberleşme hizmetini sağlamanın yanı sıra farklı alanlardaki uygulamalara da yüksek hız, düşük gecikme ve yoğun bağlantı kapasitesi ile altyapı imkânı sağlayabilmektedir.

¹⁵⁰ Roblek V., Erenda I., Mesko M., "Fundamental Changes in the Organisational Processes Industry 4.0 Case Study", Industry 4.0-Challenges, Trends, and Solutions in Management and Engineering içinde, C. Machado, J. P. Davim ed., CRC Press 2020, s.161.

¹⁵¹ Siber-fiziksel sistem terimi ilk defa 2006 yılında Amerikan Ulusal Bilim Vakfı'nda (NSF) mühendislik perspektifinden siber ile fiziksel dünya arasındaki sıkı işbirliğini tanımlamak için ortaya atılmıştır. (Kaynak: Yin D., Ming X., Zhang X., "Understanding Data-Driven Cyber-Physical-Social System (D-CPSS) Using a 7C Framework in Social Manufacturing Context", Sensors, C:20, S:18, 2020, s.2, Erişim:21.06.2022, <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/18/5319>)

¹⁵² Xu L.D., Xu E.L., Li L., "Industry 4.0: State of the Art and Future Trends", s.2942.; Lee M., Yun J.J., Pyka A. vd., "How to Respond to the Fourth Industrial Revolution, or the Second Information Technology Revolution? Dynamic New Combinations between Technology, Market, and Society through Open Innovation", s.13.; Duan L., Xu L.D., "Data Analytics in Industry 4.0: A Survey", Information Systems Frontiers 2021, s.1.

¹⁵³ Jain R., "Challenges and Applications of Cyber Physical Systems", Design, Applications, and Maintenance of Cyber-Physical Systems içinde, P. Rea, E. Ottaviano, J. Machado, K. Antosz ed., IGI Global Hershey, 2021, s.1.

temleri (SCADA¹⁵⁴ vb.), akıllı şebeke sistemleri, tıbbi cihazlar, akıllı ve özerk araçlar, havacılık, savunma, nesnelerin interneti, robotlar gibi pek çok farklı alanda kullanılmaktadır.¹⁵⁵

Adından da anlaşılacağı üzere siber fiziksel sistemlerde siber (sanal/dijital) ve fiziksel üretim süreçleri birleşmektedir.¹⁵⁶ Bununla birlikte “insan” da bu sürecin bir parçasıdır. Endüstri 4.0’da üretim için siber fiziksel sistemler açısından üç etkili bileşenden söz edilebilir: insan bileşeni, siber bileşen ve fiziksel bileşen. İnsan-siber, siber-fiziksel ve insan-fiziksel arayüzleri ile bileşenlerin tümü siber fiziksel sistemler bünyesinde birleşik bir sisteme dönüşmektedir.¹⁵⁷

¹⁵⁴ Türkçe denetleyici gözetim ve veri toplama sistemi olarak adlandırılan SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemi, su ve atık kontrolü, telekomünikasyon, enerji, ulaşım ve petrol ve gaz rafinasyonu gibi sektörlerde ekipmanı ya da bir tesisi kontrol etmek ve izlemek üzere kullanılan endüstriyel kontrol sistemleridir. SCADA, gerçek zamanlı verileri toplamak, analiz etmek ve operatörlere sunmak için kullanılan bir bilgisayar sistemidir. SCADA, tehlikeli durumlarda sesli alarmlarla bildirimler verir. (Kaynak: Bonnaud S., Didier C., Kohler A., “Endüstri 4.0 ve Kognitif Üretim Mimari Modeller, Kullanım Örnekleri ve IBM Çözümleri”, s.8, Erişim:21.06.2022, <https://www.ibm.com/downloads/cas/RJGK5E60>)

¹⁵⁵ I-Scoop İnternet Sitesi, “Industry 4.0 and the Fourth Industrial Revolution Explained”.; Tyagi A.K., Sreenath N., “Cyber Physical Systems: Analyses, Challenges and Possible Solutions”, Internet of Things and Cyber-Physical Systems, C:1, 2021, s.23, Erişim:21.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667345221000055>; Rea P., Ottaviano E., Machado J. vd., “Preface”, Design, Applications, and Maintenance of Cyber-Physical Systems, IGI Global Hershey 2021, s.xiv.

¹⁵⁶ Automate İnternet Sitesi, “Industry 4.0 Defined: 4 Core Components”, Erişim:21.06.2022, <https://www.automate.org/editorials/industry-4-0-defined-4-core-components>

¹⁵⁷ Dafflon B., Moalla N., Ouzrout Y., “The challenges, approaches, and used techniques of CPS for manufacturing in Industry 4.0: a literature review”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, C:113, S:7-8, Nisan 2021, s.2398, Erişim:21.06.2022, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-020-06572-4>

İmalat sanayii açısından siber fiziksel sistemler; algılayıcılar (sensörler) ve eyleyicilerden (aktüatörler)¹⁵⁸ oluşan dâhili bilgi işleme yeteneğine ve hafızaya sahip,¹⁵⁹ çevrelerini gerçek zamanlı olarak algılayabilen ve çevreleriyle etkileşimde bulunabilen internete bağlı fiziksel¹⁶⁰ unsurlardır.¹⁶¹ Fiziksel üretimin aksamadan, doğru bir şekilde işleyebilmesi için siber fiziksel sistemler IP adresi¹⁶² sayesinde otomatik ve bağımsız olarak çalışmakta, kendi kendini izlemekte, kendi işleyişini değerlendirmekte ve gerektiğinde kendi işleyişine müdahalede bulunmakta, böylece ilgili diğer unsurlarla ve dünya ile iletişim kurabilmektedir.¹⁶³

Nesnelerin İnterneti: Nesnelerin interneti terimi ilk kez 1999 yılında teknoloji öncüsü Kevin Ashton tarafından insanların dâhil ol-

¹⁵⁸ Eyleyici (aktüatör): Bir mekanizmayı veya sistemi kontrol eden veya hareket ettiren bir tür motorlu cihazdır. Mekatronik sistemlerin kısı olarak görülmektedir. Bir enerji kaynağı tarafından çalıştırılır ve enerjiyi harekete dönüştürür. Kontrol kolaylığından ötürü çoğunlukla elektrik motorları kullanılmaktadır. Elektrğin yanısıra hidrolik sıvı basıncı veya hava basıncı ile çalıştırılabilir. Kontrol sistemi basit, yazılım tabanlı (örneğin bir yazıcı sürücüsü, robot kontrol sistemi) veya bir insan veya başka bir unsur olabilmektedir. Günlük hayatta otomatik kapıların veya uzaktan kumandalı araba kapı kilitlerinin açılma ve kapanma hareketi aktüatörler tarafından gerçekleştirilir. (Kaynak: Kececı E.F., Mechatronic Components-Roadmap to Design, Butterworth-Heinemann, 2019, s.145; National Institute of Standards and Technology, Glossary-Actuator, Erişim:21.06.2022, <https://csrc.nist.gov/glossary/term/actuator>; Elektrik Tesisat Mühendisleri Derneğı, "Aktüatör Nedir? Aktüatörler Nasıl Çalışır? Aktüatör Seçerken Dikkat Edilmesi Gerekenler Nelerdir?", Erişim:21.06.2022, <https://www.etmd.org.tr/aktuator-nedir-aktuator-calisma-prensibi/>)

¹⁵⁹ I-Scoop İnternet Sitesi, "Industry 4.0 and the fourth industrial revolution explained".

¹⁶⁰ The International Society of Automation (ISA) İnternet Sitesi, "Cyber-Physical Systems: The Core of Industry 4.0", Erişim:21.06.2022, <https://blog.isa.org/cyber-physical-systems-the-core-of-industry-4.0>

¹⁶¹ Akerman M., Implementing Shop Floor IT for Industry 4.0, Chalmers University of Technology, Doktora Tezi, Gothenburg, 2018, s.11, Erişim:23.06.2022, <https://research.chalmers.se/en/publication/502937>

¹⁶² IP adresi, "İnternet Protokolü" anlamına gelir. İnternete bağlanan bir aygıtın diğer aygıtlardan ayırt edilmesini sağlayan IP adresi, bilgisayarların internet üzerinden kolayca ve sorunsuz bir şekilde birbirlerine bağlanmalarını sağlar. Basitçe "cihazların internetteki kimlik numaraları" olarak tanımlanabilir. (Kaynak: Türkiye İş Bankası, "IP Adresi Hakkında Bilmeniz Gerekenler", Erişim:23.06.2022, <https://www.isbank.com.tr/blog/ip-adresi-nedir>)

¹⁶³ I-Scoop İnternet Sitesi, "Industry 4.0 and the fourth industrial revolution explained"; The International Society of Automation (ISA) İnternet Sitesi, "Cyber-Physical Systems: The Core of Industry 4.0", Erişim:21.06.2022, <https://blog.isa.org/cyber-physical-systems-the-core-of-industry-4.0>; Akerman M., Implementing Shop Floor IT for Industry 4.0, s.11, Erişim:23.06.2022, <https://research.chalmers.se/en/publication/502937>; Tyagi A.K., Sreenath N., "Cyber Physical Systems: Analyses, Challenges and Possible Solutions", s.23.

madığı, sadece makinelerin kullandığı interneti¹⁶⁴ tanımlamak için kullanılmıştır.¹⁶⁵ Nesnelerin interneti, insan müdahalesi olmaksızın nesnelerin, internet üzerinden belirli protokoller (standartlar) ile birbirine bağlanarak özerklik ve blokzincirle sağlanan güvenlik ortamında akıllı bir davranışla kendi aralarında veri alışverişi ve paylaşımı gerçekleştirdiği nihai küresel bir makine ve cihaz ağıdır.¹⁶⁶ Nesnelerin interneti daha çok tüketiciler ile kurumsal pazarda kullanılan makineler/nesneler için geçerli olup endüstride kullanılan nesnelerin interneti ise “endüstriyel nesnelerin interneti (industrial internet of things- IloT)” olarak anılmaktadır.¹⁶⁷

Geleceğin en önemli teknolojilerinden biri olarak görülen nesnelerin internetinin etkilemediği sektör neredeyse yok gibidir. Nesnelerin interneti hâlen akıllı şehirler, savunma, eğitim, sağlık, güvenlik sistemleri, ulaşım, sürücüsüz (otonom) bağlantılı otomobiller ve tarım gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.¹⁶⁸

¹⁶⁴ Bazı çalışmalar bu teknolojinin elektrik mühendisi ve aynı zamanda bir mucit olan Nikola Tesla tarafından öngörüldüğünü doğrulamaktadır. 1926 yılında Nikola Tesla, kendisiyle yapılan bir mülakatta şunları ifade etmiştir: “Kablosuz (bağlantı) uygulandığında, tüm dünya büyük bir beyne dönüştürülecek. Ve bunu yapabileceğimiz cihazlar, mevcut telefonumuzla karşılaştırıldığında inanılmaz derecede basit olacaktır. Bir kişi (bunu) cebinde taşıyabilecektir.” (Kaynak: Schoder D., “Introduction to the Internet of Things”, Internet of Things A to Z: Technologies and Applications içinde, Q. F. Hassan ed., Wiley-IEEE Press, Mayıs 2018, s.3.)

¹⁶⁵ Kramp T., Van Kranenburg, Lange S., “Introduction to the Internet of Things”, Enabling Things to Talk-Designing IoT solutions with the IoT Architectural Reference Model içinde ed., A. Bassi, M. Bauer, M. Fiedler, T., Kramp, R. Van Kranenburg, Lange S., S. Meissner, Springer, 2013, s.1.

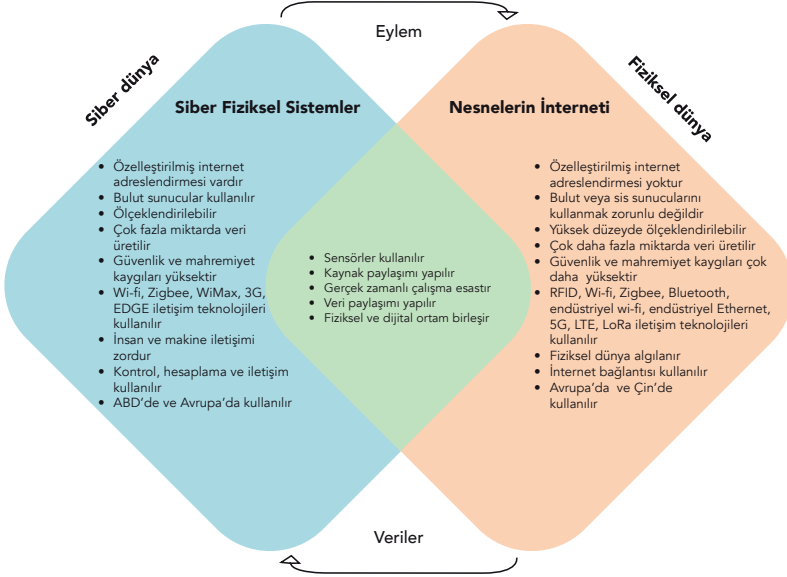
¹⁶⁶ I-Scoop Internet Sitesi, “Making sense of IoT (Internet of Things)-the IoT business guide”, Erişim:17.06.2022, <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/>; Ismail Y., “Introductory Chapter: Internet of Things (IoT) Importance and Its Applications”, Internet of Things (IoT) for Automated and Smart Applications içinde, Y. Ismail ed., IntechOpen, Londra, 2019, Erişim:17.06.2022, <https://www.intechopen.com/chapters/69788>; Sutagundar A.V., Hatti D., “Data Management in Internet of Things”, Handbook of Research on Wireless Sensor Network Trends, Technologies, and Applications, 2017, Erişim:17.06.2022, <https://www.igi-global.com/chapter/data-management-in-internet-of-things/162378>

¹⁶⁷ I-Scoop Internet Sitesi, “Meaning, Benefits and Value of IloT (Industrial Internet of Things)”, Erişim:17.06.2022, <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/industrial-internet-things-iiot-saving-costs-innovation/industrial-internet-things-iiot/>; Sundaram S.K., “Industrial Internet of Things (IloT) Applications”, Securing IoT in Industry 4.0 Applications with Blockchain içinde, P. Kaliraj T. Devi ed., CRC Press, 2022, s.118.

¹⁶⁸ Ismail Y., “Introductory Chapter: Internet of Things (IoT) Importance and Its Applications”.

Kullanım alanlarına bakıldığında nesnelerin interneti ile siber fiziksel sistemler arasında benzerlikler göze çarpmaktadır. Nesnelerin interneti ile siber fiziksel sistemler arasında ortak yönler bulunmakla birlikte bu iki bileşen birbirinden farklıdır. Bu iki bileşenin ortak ve farklı yönleri aşağıdaki şekilde sunulmaktadır.

Şekil 3: Siber Fiziksel Sistemler ile Nesnelerin İnternetinin Karşılaştırılması



Kaynak: Basir R., Qaisar S., Ali M. vd., "Fog Computing Enabling Industrial Internet of Things: State-of-the-Art and Research Challenges", *Sensors* C:19, S:21, 2019, s.7.

Nesnelerin interneti teknolojisini gündelik yaşam üzerinden bir örnekle açıklamak konunun daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır: "Bir evin su borusu tesisatında sızıntı oluşması halinde, sensörlerden gelen verilerin işlenmesi sonucunda ana su vanası kendiliğinden kapanır, ev sakinlerine ve diğer ilgili taraflara bilgi iletilir. Aynı zamanda evi sigortalayan sigorta şirketine bilgi geçilir. Bunlara ek olarak ilgili veriler su borusu tesisatını üreten üreticiye gönderilir, ardından üretici borudaki sızıntının nedenlerini analiz eder ve elde ettiği bilgileri diğer kullanıcılara önleyici tedbir olarak iletir." Görüldüğü üzere nesnelerin interneti teknolojisi ile su borusu tesisatında sızıntı yaşan-

ması karşısında alınan önlemler ve girişimler geleneksel yöntemlerin kullanılması ile karşılaştırılamayacak kadar gelişmiş ve etkileyicidir. Örnekten de anlaşılacağı üzere nesnelerin internetinin yaygınlaşmasıyla mevcut iş anlayışı ve buna dayalı ekosistemler köklü bir şekilde değişecek ve yerine yenileri gelecektir.¹⁶⁹ Nesnelerin interneti alanında yapılan harcamalar artarak sürmekte olup ABD merkezli araştırma şirketi International Data Corporation'a göre dünyada nesnelerin interneti harcamaları 2022 yılında 1 trilyon dolara, 2023 yılında ise 1,1 trilyon dolara ulaşacaktır.¹⁷⁰

Şekil 4: Bağlantıdan İnsan İçin Değer Oluşturmaya Kadar Nesnelerin İnterneti



Kaynak: I-Scoop İnternet Sitesi, "The Internet of Things", Erişim:17.06.2022, <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/>

Hizmetlerin İnterneti: Nesnelerin interneti, sensörler ve makine-lerle somut nesnelerin ağını oluştururken "hizmetlerin interneti" ise soyut unsurların yani hizmetlerin küresel ağını (internetini) oluştur-

¹⁶⁹ Sundaram S.K., "Industrial Internet of Things (IIoT) Applications", s.116, 120.

¹⁷⁰ I-Scoop İnternet Sitesi, "Making sense of IoT (Internet of Things)-the IoT business guide"; Sundaram S.K., "Industrial Internet of Things (IIoT) Applications", s.118.

maktadır.¹⁷¹ Hizmetlerin interneti; kullanıcılardan, hizmetlerin sunulduğu altyapıdan, iş modellerinden ve hizmetlerin kendisinden ibarettir.¹⁷² Hizmetlerin interneti, hizmet sağlayıcıların hizmetlerini internet üzerinden sunmalarını sağlar. Hizmetlerin interneti ile yazılım bileşenleri internet tabanlı olarak hizmet sağlayıcılar tarafından internet üzerinden talebe bağlı olarak kullanıma sunulur. Hizmetlerin internetinde hem nihai tüketiciler hem de teknik sistemler, ortak iş yapılan işletmelerden hizmet talep edebilmektedir.¹⁷³ Hizmetlerin interneti vizyonunda, fiziksel ürünler için söz konusu olan elektronik pazar yerlerine benzer şekilde hizmetler, sağlayıcıları tarafından hizmet pazarlarında tüketicilere ticareti yapılan ürünler olarak görülmektedir. Bir hizmet pazarında birden fazla sağlayıcı hizmet sunabilmekte, bu nedenle rekabet eden ve iş birliği yapan hizmetlerden oluşan bir ekosistem oluşmaktadır.¹⁷⁴

Hizmetlerin interneti kapsamında, yazılım (hizmet olarak yazılım-*software as a service-SaaS*), yazılım geliştirme araçları (hizmet olarak altyapı-*infrastructure as service-IaaS*) ve yazılımı çalıştıracak platform¹⁷⁵ (hizmet olarak platform-*platform as a service-PaaS*) olmak üzere yazılım uygulamalarını kullanmak için gereken her şey internette bir hizmet olarak mevcuttur.¹⁷⁶

Akıllı Fabrikalar: Akıllı fabrikalar Endüstri 4.0'ın önemli bir bileşeni olarak kabul edilmektedir.¹⁷⁷ Akıllı fabrika, insan müdahalesi olmaksızın üretim ve lojistik sistemlerinin büyük ölçüde kendini

¹⁷¹ Elsayed F., Abdelmajied Y., "Industry 4.0 and Its Implications: Concept, Opportunities, and Future Directions", Supply Chain içinde, T. Bányai, Á. Bányai, I. Kaczmar ed., IntechOpen Londra, 2022, Erişim:23.06.2022, <https://www.intechopen.com/online-first/80514>; Reis J.Z., Gonçalves R.F., "The Role of Internet of Services (IoS) on Industry 4.0 Through the Service Oriented Architecture (SOA)", IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS), Ağustos 2018, s.2, Erişim:20.06.2022, <https://hal.inria.fr/hal-02177890/document>

¹⁷² Hermann M., Pentek T., Otto B., "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review", s.9.

¹⁷³ Bartodziej C.J., "The Concept Industry 4.0-An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics", s.55.

¹⁷⁴ Cardoso J., Voigt K., Winkler M., "Service Engineering for the Internet of Services", Enterprise Information Systems-ICEIS 2008 Lecture Notes in Business Information Processing içinde, J. Filipe, J. Cordeiro ed., C:19, 2009, Springer, Berlin, Heidelberg, s.16.

¹⁷⁵ Sunucular, depolama ve iletişimi kapsar.

¹⁷⁶ Söylemez S.A., Yenilik Ekonomisinin Temelleri, s.126.

¹⁷⁷ Rej Kumar G., Raja Sreedharan V., Arunprasad P. vd., "Industry 4.0: Key Findings and Analysis from the Literature Arena", s.2517.

yönettiği, yeni veya değişen durumlara gerçek zamanlı veya gerçek zamanlıya yakın bir şekilde kendi kendine uyum sağlayabildiği, farklı kombinasyonlarda modern teknolojilerin uygulandığı üretim ortamı olarak tanımlanmaktadır.¹⁷⁸ Akıllı fabrika girişimleri, “dijital fabrika” veya “karanlık fabrika” olarak da adlandırılmaktadır.¹⁷⁹ Akıllı fabrikalar, dört duvar ile çevrili olsa da benzeri üretim sistemlerinin küresel ağına ve hatta daha geniş anlamda dijital tedarik ağına da bağlanabilmektedir.¹⁸⁰ Bir başka ifadeyle akıllı fabrikalarda basit otomasyonun ötesine geçilmekte, çalışanlar, makineler ve kaynaklar birbirleriyle sanki bir sosyal ağda bir aradaymış gibi iletişim kurabilmektedir. Akıllı ürünler “Ne zaman üretildim?”, “Beni işlemek için hangi parametreler kullanılmalı?”, “Nereye teslim edilmeliyim?” vb. soruları yanıtlayarak yani bilgileri aktararak üretim sürecini etkin bir şekilde desteklemektedir.¹⁸¹

Geleneksel fabrikaların fiziki yapısı ve üretim şekli kolay kolay değiştirilemez, zira bu fabrikalar “nihaidir”, yani bir sonuçtur. Oysa akıllı fabrikalar “aşırı esnektir”, bu sayede değişen teknolojiye ve ihtiyaçlara kolayca uyum sağlanabilir. Bu durum akıllı fabrikanın gerçek gücü olarak ifade edilmektedir.¹⁸² Akıllı mobilite ile akıllı lojistik ve akıllı şebekelere sahip arayüzlerin, akıllı fabrikayı geleceğin akıllı altyapılarının önemli bir bileşeni haline getirmesi ve böylece geleneksel değer zincirlerinin dönüşmesi, yeni iş modellerinin ortaya çıkması öngörülmektedir.¹⁸³

¹⁷⁸ Rejikumar G., Raja Sreedharan V., Arunprasad P. vd. “Industry 4.0: Key Findings and Analysis from the Literature Arena”, s.2517.; Gartner İnternet Sitesi, “Gartner Glossary-Information Technology-S-Smart Factory”, Erişim:20.06.2022, <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/smart-factory>

¹⁷⁹ Deloitte İnternet Sitesi, “The Smart Factory-Responsive, Adaptive, Connected Manufacturing”, s.5, Erişim:20.06.2022, https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4051_The-smart-factory/DUP_The-smart-factory.pdf.

¹⁸⁰ Deloitte İnternet Sitesi, “The Smart Factory-Responsive, Adaptive, Connected Manufacturing”, s.5.

¹⁸¹ Deloitte İnternet Sitesi, “The Smart Factory-Responsive, Adaptive, Connected Manufacturing”, s.5.; Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industry 4.0, s.19.

¹⁸² Deloitte İnternet Sitesi, “The Smart Factory-Responsive, Adaptive, Connected Manufacturing”, s.8.

¹⁸³ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), INDUSTRIE 4.0-Smart manufacturing for the futures.; National Academy of Science and Engineering, “Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industry 4.0,” s.18.

Akıllı fabrikalarda karmaşıklık yönetilebilir, aksamalar azalır ve daha verimli bir üretim yapılabilir.¹⁸⁴ Siemens şirketinin Almanya'nın Bavyera Eyaletinde bulunan Amberg Fabrikasında, geleneksel üretimden Endüstri 4.0 temelli üretime geçilmesi fabrikayı geleceğin fabrikalarının iyi örneklerinden biri haline getirmiştir.¹⁸⁵ 1200 çeşitten fazla elektronik ürünün üretildiği fabrikanın üretim hattında günde 350 kez konfigürasyon değişebilmekte ve karmaşıklık tam anlamıyla yönetilmektedir. Endüstri 4.0 teknolojileriyle donatılan bu akıllı fabrikanın kurulduğu günlere oranla ulaştığı verimlilik artışı ise oldukça etkileyicidir. Artış 2014'lerde sekiz kat iken 2019'da on dört kata çıkmıştır.¹⁸⁶ Öte yandan bir kalite göstergesi olan hatasız üretim oranı ise kusursuz denecek şekilde %99,9989'a ulaşmıştır.¹⁸⁷

Akıllı fabrika, şampuan üretimi örneği üzerinden değerlendirilerek işleyişi daha açık bir şekilde ortaya konulabilir. Buna göre farklı pazarlara yönelik olarak değişik renkler, katkı maddeleri veya parfüm eklenmiş farklı şampuan serilerinden oluşan bir üretim söz konusu olabilir. Geleneksel üretim yönteminde fabrikada, her bir ürün için bir üretim hattı gerekmekte, bununla birlikte şampuan markasının farklı hacimlerde çeşitleri varsa, aynı iş için birçok makine kullanılmakta ve verimsiz kalmaktadır. Oysa akıllı fabrikada "tek hat" boyunca gelen her bir ürün çeşidinin o anki durumu, geçmişi ve bir sonraki üretim aşamasına dair bilgiler radyo frekansı ile tanımlama

¹⁸⁴ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), INDUSTRIE 4.0-Smart Manufacturing for the Future, s.19.

¹⁸⁵ Forbes, Revolution on the Factory Floor, Erişim:13.09.2022, <https://www.forbes.com/sites/insights-teradata/2019/07/08/revolution-on-the-siemens-factory-floor/?sh=52d3ff6a5648>; Smart Industry İnternet Sitesi, A Factory of the Future...in Amberg, Erişim:13.09.2022, <https://www.smartindustry.com/benefits-of-transformation/advanced-control/article/11290138/a-factory-of-the-futurein-amberg>

¹⁸⁶ Blunck E., Werthmann H., Anbumozhi V., "Maximising Economic Benefits and Firm Competitiveness", Industry 4.0: Empowering ASEAN for the Circular Economy içinde, V. Anbumozhi, F. Kimura ed., Economic Research Institute for ASEAN and East Asia, 2018, s.135, 140, Erişim:21.06.2022, https://www.eria.org/uploads/media/9.ERIA-Books-2018_Circular_Economy_Chapter_5.pdf; Forbes, Revolution on the Factory Floor.

¹⁸⁷ Siemens İnternet Sitesi, "Leading as the Digital Enterprise Electronics Works Amberg Digitalization Practices", s.2, Erişim:13.09.2022, <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:8b971a6fa82393411523d354cefc6093020c75b4/df-fa-b10367-00-7600-ewa-broschuere-en-final.pdf>

(radio frequency identification-RFID) teknolojisi¹⁸⁸ veya yakın alan iletişimi (near-field communication-NFC)¹⁸⁹ yöntemiyle algılanmakta ve akıllı bir makine her şeyi ilgili bileşenlerle doldurmakta ve farklı pazarlara yönelik farklılaştırılmış şampuanlar üretilmektedir.¹⁹⁰ Dünyanın en başarılı karanlık fabrikalarından birisi olarak bilinen Japonya'daki FANUC şirketi üzerinden bir başka örnek ise şöyledir; FANUC bünyesindeki komplekste bulunan 22 fabrikada robotlar tarafından motor, kontrol makinesi, robot vb. üretilmekte ve robotlar bir seferde 30 güne kadar insan müdahalesi olmaksızın kendi kendine çalışabilmektedir.¹⁹¹

Dünya çapında en ileri teknoloji veya en üst otomasyon seviyesine sahip olan akıllı fabrikalar arasında; Schneider Electric'in Vaudreuil (Fransa), Bosch Automotive Diesel System'in Wuxi (Çin), Tesla'nın Berlin (Almanya), Johnson & Johnson Depuy Synthes'in Cork (İrlanda), Infineon'un Dresden (Almanya) fabrikası sayılmaktadır.¹⁹²

¹⁸⁸ Radyo frekansı ile tanımlama (RFID) teknolojisi, radyo frekansı kullanarak nesneleri tekil ve otomatik olarak tanımlama yöntemidir. RFID, temel olarak bir etiket ve okuyucudan meydana gelir. RFID etiketleri elektronik ürün kodu (EPC) gibi nesne bilgilerini almak, saklamak ve göndermek için programlanabilirler. Ürün üzerine yerleştirilen etiketlerin okuyucu tarafından okunmasıyla tedarik zinciri yönetimi ile ilgili bilgiler otomatik olarak kaydedilebilir veya değiştirilebilir. (Kaynak: TOBB, "RFID Teknolojisi", Erişim:21.06.2022, https://gs1.tobb.org.tr/icerik_goster.php?id=15)

¹⁸⁹ NFC, Yakın Alan İletişimi (Near Field Communication) anlamına gelmektedir. Son yıllarda akıllı telefonlarda sıkça karşılaşılan bir özelliktir. NFC özelliğine sahip cihazlar birbirine yaklaştırılarak saniyeler içinde numara, belge, resim, müzik, video gibi çeşitli içerikler gönderilip alınabilir veya temassız ödeme, etiket okuma gibi işlemler gerçekleştirilebilir. Genellikle kızılotesi ya da bluetooth gibi diğer dosya aktarma teknolojileriyle aynı özelliklere sahip zannedilse de NFC, çok daha hızlı veri alışverişi yapabilmesinin yanı sıra yenilikçi ve farklı işlevler de içermektedir. (Kaynak: Türkiye İş Bankası, "NFC Teknolojisi Hakkında Bilmeniz Gerekenler", Erişim:14.09.2022, <https://www.isbank.com.tr/blog/nfc-teknolojisi-hakkinda-bilmeniz-gerekenler>)

¹⁹⁰ Gilchrist A., Industry 4.0: The Industrial Internet of Things, Apress Thailand 2016, s.218.

¹⁹¹ FANUC İnternet Sitesi, "Products", Erişim:22.06.2022, <https://www.fanuc.co.jp/en/product/index.html>; Enterprise IoT Insights İnternet Sitesi, "Lights Out Manufacturing and Its Impact on Society", 10 Ağustos 2016, Erişim:22.06.2022, <https://enterpriseiotinsights.com/20160810/internet-of-things/lights-out-manufacturing-tag31-tag99>

¹⁹² Işık H., "Smart Factory Examples Around the World and Lessons to Learn From Them", 06 Eylül 2021, Erişim:20.06.2022, <https://www.threadinmotion.com/blog/smart-factories-all-around-the-globe>

3.1.2. Endüstri 4.0'ın İlkeleri

Endüstri 4.0'ın yaşam ve çalışma şeklini değiştirecek bir eğilim gösterdiğine daha önceki bölümlerde de değinilmiştir. Yapay zekâ, bulut bilişim ve akıllı cihazlar gibi teknolojik gelişmeler, yıkıcı (dönüştürücü) teknolojilerin artık hem bireyler hem de işletmeler için günlük yaşamın bir parçası olduğunu göstermektedir. Şirketlerin dijitalleşme sürecinde Endüstri 4.0'a geçiş yetenekleri etkili olacaktır. Yeni teknolojilerin benimsenmesi ve başarılı bir şekilde uyarlanması için işletmelerin geçiş sürecini tasarlamaları gerekmektedir.¹⁹³ Bu çerçevede yukarıda da belirtildiği üzere Hermann ve arkadaşları tarafından Endüstri 4.0'a geçiş için işletmelerin benimsemesi gereken altı tasarım ilkesi tespit edilmiştir.¹⁹⁴ Bir endüstrinin veya işletmenin Endüstri 3.0'dan Endüstri 4.0'a dönüşümünde tasarım veya geçiş sürecine katkıda bulunmaları nedeniyle tasarım ilkeleri olarak adlandırılan, bu çalışmada genel olarak Endüstri 4.0'ın ilkeleri olarak anılan, birlikte çalışabilirlik (*interoperability*), sanallaştırma (*virtualisation*), özerk yönetim (*decentralisation*), gerçek zamanlılık (*real-time capability*), hizmet oryantasyonu (*service orientation*), modülerlik (*modularity*) şeklinde sıralanan ilkeler, yerleşik endüstriyel uygulamaları dönüştürmede kilit bir rol oynamaktadır.¹⁹⁵ Söz konusu ilkeler aşağıda açıklanmaktadır:

- Birlikte çalışabilirlik: Endüstri 4.0'ın çok önemli etkinleştirici bir unsurudur. Bir işletmedeki nesnelerin, makinelerin, insanların ve akıllı fabrikaların birbirleriyle internet (nesnelerin interneti, hizmetlerin interneti) üzerinden bağlantı ve iletişim kurmasını, veri alışverişinde bulunmasını ve faaliyetleri koordine edebilmesini ifade etmektedir. Yalın bir ifadeyle "bağlanabilir" olmaktadır.
- Sanallaştırma: Donanımların ve süreçlerin, işleyişi nasıl etkileyeceğini görebilmek için işlemlerin veya fabrikadaki "her şe-

¹⁹³ RMIT Üniversitesi, "Industry 4.0 Design Principles", Erişim:24.06.2022, <https://www.rmit.edu.au/news/c4de/industry-4-0-design-principles>

¹⁹⁴ Hermann M., Pentek T., Otto B., "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review", s.11-13.

¹⁹⁵ Carvalho N.G.P., Cazarini E.W., "Industry 4.0-What Is It?", Erişim:23.06.2022, <https://www.intechopen.com/books/industry-4-0-current-status-and-future-trends/industry-4-0-what-is-it-; I-Scoop> Internet Sitesi, "Industry 4.0 and The Fourth Industrial Revolution Explained".

yin" sanal görünümünün kısaca fiziksel dünyanın (akıllı fabrikanın) bir kopyası oluşturulur. Bu sanal model ile tüm siber fiziksel sistemler, üretim aşamaları, işleyiş ve güvenlik izlenmekte, herhangi bir arıza durumunda insanlara haber verilmektedir.

- Özerk yönetim: Siber fiziksel sistemlerin merkezi bir bilgisayar (sistemi) yönetimi yerine verileri kendi kendilerine elde ederek ve değerlendirerek karar alabilmeleri ve bu doğrultuda görevlerini yerine getirebilmeleridir.
- Gerçek zamanlılık: İşletmelerde ve akıllı fabrikalarda süreçlerle ilgili verilerin gerçek zamanlı ve anlık olarak derlenmesi, değerlendirilmesi ve kullanılmasıdır. Bu özellik kararların hemen ve her an alınabilmesi yeteneğidir. Bu yetenek sayesinde aksaklık, hata, vb. durumlara anında müdahale edilebilmekte, verimsizlik olasılığına karşı anında önlem alınabilmektedir.
- Hizmet oryantasyonu: Siber fiziksel sistemler, insanlar ve akıllı fabrika servislerinin hizmetlerin interneti aracılığıyla iletişim kurmasıdır.
- Modülerlik: Tek tek modülleri değiştirmek veya genişletmek suretiyle akıllı fabrikaların değişen ihtiyaçlara esnek bir şekilde uyum sağlamasıdır.¹⁹⁶

3.2. Endüstri 4.0'ın Temel Teknolojileri

Endüstri 4.0'ın temelinde "Endüstri 4.0 teknolojisi" olarak tanımlanan yeni ve özel bir teknoloji yoktur.¹⁹⁷ Bir başka ifadeyle Endüstri 4.0, pek çok ileri teknolojinin bir araya gelmesi ile ortaya çıkmıştır. Bir araştırmaya göre Endüstri 4.0, 1200'den fazla etkinleştirici

¹⁹⁶ Hermann M., Pentek T., Otto B., "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review", s.11-12.; Avrupa Parlamentosu, Industry 4.0, s.21.; RMIT Üniversitesi, "Industry 4.0 Design Principles".; Carvalho N.G.P., Cazarini E.W., "Industry 4.0-What Is It?"; Symphony AI Internet Sitesi, "Industry 4.0", Erişim:24.06.2022, <https://symphonyindustrial.ai/industry-4-0/>; Vogel-Heuser B., Jumar U., "Scientific Fundamentals of Industry 4.0", AT-Automatisierungstechnik, C:67, S:6, 2019, s.502, Erişim:24.06.2022, <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/auto-2019-0012/html>

¹⁹⁷ Bartodziej C.J., "The Concept Industry 4.0-An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics", s.51.

teknolojiyi kapsamaktadır.¹⁹⁸ Bunların birçoğu kendi alanları için bile şemsiye terim olarak kullanılmakta ve bir listesinin yapılmasının zor olduğu kabul edilmektedir. O halde, hangi teknolojilerin Endüstri 4.0 için anahtar niteliğinde olduğunun belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada literatürde ve endüstride kabul görmüş olan dokuz teknoloji alanından söz edilecektir.¹⁹⁹ Bu teknolojiler, birbirinden bağımsız olarak işleyen üretim araçlarını bütünleşmiş bir üretim düzeninde bir araya getirmektedir. Endüstri 4.0'ı tetikleyen söz konusu dokuz teknoloji alanı: büyük veri ve analitiği (*big data and analytics*), özerk/akıllı robotlar (*autonomous robots*), benzetim (simülasyon-*simulation*), dikey ve yatay sistem entegrasyonu (*horizontal and vertical system integration*), endüstriyel nesnelerin interneti (*industrial internet of things*), siber güvenlik (*cyber security*), bulut bilişim sistemi (*cloud computing*), eklemeli üretim (3 boyutlu yazıcılar-*additive manufacturing*) ve gerçeklik teknolojileri (artırılmış gerçeklik-*augmented reality*, sanal gerçeklik-*virtual reality*) olarak sıralanmaktadır.²⁰⁰ Bununla birlikte, bazı yazarlar onuncu teknoloji olarak "teknolojileri etkinleştiren diğerleri" adında başka bir kategori daha eklemektedir. Bir dizi önemli yeniliği içeren bu kategori; tarım, gıda, biyoekonomi ve enerji tüketiminin optimizasyonunu destekleyen teknolojiler gibi sınırlı uygulama alanına sahiptir.²⁰¹ Öte yandan blokzincir (*blockchain*), yapay zekâ, kuantum bilgisayarlar, biyoteknoloji ve yenilenebilir enerjiyi de Endüstri 4.0'ın temel teknolojileri arasında sayan görüşler bulunmaktadır.²⁰² Bu çalışmada, bahsedilen bütün teknolojilere yer yer gönderme yapılmakla birlikte, çalışmanın boyutu da dikkate alınarak yukarıda zikredilen dokuz temel teknoloji açıklanmaktadır.

¹⁹⁸ Büchi G., Cugno M., Castagnoli R., "Smart Factory Performance and Industry 4.0", s.3.

¹⁹⁹ I-Scoop İnternet Sitesi, "Industry 4.0 and the Fourth Industrial Revolution Explained"; Gunal M.M., "Simulation and the Fourth Industrial Revolution", s.2,4.

²⁰⁰ Rüßmann M., Lorenz M., Gerbert P. vd., "Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries".

²⁰¹ Büchi G., Cugno M., Castagnoli R., "Smart Factory Performance and Industry 4.0", s.3.

²⁰² Watts S., "The Fourth Industrial Revolution Explained", Erişim:24.06.2022, <https://www.bmc.com/blogs/fourth-industrial-revolution/>

şekil 5: Endüstri 4.0'ın Temel Teknolojileri

Kaynak: Lazarova-Molnara S., Mohamed N., "Reliability Assessment in the Context of Industry 4.0: Data as a Game Changer", Procedia Computer Science, C:151, 2019, s.693.

3.2.1. Büyük Veri ve Analitiği

Büyük veri; Ishango Kemikleri,²⁰³ Hesap Taşları²⁰⁴ ve Konuşma Düğümülerinden²⁰⁵ başlayan uzun bir gelişim sürecinin sonucunda iş ve yaşam şeklini değiştirecek bir teknolojidir. Aynı zamanda kendisini temel alan birçok yeniliğin ortaya çıkması da beklenmektedir.²⁰⁶

1999 yılında yayımlanan “Veri Kümelerinin Gerçek Zamanlı Olarak Görsel Keşfi” adlı makalede; elde edilen ve derlenen verilerin yeterince analiz edilmediği ve genellikle saklandığı ifade edilerek bilgi işlemenin amacının, sayılar değil görüş ve fikir üretmek olduğu vurgulanmış ve bugünkü anlamda “büyük veri” terimi ortaya atılmıştır.²⁰⁷ 2000’lerin ortalarında, kapsamlı veri kümelerinin mevcut veri sistemlerinin kullanılmasıyla işlenemeyeceği ortaya çıkmıştır.²⁰⁸ Ayrıca örneklemelerle yapılan analizlerden üretilen sonuçların zaman zaman gerçek değerlerden farklı olduğu da tecrübe edilmiştir. Oysa

²⁰³ Uganda-Kongo sınırında Nil nehri ve Edward gölü yakınlarındaki Ishango Bölgesinde bulunduğu için bu adla anılmaktadır. Maymun kemiği üzerine çentikler atılarak oluşturulmuş bir matematik gereci olduğu tahmin edilmektedir. (Kaynak: Ankara Üniversitesi Açık Ders Arşivi, “İletişim Tarihi”, Ankara Üniversitesi Açık Erişim Sistemi, s.11, Erişim:24.06.2022, <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=72544>)

²⁰⁴ Hesap taşları (token’lar), kilden yapılan, pişirilerek sertleştirilen, boyutları genellikle 1-4 cm arasında değişen, farklı geometrik şekillerde üretilerek her biri farklı bir mala karşılık gelen ve ticareti yapılan malların türü ve ölçüsü hakkında bilgi veren objelerdir. (Kaynak: Şeker S., Şeker F., “Token’lardan Çivi Yazılı Kil Tabletlerle: Yazının İcadında Muhasebenin İzleri”, *Accounting and Financial History Research Journal*, 2019, S:16, s.94, Erişim:24.06.2022, <https://dergipark.org.tr/en/pub/muf-tad/issue/42022/506091>)

²⁰⁵ Düğüm Yazısı-Quipu olarak da bilinir. İnkaların kayıt ya da sicil tutmak için kullandıkları bir yöntemdir. Bu alette her düğüm, bir tip ticari işlemi göstermektedir. Değişik renk ve uzunlukta üzerinde düğümler bulunan iplerden oluşan “quipu’larda renklerin nesneleri, düğümler ise sayıları göstermektedir. Çeşitli yerlerden toplanan vergiler, tarımsal üretim, tahta geçen kralların sırası gibi durumlar bu “quipu’lar aracılığıyla kayıt altına alınmaktadır. Semboller vasıtasıyla iletişim kurmanın en somut örneklerinden olan “quipular”dan bazıları günümüze kadar ulaşabilmiştir. (Kaynak: Öztürk Çelebi G., “Tarih Öncesi Dönemlerde İletişim”, *Etkileşim*, Y:1, S:2, Ekim 2018, s.154.)

²⁰⁶ Dünya Ekonomik Forumu (WEF), “A Brief History of Big Data Everyone Should Read”, Erişim:24.06.2022, <https://www.weforum.org/agenda/2015/02/a-brief-history-of-big-data-everyone-should-read/>

²⁰⁷ Bryson S., Kenwright D., Cox M. vd., “Visually Exploring Gigabyte Data Sets in Real Time”, *Communications of the ACM*, C:42, S:8, 1999, Erişim:24.06.2022, s.83, Erişim:24.06.2022, <https://dl.acm.org/doi/10.1145/310930.310977>; Dünya Ekonomik Forumu (WEF), “A Brief History of Big Data Everyone Should Read”.

²⁰⁸ Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO), “ISO/IEC 20546:2019 (en)-Information technology-Big data-Overview and vocabulary”, Erişim:23.06.2022, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:20546:ed-1:v1:en>

büyük veri teknolojileri ile verinin tümü üzerinde çalışılabildiğinden daha doğru, etkili ve kapsamlı sonuçlara ulaşılabilmektedir.²⁰⁹

Büyük veri, çok fazla yer tutan veriden ziyade geleneksel yöntemlerle işlenemeyen, işlenmesi için yenilikçi çözümler gerektiren yüksek hacim, hız ve değişkenlikteki veri²¹⁰ olarak kabul edilmektedir.²¹¹ Veri analitiği ise veri veya içeriğin; veri ve metin madenciliği, makine öğrenmesi, örüntü eşleştirmesi, öngörü, görselleştirme, semantik analiz gibi gelişmiş teknik ve araçlar kullanılarak tamamen veya kısmen bağımsız olarak analiz edilmesi olarak tanımlanmaktadır.²¹² Veri analitiğinin temelinde, iş anlayışına ve akıllı karara odaklanan istatistik ve bilgisayar bilimleri vardır.²¹³ Yalın bir ifadeyle, büyük veri ve analitiği verilerin toplanması, saklanması, anlamlandırılması, ilişkilendirilmesi, analizi, raporlanması ve karar destek sistemlerinde kullanılmasıdır.²¹⁴

Büyük veri analitiğinde dört çeşit analiz söz konusudur. Bunlar; tanımlayıcı (açıklayıcı) (*descriptive analytics*), tespit edici (*diagnostic analysis*), öngörüselsel (*predictive analysis*) ve kuralcı (*prescriptive analysis*) analizdir. Tanımlayıcı analiz ile "Ne oldu?" sorusunun, tespit edici analiz ile "Neden oldu?" sorusunun, öngörüselsel analiz ile "Ne olabilir?" sorusunun, kuralcı analiz ile "Nasıl olabilir?" sorusunun cevabı aranmaktadır.

²⁰⁹ Terzi R., Sağiroğlu Ş., Demirezen M.U., "Büyük Veri ve Açık Veri: Temel Kavramlar", Büyük Veri ve Açık Veri Analitiği: Yöntemler ve Uygulamalar içinde, Ş. Sağiroğlu, O. Koç ed., Ankara 2017, s.17, Erişim:14.09.2022, https://bigdatacenter.gazi.edu.tr/wp-content/uploads/buyuk_veri_ve_acik_veri_analitigi.pdf

²¹⁰ Volume, velocity, variety. "3 V" olarak da anılmaktadır.

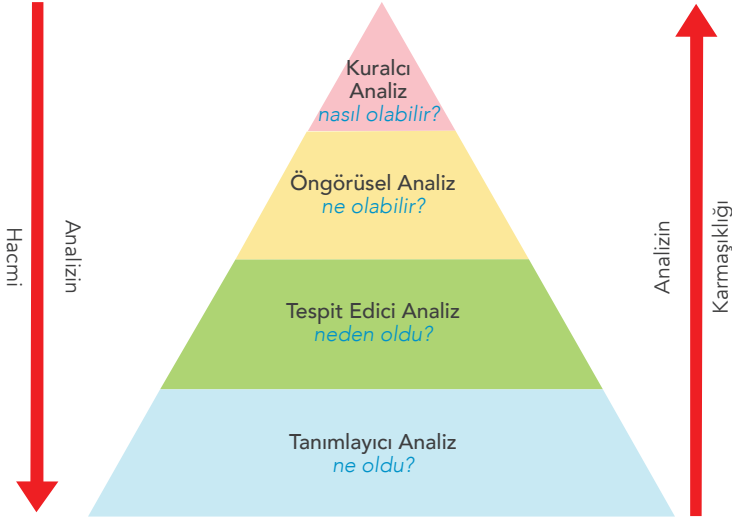
²¹¹ T.C. Kalkınma Bakanlığı, On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)-Sanayide Dijitalleşme Çalışma Grubu Raporu, Ankara 2018, s.2-3, Erişim:24.06.2022, <https://sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/SanayideDijitallesmeCalismaGrubuRaporu.pdf>; T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Türkiye'nin Sanayi Devrimi-Dijital Türkiye Yol Haritası, s.26-27, Erişim:27.06.2022, <https://www.sanayi.gov.tr/tsddtyh.pdf>; Gartner İnternet Sitesi, "Gartner Glossary-Information Technology Glossary-B-Big Data", Erişim:27.06.2022, <https://www.gartner.com/it-glossary/big-data>

²¹² T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Türkiye'nin Sanayi Devrimi-Dijital Türkiye Yol Haritası, s.26-27 Gartner İnternet Sitesi, "Gartner Glossary-Information Technology Glossary-A-Advanced Analytics", Erişim:24.06.2022, <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/advanced-analytics>

²¹³ Duan L., Xu L.D., "Data Analytics in Industry 4.0: A Survey", s.7.

²¹⁴ TÜBİTAK, Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası, 2016, s.8.

Şekil 6: Büyük Veri Analitiğinde Tür Piramidi



Kaynak: Abraham P., Lakshminarayanan S., "Data Science and Its Applications", Big Data Applications in Industry 4.0 içinde, P. Kaliraj T. Devi ed., CRC Press 2022, s.6.

Yarı iletken teknolojilerindeki gelişmeler, işlemci hızlarındaki artış ve yapay zekâ algoritmaları yeni nesil bilgisayarlara, büyük veri yığınlarını daha önce hiç olmadığı kadar hızlı bir şekilde işleme yeteneği kazandırmıştır.²¹⁵ Üretimde büyük veri gruplarından faydalanan analiz yöntemlerinin katkısıyla, üretim kalitesi yükseltilebilmekte, makinelerin bakım işlemleri kolaylaştırılabilmekte ve enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.²¹⁶ Ayrıca bu analiz yöntemleri yönetişimin verimliliğini ve etkinliğini artırmada önemli bir araçtır.²¹⁷

İşletmelerin, karar ve süreç optimizasyonu faaliyetlerinde elle-
rindeki verileri hızlıca işleyip, bilgiye dönüştürdükten sonra üretim süreçlerine bu bilgiyi dâhil etmesi rekabet için oldukça gerekli ve

²¹⁵ T.C. Kalkınma Bakanlığı, On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) Sanayide Dijitalleşme Çalışma Grubu Raporu, s.2.

²¹⁶ TÜSİAD, Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklik Olarak Sanayi 4.0: Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi, s.25, Erişim:27.06.2022, <http://www.tusiad.org/indir/2016/sanayi-40.pdf>

²¹⁷ Long C.K., Agrawal A., Trung H.Q. vd., "A Big Data Framework for E-Government in Industry 4.0", Open Computer Science, C:11, S:1, 2021, s.461.

önemlidir.²¹⁸ Böylece, büyük veri teknikleri, verilerin akılcı kullanımı-na dayalı olarak üretim zincirine değer katmaktadır.²¹⁹

Büyük veri analitiğinin; akıllı izleme sistemleri, akıllı karar destek sistemleri ve akıllı tahmin sistemleri aracılığıyla yalnızca şirketlere değil devletlere de katkı sağlaması beklenmektedir.²²⁰ Aynı zamanda büyük verinin bilgi güvenliğini sağlamada çok etkili bir araç olduğu kabul edilmektedir. Örneğin büyük veri yöntemleri ile ağ analizi kolayca gerçekleştirilerek kötü amaçlı trafik gibi ağ anomalileri tespit edilebilmektedir.²²¹ Tüm bunlarla birlikte veri yönetiminde yaşanacak olası zaafiyetler veri güvenliği ve gizliliğini tehlikeye atabilmektedir.²²² Bu yüzden büyük veri teknolojilerinde kötü amaçlı kullanımı önlemek için önlemlerin alınması gerektiği ifade edilmektedir.²²³

Büyük veri teknolojisi olmaksızın, Endüstri 4.0 teknolojilerinin; öğrenebilmek, tahmine dayalı analiz yapabilmek, bağımsız/özerk ve hassas çalışabilmek için veri yığınlarını işleyebilmesinin (şifresini çözmesi) ve bunlardan sonuç ve değer çıkarabilmesinin mümkün olmayacağı kabul edilmektedir.²²⁴

²¹⁸ Gökalp M.O., Kayabay K., Akyol M.A. vd., "Big Data for Industry 4.0: A Conceptual Framework", 2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), s.431, Erişim:27.06.2022, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7881381>

²¹⁹ Velásquez N., Estevez E., Pesado P., "Cloud Computing, Big Data and the Industry 4.0 Reference Architectures", s.260.

²²⁰ Long C.K., Agrawal A., Trung H.Q., Pham H.V., "A Big Data Framework for E-Government in Industry 4.0", s.461.

²²¹ Ikram S.T., Cherukuri A.K., Li G. vd., "Big Data Analytics for Security Intelligence", Handbook of Big Data Analytics, C:2, Applications in ICT, security and business analytics içinde, V. Ravi, A. K. Cherukuri ed., The Institution of Engineering and Technology, 2021, s.2.

²²² Pacheer R.K., Parthiban A.R.J.K., "Privacy-Preserving Techniques in Big Data", Handbook of Big Data Analytics, C:2, Applications in ICT, Security and Business Analytics içinde, V. Ravi, A. Kumar Cherukuri ed., The Institution of Engineering and Technology, Londra 2021, s.122.

²²³ Arya A., Malhotra H., Dayanand, Jeberson W., "Big Data Analytics in Cyber Security", International Journal of Engineering Research & Technology, C:5, S:10, 2017, s.1, Erişim:27.06.2022, <https://www.ijert.org/big-data-analytics-in-cyber-security>

²²⁴ Nexus Integra Internet Sitesi, "Why is Big Data the Core of the 4.0 Industry?", Erişim:27.06.2022, <https://nexusintegra.io/big-data-industry-4-0/>

Tablo 3: Sanayi Devrimlerinde Verinin Evrimi

Birinci Sanayi Devrimi	İkinci Sanayi Devrimi	Üçüncü Sanayi Devrimi	Dördüncü Sanayi Devrimi
Çok az veri kaynağı	Dokümantasyon başlangıcı	Sabit bellekte (hard disk) veri saklama	Büyük veri analizi
• Veri yönetimi yok • Veri analizi yok • Veri saklama ortamı yok	• Çok düşük seviyede veri yönetimi • Yapılandırılmış veri • Elle yapılan veri analizi	• Belleklerde veri saklama • Veri analiz yazılımları	• Sosyal ağ platformları • Bulut veri hizmetleri • Güçlü veri analiz modelleri

Kaynak: Sharma A., Pandey H., "Big Data and Analytics in Industry 4.0", A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development içinde, A. Nayyar, A. Kumar ed., Springer Nature 2020, s.58.

Günümüzde büyük veri analizinin nasıl ve nerelerde kullanıldığına ilişkin birkaç örnek, konunun anlaşılmasını kolaylaştıracaktır. Almanyaya ve Avustralya'daki bazı rüzgâr türbini üreticileri tarafından, türbinin bulunduğu yerin iklim özellikleri, geçmiş meteorolojik kayıtları, hava tahminleri, rüzgâr türbininin teknik özelliklerine (rotor gücü, hızı, tamir, bakım kayıtları vb.) dair tüm veriler büyük veri ve analitiği yöntemleriyle işlenerek türbinler için özel kontrol ayarları geliştirilmiştir. Böylece rüzgâr türbini çalışırken, türbinin bağımsız olarak kendi ayarlarını gözden geçirebilmesi, gerektiğinde ayarlarını değiştirebilmesi, bu değişikliklerin etkisini "öğrenmesi" ve "öğrenilen bilgiyi" daha sonra da kullanabilmesi mümkün olmaktadır. Bu sayede türbinlerde daha hassas arıza teşhisi yapılmakta, tahmine dayalı bakım için karar desteği sağlanmakta, zaman alıcı ve pahalı bakım işlemleri basitleşmekte ve sonuçta rüzgâr gücünden uygun maliyetli, verimli ve daha kolay enerji üretmek mümkün olmaktadır. Bunlara ek olarak işletmeciler her çalışma periyodu için üretilebilecek enerji miktarını öngörebilmekte hem tasarruf sağlamakta hem de şebekeye sunacakları enerji bilgisi ile rekabet güçlerini artırabil-

mektedir. Sonuç olarak enerji üretiminde verimlilik artmakta, maliyet düşmekte ve çevreye katkı sağlanmaktadır.²²⁵

Başka bir örnek de çevrimiçi e-ticaret sitelerinin kullandığı alışveriş tavsiyeleridir. Siteler, müşterilerin davranışları, satın alma tercihleri vb. ilgi alanlarını gözler ve bunlar veri olarak kaydedilmektedir. Ardından veriler yazılımlar aracılığıyla işlenerek kullanıcılara satın alma önerileri, seçenekler ve en çok satılan ürünlere dair öneriler sunulmaktadır.²²⁶ Bütün bunların temelinde verinin saklanması ve analiz edilmesi bulunmaktadır.

3.2.2. Akıllı Robotlar

1960'lardan itibaren üretimin bir parçası olan robotlardan çeşitli sektörlerdeki üreticiler uzun zamandır faydalanmaktadır. Geleneksel olarak robotlar tekdüze, sabit, yüksek hızlı görevlerde kullanılırken üretimde hâlen insan iş gücüne de ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte dünyada robot teknolojisi gelişerek daha otonom, esnek ve iş birliğine yatkın hale gelmektedir.²²⁷ Robotlar artık bağımsız, bir tarafta ayrı çalışan makineler olmayıp diğer makinelere ve yazılım uygulamalarına giderek artan bir şekilde bağlanabilmekte, çevrelerini algılayabilmekte, uzaktan çalıştırılabilen ve izlenebilen bir endüstriyel ağ içinde iletişim kurabilmektedir.²²⁸

²²⁵ Steden P., "Industry 4.0-Overview and Policy Implications", s.19.; Aviana Global İnternet Sitesi, "How Big Data Powers Wind Turbines", Erişim:29.06.2022, <https://avianaglobal.com/howbig-data-powers-wind-turbines/>; Fraunhofer Iwes İnternet Sitesi, "Big Data in Wind Energy-How Digitalization Can Make Wind Power More Cost-Efficient", Erişim:28.06.2022, <https://www.iwes.fraunhofer.de/en/press/archive-2020/big-data-in-wind-energy---how-digitalizationcan-make-wind-power.html>; Entura İnternet Sitesi, "Can Big Data and Artificial Intelligence Transform the Wind Sector?", Erişim:29.06.2022, <https://www.entura.com.au/can-big-data-artificial-intelligence-transform-wind-sector/>; Duan L., Xu L.D., "Data Analytics in Industry 4.0: A Survey", s.7.

²²⁶ Duan L., Xu L.D., "Data Analytics in Industry 4.0: A Survey", s.7.

²²⁷ Dünya Ekonomik Forumu (WEF), "Robots Have Been Taking Our Jobs for 50 Years, So Why Are We Worried?", Erişim:29.06.2022, <https://www.weforum.org/agenda/2017/07/robots-have-been-taking-our-jobs-for-50-years-so-why-are-we-worried-now>; TÜSİAD, Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklik Olarak Sana 4.0: Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi, s.26.

²²⁸ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), How Connected Robots are Transforming Manufacturing, Frankfurt, Ekim 2020, s.1, Erişim:29.06.2022, <https://ifr.org/papers/how-connected-robots-are-transforming-manufacturing>; Dünya Ekonomik Forumu (WEF), "Robots Have Been Taking Our Jobs for 50 Years, So Why Are We Worried?"

Farklı ürünlerin üretiminde kullanılabilen, üretim hacimleri değiştirilebilecek şekilde ayarlanabilen insan işçilerle iş birliği yapabilen cobotlar²²⁹ ile kendi çalışmalarını analiz edebilen ve yeniden yapılandırılabilen robotlar²³⁰ halihazırda hizmet vermektedir.²³¹ İlerleyen dönemlerde robotların birbiriyle etkileşimlerini artırması, insanlar ile yan yana daha güvenli bir şekilde çalışması ve öğrenme kabiliyetlerinin daha da artması beklenmektedir.²³²

İnsan-robot etkileşimi hala Endüstri 4.0 vizyonundaki en yenilikçi unsurlardan biri olarak kabul edilse de insanın yeri bazen doldurulamamaktadır.²³³ Nitekim ABD’li tanınmış iş insanı Elon Musk, Tesla 3 modeli otomobilin üretiminde robotlara çok fazla güvendiklerini, eriştikleri aşırı otomasyon seviyesinin bir hata olduğunu, insan çalışanların zaman zaman robotlardan daha üstün olduğunu belirtmiştir.²³⁴

Yapay zekâya sahip endüstriyel akıllı robotlar “derin öğrenme”²³⁵ (*deep learning*) yöntemleri ile üretim ortamında elde edilen verilere dayalı analizler yaparak karar alabilmekte ve gerektiğinde değişimlere uyum sağlayabilmektedir. Akıllı robotların bu yetenekleri bir işletme için fayda yaratırken insan çalışanların istihdamını sarsması, Endüstri 4.0’ın en sıkıntılı noktalarından birisi olarak değerlendiril-

²²⁹ Cobotlar (cobots), işbirlikçi robotlar (collaborative robots) olarak adlandırılmaktadır. (Kaynak: T.C. Kalkınma Bakanlığı, On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) Sanayide Dijitalleşme Çalışma Grubu Raporu, s.2.)

²³⁰ Örneğin BAXTER, SR-TEX ve CareSelect.

²³¹ Dünya Ekonomik Forumu (WEF), “Robots Have Been Taking Our Jobs for 50 Years, So Why Are We Worried?”.

²³² TÜSİAD, Türkiye’nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklik Olarak Sanayi 4.0: Geleşmekte Olan Ekonomi Perspektifi, s.26.

²³³ Jagatheesaperumal S.K., Rahouti M., Ahmad K. vd., “The Duo of Artificial Intelligence and Big Data for Industry 4.0: Review of Applications, Techniques, Challenges, and Future Research Directions”, IEEE Internet of Things Journal, C:9, S:15, 2022, s.25, Erişim:29.06.2022, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9667102>

²³⁴ CNBC İnternet Sitesi, “Elon Musk Admits Humans Are Sometimes Superior to Robots, in A Tweet About Tesla Delays”, 17 Nisan 2018, Erişim:28.06.2022, <https://www.cnbc.com/2018/04/13/elon-musk-admits-humans-are-sometimes-superior-to-robots.html>

²³⁵ Derin öğrenme bir makine öğrenmesi türüdür. Derin öğrenme, özellik çıkarma ve dönüştürme için birçok doğrusal olmayan işlem birimi katmanını kullanır. Derin öğrenmede, verilerin birden fazla özellik seviyesinin veya temsillerinin öğrenilmesine dayanan bir yapı söz konusudur. (Kaynak: Şeker A., Diri B., Balık H.H., “Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme”, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, C:3, S:3, 2017, s.48, Erişim:28.06.2022, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gmbd/issue/31064/372661>)

mektedir.²³⁶ Endüstri 4.0'da robotların verimlilik, dayanıklılık ve güvenlikle ilgili yeni ve kritik zorluklar yaratması olasıdır. Bu zorluklara uzaktan yönetme (tele-operasyon), insan ile iş birliği, trafik izleme, donanım ve yazılım bakımı örnek verilebilir.²³⁷ Robotların esnek yeteneklere sahip olmasıyla birlikte insanlarla yan yana çalışmasının bazı iş güvenliği sorunlarına yol açması beklenmektedir. Nitekim insan ve robotların yan yana birlikte çalışması sırasında, her iki tarafın olası istemsiz hareketleri sonucunda bazı kazalar²³⁸ tecrübe edilmiş ve buradan hareketle cobotlara yönelik standartlar²³⁹ belirlenmiştir.²⁴⁰

Cobotlar söz konusu olduğunda sadece insan yerine görev yapan robotların bulunmadığının, insanı fiziken destekleyen robot sistemlerinin yani "dış iskeletlerin (exoskeletons)"²⁴¹ varlığının da bilinmesi faydalı olacaktır. İnsanların güç ve dayanıklılığını artırmak için giyilen mekanik araçlar olan dış iskeletler; sensörler, aktüatörler ve motorlar

²³⁶ Mohiuddin M., Al Azad M.S., Ahmed S. vd., "Evolution of Industry 4.0 and Its Implications for International Business", Global Trade in the Emerging Business Environment içinde, M. Mohiuddin, J. Wang, Md.S. Al Azad, S. Ahmed ed., IntechOpen Londra, 2022, Erişim:28.06.2022, <https://www.intechopen.com/online-first/80058>

²³⁷ Jagatheesaperumal S.K., Rahouti M., Ahmad K. vd., "The Duo of Artificial Intelligence and Big Data for Industry 4.0: Review of Applications, Techniques, Challenges, and Future Research Directions", s.25.

²³⁸ Örneğin: 19 Temmuz 2016 tarihinde ABD'de otomobil parçası üreten bir fabrikada montaj hattının durmasının ardından oluşan sensör arızasını gidermek için bir robotik hücre istasyonuna giren işçi robotun aniden çalışmaya başlaması sonucunda ezilerek ölmüştür. (Kaynak: Daily Mail İnternet Sitesi, "Auto Parts Manufacturer is Ordered to Pay \$1.5 Million for Causing Death Of Worker, 20, Who was Crushed by A Robotic Arm", Erişim:28.06.2022, <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8935391/Manufacturing-company-admits-causing-death-worker-20-crushed-robotic-arm.html>)

²³⁹ ISO/TS 15066: Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO), Robotlar ve Robotik Cihazlar-Kolaboratif Robotlar Standardı-Robots and robotic devices-Collaborative robots)

²⁴⁰ Karacıgan A.O., İş Birlikçi Endüstriyel Robotlarda İş Güvenliği ve Risk Analizi Yaklaşımları, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2021, s.1.

²⁴¹ Bir dış iskelet robot organizmayı destekleyen ve dış çevreden onu koruyan bir dış yapı olarak ifade edilmektedir. İnsan tarafından dışarıdan giyilen bir dış iskelet robot insana destek sağlama ve yük taşıma kabiliyetinin artmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca, bu robotlar yürüme engeli olan ya da yaşlı kişilerde yardımcı uzuv, felç geçirmiş kişilerde iyileştirme (rehabilitasyon) ve sağlıklı insanlarda güç artırımı amacı ile kullanılmaktadır. İnsan uzuvları ile etkili bir şekilde çalışabilen bu robotlar, her insan uzvu için ayrı bir şekilde tasarlanabileceği gibi üst ve alt uzuv dış iskelet robotu olmak üzere bütün olarak da tasarlanabilmektedir. (Kaynak: TÜBİTAK, "Biyomimetik Bir Alt Uzuv Dış İskelet Robotun Tasarımı ve Denetimi", Nisan 2017, s.3, Erişim:28.06.2022, <https://open.metu.edu.tr/bitstream/handle/11511/50200/TVRneU5qUTA.pdf>)

gibi unsurlarla donatıldığında “giyilebilir robotik” ve “endüstriyel dış iskeletler” olarak da adlandırılmaktadır.²⁴²

Akıllı fabrikalardaki yüksek otomasyon ve bağlantı kapasitesine rağmen, insan işçi halâ üretim hattının bir parçası olmaya devam etmektedir.²⁴³ Dış iskelet sistemleri insan gücünün yerini almak için değil, bazı ağır, tehlikeli veya fiziksel aktiviteleri makineye emanet ederek desteklemek için tasarlanmıştır.²⁴⁴ Bu sistemler sayesinde mesleki kas ve iskelet sistemi hastalıkları ile iş kazalarını azaltmak²⁴⁵ mümkündür.²⁴⁶ Aynı zamanda dış iskeletler ağırların bir parçası olarak üretim esnasında işçilerin/operatörlerin iş durumları hakkında anlık bilgi paylaşabilmektedir. Bu sistemler fabrikada robotlar, montaj araçları, otomatik makineler ve otonom yazılımlar gibi diğer sistemlerle etkileşime girerek montaj işlemlerinde zaman tasarrufu sağlamak ve işçi/operatör hatalarını azaltabilmektedir.²⁴⁷

²⁴² Fox S., Aranko O., Heilala J. vd., “Exoskeletons: Comprehensive, Comparative and Critical Analyses of Their Potential to Improve Manufacturing Performance”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, C:31, S:6, 2020, s.1262.; Gola-bchi A., Chao A., Tavakoli M., “A Systematic Review of Industrial Exoskeletons for Injury Prevention: Efficacy Evaluation Metrics, Target Tasks, and Supported Body Postures”, *Sensors*, C:22, S:7, 2022, s.2, Erişim:28.06.2022, <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/7/2714>

²⁴³ Bances E., Schneider U., Siegert J. vd., “Exoskeletons Towards Industrie 4.0: Benefits and Challenges of the IoT Communication Architecture”, *Procedia Manufacturing*, C:42, 2020, s.53, Erişim:03.08.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920306521>

²⁴⁴ André J.C., “Industry 4.0-Paradoxes and Conflicts”, *ISTE-WILEY*, 2019, s.47.

²⁴⁵ Ford şirketinin uyguladığı “EksoVest” sistemi ile 2015-2016 yılları arasında üretim hattındaki kazaların %83 oranında azaldığı kaydedilmiştir. (Kaynak: Bances E., Schneider U., Siegert J. vd., “Exoskeletons Towards Industrie 4.0: Benefits and Challenges of the IoT Communication Architecture”, s.50)

²⁴⁶ Bances E., Schneider U., Siegert J. vd., “Exoskeletons “Towards Industrie 4.0: Benefits and Challenges of the IoT Communication Architecture”, s.50.

²⁴⁷ Bances E., Schneider U., Siegert J. vd., “Exoskeletons “Towards Industrie 4.0: Benefits and Challenges of the IoT Communication Architecture”, s.55.

Görsel 2: Dış İskelet ve Giyilebilir Robot Örnekleri



Endüstriyel dış iskelet sistemleri üretim ortamındaki ağ bağlantısına dâhil olur.²⁴⁸ Kontrol insanda kalır ve insan operatörün ihtiyaçlarına ve talimatlarına uyar. Bu teknoloji, insan-makine iş birliğinin farklı ve yeni bir şekli olup kimilerine göre “süper işçiyi” ortaya çıkarmıştır.²⁴⁹ Söz konusu teknolojinin işçilerin yeteneklerini bugünkünden çok öteye taşıyacağı ve imalat sanayiinin dönüşümünü hızlandıracığı öngörülmektedir.

Bu aşamada robotların günümüzde üstlendiği rollere ilişkin güncel birkaç örnek vermek konunun daha iyi anlaşılması açısından yerinde olacaktır. Alman Kuka firmasının ürettiği robotlar bir arada çalışmakta ve üretim hattında bir sonraki ürün montajına hazır olmak için davranışlarını ayarlayabilmektedir. Gelişmiş sensörleri ve kontrol birimleri sayesinde de insanlarla yakın iş birliği içerisinde çalışabilmektedir. Benzer şekilde bir başka sanayi robotu üreticisi olan “A38” şirketi, özellikle insanlarla beraber ürün montajında çalışmak üzere tasarlanmış “Yum” adlı iki kollu bir robot üretmektedir. Bu robot, korumalı iki kol ve sanal görüş yeteneği sayesinde hem güvenli bir biçimde insanlarla etkileşime girebilmekte hem de parçaları tanıyabilmektedir.²⁵⁰

²⁴⁸ Bances E., Schneider U., Siegert J. vd., “Exoskeletons “Towards Industrie 4.0: Benefits and Challenges of the IoT Communication Architecture”, s.51.

²⁴⁹ André J.C., “Industry 4.0-Paradoxes and Conflicts”, s.47.; BBC, “Turning workers into ‘super workers’ with robotic suits”, 01 Aralık 2017, Erişim:03.08.2022, <https://www.bbc.com/news/business-42136519>

²⁵⁰ TÜSİAD, Türkiye’nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklik Olarak Sanayi 4.0: Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi, s.26.

Görsel 3: Üretimde Robot Kullanımı Örneği



Küresel e-ticaret şirketi Amazon'un depolarında robotlar mal taşıma işinde çalışmaktadır. Bu robotlar maliyetleri azalttığı gibi depolamada yüzey alanından daha iyi faydalanmayı da sağlamaktadır.²⁵¹ ABD'de Construction Robotics tarafından tasarlanan SAM-100 (yarı otomatik duvar ustası-*semi automated mason*) adlı robot, yerinde duvar inşaatı için piyasaya sürülen ilk tuğla örme robotudur.²⁵² SAM-100 insanlarla birlikte çalışmakta, insana göre üç kat daha hızlı duvar örebilmektedir. SAM-100 ve sonrasında çıkan daha gelişmiş benzerleri²⁵³ Endüstri 4.0'ın inşaat sektörünü nasıl değiştirdiğine dair önemli bir örnek olarak kabul edilmektedir.²⁵⁴

3.2.3. Benzetim (Simülasyon) ve Modelleme

Bugün adına "benzetim" (bilgisayar benzetimi-simülasyon) denen teknolojinin ortaya çıkışı 1950'lerin başına kadar uzanmaktadır. Benzetim teknolojisi, 1970'lerin sonundan itibaren yaygınlaşmaya başlamış, ilk önceleri çelik, havacılık ve otomotiv sektöründe karma-

²⁵¹ Marr B., "What is Industry 4.0? Here's A Super Easy Explanation for Anyone", Forbes, 02 Eylül 2018, Erişim:05.08.2022, <https://www.forbes.com/sites/bernard-marr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/?sh=63fdcaf69788>

²⁵² Madsen A.J., The SAM100: Analyzing Labor Productivity, s.1, Erişim:05.08.2022, <https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1275&context=cmssp>

²⁵³ Avustralya'da "Hadrian X". (Kaynak: AllPlan İnternet Sitesi, "The Robot That Can Lay 1,000 Bricks in An Hour", 05 Mart 2021, Erişim:10.08.2022, <https://blog.allplan.com/en/the-robot-that-can-lay-1000-bricks-in-an-hour>)

²⁵⁴ REWO İnternet Sitesi, "A Few Examples of Industry 4.0", Erişim:12.08.2022, <https://www.rewo.io/real-world-examples-of-industry-4-0/>

şık sorunları çözmek için kullanılmıştır.²⁵⁵ Bugün gelinen noktada söz konusu teknolojinin kullanım alanı oldukça yaygınlaşmıştır.

Endüstri 4.0'da en sık kullanılan teknolojilerden biri olan benzetim, fiziksel yani gerçek dünyadaki bir sistem veya operasyonun sanal modeller üzerine aktarılmasını ve operatörlerin, malzemeleri, süreçleri ve ürünleri elde etmek için ayarları test ederek en uygun duruma getirmesini (optimize etmesini) sağlamaktadır.²⁵⁶ Benzetim ile çıkarımlar oluşturulmakta, yani gerçekleşmiş gibi etki yaratılarak gerçek ortam²⁵⁷ aynen taklit edilmektedir.²⁵⁸

Hâlihazırda ürünlerin, malzemelerin ve üretim süreçlerinin üç boyutlu benzetiminden tasarım aşamasında yararlanılmakta, benzetimlerin ileride fabrika operasyonlarında daha da yaygınlaşması beklenmektedir. Gerçek zamanlı verilerden yararlanarak hazırlanan sanal modellerde makineler, ürünler ve insanlarla beraber fiziksel dünyanın bir sanal gerçekliği oluşturulmaktadır. Böylelikle operatörler, üretim hattındaki ürün için gerekli makine bilgilerini (parametrelerini) kesinleştirmeden önce sanal dünyada test ederek makine kurulum süresini kısaltabilmekte ve kaliteyi artırabilmektedir.²⁵⁹ Benzetim teknolojisi ile ilk örneğin (prototip) oluşturulması ve üretim süresinin kısaltılması, kurulum aşamasında hataların azaltılması, makine ve fabrikada yaşanan kesintilerin ortadan kaldırılması veya bu kesinti sürelerinin azaltılması, maliyetlerin düşürülmesi sağlanabilmektedir.²⁶⁰ Tüm bu avantajlarıyla birlikte Endüstri 4.0 döneminde, bilgisayar benzetiminin önemli bir etki yaratacağı beklenmektedir.²⁶¹

²⁵⁵ Gunal M.M., "Simulation and the Fourth Industrial Revolution, Simulation for Industry 4.0-Past, Present, and Future", s.7.

²⁵⁶ Büchi G., Cugno M., Castagnoli R., "Smart factory performance and Industry 4.0", s.5.; T.C Millî Eğitim Bakanlığı Mesleğim Hayatım Portalı, "Simülasyon", Erişim: 14.09.2022, <https://meslegimhayatim.meb.gov.tr/dijital/simulasyon>

²⁵⁷ Otomobil kullanmayı bilmeyen bir kişi doğrudan trafiğe çıkmak yerine, simülasyonlarla kolayca eğitilebilir ve araba mekaniği ile benzer performansı göstererek, araba kullanmayı öğrenebilir. Basit bir sürüş simülatörü, hem yakıt ve araç maliyetini ortadan kaldırabilir hem de en güvenli şekilde eğitim vermeyi kolayca sağlayabilir. Simülasyonlar, düşük maliyetlidir ve gerçeği taklit etmede oldukça başarılıdır. (Kaynak: T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Mesleğim Hayatım Portalı, "Simülasyon".)

²⁵⁸ Gunal M.M., "Simulation and the Fourth Industrial Revolution", s.15.; T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Mesleğim Hayatım Portalı, "Simülasyon".

²⁵⁹ TÜSİAD, Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gerekliklik Olarak Sanayi 4.0: Geleşmekte Olan Ekonomi Perspektifi, s.26-27.

²⁶⁰ Büchi G., Cugno M., Castagnoli R., "Smart Factory Performance and Industry 4.0", s.5.

²⁶¹ Gunal M.M., "Simulation and the Fourth Industrial Revolution", s.7-8.

Alman Siemens firmasının geliştirmiş olduğu sanal makineden burada bahsetmek benzetim teknolojisinin etkisinin anlaşılması açısından yararlı olacaktır. Söz konusu sanal makine fiziksel makinelerden toplanan verileri işleyerek parçaların çalışmasını önceden canlandırmakta (benzetmekte) bu sayede gerekli hazırlık süresi %80 oranında azalmaktadır.²⁶²

3.2.4. Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu

Yatay entegrasyon, üretim ve planlama sürecindeki her bir adımın kendi aralarındaki ve ayrıca farklı işletmelerin üretim ve planlama süreçlerindeki adımları arasındaki kesintisiz bir akışı ifade etmektedir. Bu süreç ham madde tedarikinden tasarıma, üretime, pazarlamaya ve hatta sevkiyata kadar her aşamayı kapsamakta ve böylece bütünleşmiş, uçtan uca sistemler kurulmaktadır.²⁶³

Dikey entegrasyon ise süreçler arasında değil, her bir süreçte kullanılan teknolojik altyapıda kesintisiz bir iletişim ve akışın sağlanması anlamına gelmektedir. Örneğin üretim alanındaki sensörler, vanalar, motorlar, kumanda panelleri, üretim yönetimi sistemleri, kurumsal kaynak planlaması²⁶⁴ (*enterprise resource planning-ERP*) yazılımları ile iş zekâsı²⁶⁵ (*business intelligence*) uygulamaları gibi birimlerin bütünleşmesi (entegrasyonu) bu kapsamda ele alınmaktadır.

²⁶² TÜSİAD, Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklik Olarak Sanayi 4.0: Gelecekte Olan Ekonomi Perspektifi, s.25-26.

²⁶³ T.C. Kalkınma Bakanlığı, On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)-Sanayide Dijitalleşme Çalışma Grubu Raporu, s.4.

²⁶⁴ Kurumsal Kaynak Planlaması, "anlık para ve mal akışını gösteren sistem" olarak tanımlanabilir. Kurumsal Kaynak Planlaması sistemlerinin, herhangi bir hizmet veya ürün üretmeye yönelik faaliyet gösteren işletmelerin bütün işlevlerini içerir. Kurumsal Kaynak Planlaması sistemleri, bütünün, bu bütünün oluşturan parçalardan daha büyük olduğu felsefesi üzerine kurulmuştur. Bu felsefeden yola çıkılarak oluşturulan Kurumsal Kaynak Planlaması sistemleri, işletmelerde daha önceleri ayrı ayrı ele alınan işlevleri birbirine bağlı bir şekilde, yine işletmelerin amaçlarını yerine getirmek için çalışan parçalar olarak ele alır ve bundan yararlanarak, işçilik, malzeme, para ve makine gibi her türlü kaynağın verimliliğini en üst düzeye ulaştırmayı amaçlar. (Kaynak: Erkan T.E., Koç U., Paşaoğlu D. vd., Kurumsal Kaynak Planlama Sistemleri, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 3282, Eskişehir 2018, s.4, Erişim:15.08.2022, <https://ets.anadolu.edu.tr/storage/nfs/YBS307U/ebook/YB-S307U-16V1S1-8-0-1-SV1-ebook.pdf>)

²⁶⁵ İş zekâsı, veri hazırlama, veri madenciliği, veri yönetimi ve veri görselleştirmesine olanak tanıyan teknolojiyi ifade eden genel bir terimdir. İş zekâsı araçları ve süreçleri, son kullanıcıların işlenmemiş verilerden dönüştürülebilir bilgileri çıkarmasına olanak tanıyarak çeşitli sektörlerdeki kuruluşlarda veriye dayalı karar alma sürecini kolaylaştırır. (Kaynak: IBM İnternet Sitesi, "İş zekâsı nedir?", Erişim:15.08.2022, <https://www.ibm.com/tr-tr/analytics/business-intelligence>)

Yatay ve dikey entegrasyonun gerçekleştirildiği Endüstri 4.0 sayesinde, üretim süreçlerindeki değişikliklere ve sorunlara hızla karşılık verilebilmesi, müşteriye özel kişiselleştirilmiş üretimin²⁶⁶ kolaylaştırılması, kaynak verimliliğinin artırılması, küresel tedarik zincirinin optimize edilmesi ve işletmelerin daha esnek bir yapıya kavuşturulması mümkün olmaktadır. Ayrıca ihtiyaç duyulan değişiklikler basit arayüz güncellemeleriyle sağlanabilmektedir.²⁶⁷

Günümüzde bilişim teknolojileri sistemlerinin çoğunda yatay entegrasyon tam olarak sağlanamamıştır. Şirketler, tedarikçiler ve müşteriler nadiren birbirlerine uçtan uca bağlıdır. Benzer durum mühendislik, tasarım, üretim ve hizmet fonksiyonları için de geçerlidir. Ancak şirketler bazında evrensel veri entegrasyon ağları geliştikçe, şirketler, birimler ve bunların yetkinlikleri birbirleriyle daha uyumlu hale gelmektedir.²⁶⁸

Avrupa’da faaliyet gösteren Dassault Systèmes ve BoostAeroSpace firmaları sistem entegrasyonu işleyişinin somut bir örneğini ortaya koymuştur. Söz konusu firmalar, Avrupa havacılık ve savunma sanayii için bir iş birliği platformu kurmuştur. AirDesign adlı bu platform, tasarım ve üretim konularında iş birliği yapmak için ortak çalışma alanı oluşturmakta ve bunu bulut tabanlı bir hizmet olarak sunmaktadır. Böylece birçok iş ortağının ürün ve üretim verilerini paylaştığı karmaşık operasyonlar verimli şekilde yönetilmektedir.

3.2.5. Endüstriyel Nesnelerin İnterneti

Endüstriyel nesnelerin interneti terimi ABD merkezli General Electric şirketi tarafından 2012 yılında nesnelerin internetinin endüstri-

²⁶⁶ Örneğin, günümüzde tüketiciler kendi otomobillerini pek çok farklı seçenek (renk, iç mekanlar vb.) arasından çevrimiçi olarak tasarlayabilmektedir. Endüstri 4.0 üretim anlayışıyla bir tüketici için türünün tek örneği olacak derecede kişiselleştirilmiş bir otomobili üreticiler montaj hattı tekniklerini kullanarak seri üretim sistemi içinde üretebilecektir. (Kaynak: Intellias İnternet Sitesi, “Industry 5.0: Announcing the Era of Intelligent Automation”, Erişim:15.08.2022, <https://intellias.com/industry-5-0-announcing-the-era-of-intelligent-automation/>)

²⁶⁷ Soylu A., “Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar”, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, S:32, 2018, s.48, Erişim: 17.06.2022, <https://dergi-park.org.tr/tr/pub/pausbed/issue/38315/424955>

²⁶⁸ TÜSİAD, Türkiye’nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklik Olarak Sanayi 4.0: Gelişmekte olan Ekonomi Perspektifi, s.27.

de uygulanması için kullanılmıştır.²⁶⁹ Endüstriyel nesnelerin interneti, tüketici ve kurumsal pazar dışında kalan endüstriyel sektörlerdeki uygulamalar için bir şemsiye terim olarak tercih edilmektedir.²⁷⁰ Kısaca nesnelerin interneti teknolojisinin endüstride kullanılması endüstriyel nesnelerin interneti olarak anılmaktadır.²⁷¹

Makineden makineye (*machine to machine*-M2M) iletişim, büyük veri ve makine öğrenimine odaklanan endüstriyel nesnelerin interneti teknolojisi, endüstrilerin ve işletmelerin operasyonlarında verimliliği ve güvenilirliği artırmaktadır. Bunun temelinde akıllı makinelerin verileri doğru, tutarlı bir şekilde derleme ve iletmeye insanlardan daha iyi olması yatmaktadır.²⁷²

Endüstriyel nesnelerin interneti, genel olarak nesnelerin internetinin faydalarını daha üst düzeye taşımaktadır. Verimliliğin artırılması, maliyet ve zaman tasarrufu ile endüstriyel güvenliğin artırılması endüstriyel nesnelerin internetinin temel faydaları arasındadır. İnsan hatasının büyük risklere yol açma ihtimalinin olduğu endüstrilerde kullanılması ve üretimde hassasiyet seviyesinin artışı endüstriyel nesnelerin internetinin önemli avantajlardandır.²⁷³

3.2.6. Siber Güvenlik

Siber ortamlar ile fiziksel ortamlar arasındaki etkileşimin artması ve üretim sistemlerinin giderek daha çok bağlantılı hale gelmesi sonucunda fiziksel unsurlar yazılımlarla daha çok kontrol edilmekte, böylece fiziksel sistemlere yönelik tehditler de çoğalmaktadır.²⁷⁴ Endüstri 4.0 teknolojileri ve akıllı üretim, esasında önemli güvenlik

²⁶⁹ Zhong R.Y., Xu X., Klotz E. vd., "Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review", Engineering, C:3, S:5, Ekim 2017, s.624, Erişim:15.08.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917307130>; Sundaram S.K., "Industrial Internet of Things (IIoT) Applications", s.117.

²⁷⁰ I-Scoop İnternet Sitesi, "Meaning, Benefits and Value of IIoT (Industrial Internet of Things)".

²⁷¹ Türkiye Makina İmalatçıları Birliği, "Nesnelerin İnterneti (IoT) Nedir?", 23 Kasım 2020, Erişim:15.08.2022, <https://www.mib.org.tr/nesnelerin-interneti-iiot-nedir/>

²⁷² Munirathinam S., "Industry 4.0: Industrial Internet of Things (IIOT)", s.132,143.

²⁷³ I-Scoop İnternet Sitesi, "Meaning, Benefits and Value of IIoT (Industrial Internet of Things)".

²⁷⁴ Tyagi A.K., Sreenath N., "Cyber Physical Systems: Analyses, Challenges and Possible Solutions", s.23.; Deloitte İnternet Sitesi, Industry 4.0 and Cybersecurity-Managing Risk in An Age of Connected Production, s.8, Erişim:15.08.2022, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/au/Documents/risk/deloitte-au-risk-dup-industry-4-0-cybersecurity-080818.pdf>

sorunlarıyla iç içedir.²⁷⁵ Endüstriyel donanımların tüm iş modelini etkileyebilen siber saldırılara karşı savunmasız olduğu ifade edilmektedir.²⁷⁶ Endüstri 4.0 üretim sürecinin baştan sona internet ve bağlanabilirlik üzerine kurulu olması ve dijital dönüşüm çabaları dikkate alındığında, siber saldırıların her zamankinden çok daha kapsamlı ve etkili olacağı beklenmektedir.²⁷⁷

Siber güvenlik sadece veri ve iletişim ağlarının güvenliğinin sağlanmasını ve verilerin korunmasını değil, aynı zamanda endüstriyel kontrol sistemlerinin (*industrial control systems*-ICS), endüstriyel varlıkların, kritik altyapının ve çalışanların fiziksel güvenliğini de amaçladığı için Endüstri 4.0'da siber güvenlik üzerinde önemle durulmaktadır.²⁷⁸ Daha açık bir ifadeyle artık siber saldırılarda sadece bilgiye yönelik zararlar değil fiziksel zararlar da söz konusu olmaktadır.²⁷⁹ Endüstri 4.0'ın temelindeki uçtan uca bağlılık dikkate alındığında fiziksel unsurlara ek olarak tedarik ve dağıtım zincirleri de siber saldırıların hedefi olmaktadır.²⁸⁰ Fiziksel sistemlerde hasar yaratan siber saldırıların bilinen ilk örneği 2010 yılında İran'ın nükleer santral girişimine zarar veren "Stuxnet" saldırısı, ikincisi 2014 yılında Almanya'da bir çelik fabrikasına devasa maddi zarar veren saldırı-

²⁷⁵ Avrupa Birliği Siber Güvenlik Ajansı (ENISA), Good Practices for Security of Internet of Things in the context of Smart Manufacturing, s.16.

²⁷⁶ Lezzi M., Lazoi M., Corallo A., "Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework", Computers in Industry, C:103, Aralık 2018, s.98, Erişim:15.08.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361518303658>

²⁷⁷ Deloitte İnternet Sitesi, Industry 4.0 and Cybersecurity-Managing risk in An Age of Connected Production, s.2.

²⁷⁸ I-Scoop İnternet Sitesi, "Industry 4.0 and the fourth industrial revolution explained".

²⁷⁹ Binici D., "Konvansiyonel'den Asimetriğe: Siber Saldırıları", 02 Şubat 2020, Erişim:15.08.2022, <https://www.tuicakademi.org/konvansiyonelden-asimetrige-siber-saldirilar%E7%BB%BF/>

²⁸⁰ IBM İnternet Sitesi, X-Force Threat Intelligence Index 2020, s.37, Erişim:15.08.2022, <https://www.ibm.com/downloads/cas/DEDOLR3W>

dır.²⁸¹ Yine Ukrayna elektrik şebekesini çalışmaz hale getiren 2015 yılındaki "BlackEnergy" saldırısı da önemli örneklerdendir.²⁸²

Nesnelerin interneti ile birbirine bağlı milyarlarca²⁸³ faal cihazın ortaya çıktığı ve çoğunun siber güvenlik göz önünde bulundurulmadan tasarlandığı dikkate alındığında güvenlik açıklarının fazla olacağı tahmin edilmektedir.²⁸⁴ Nitekim küresel bir şirket olan IBM'nin "X-Force Tehdit İstihbarat Endeksi Raporu"na göre 2021'de keşfedilen nesnelerin interneti ve endüstriyel kontrol sistemlerinin güvenlik açıkları, 2020'ye göre sırasıyla %16 ve %50 oranında artmıştır.²⁸⁵

İşletmelerde siber güvenliğe, işlevsellik ve verimlilik kadar önem verilmemesi de siber güvenlik olgusunun üretim sürecine dâhil edilmesini zorlaştırmaktadır.²⁸⁶ Günümüzde üretim kuruluşlarına yönelik siber saldırılar giderek artmaktadır. IBM'nin 2021 "X-Force Tehdit İstihbarat Endeksi Raporu"na göre 2019 yılında siber saldırılarda imalat sektörü en çok hedef alınan sekizinci sektör iken 2020 yılında ikinci, 2021 yılında ise ilk sırada yer almıştır.²⁸⁷

²⁸¹ Council on Foreign Relations (CFR) İnternet Sitesi, "Stuxnet", Temmuz 2010, Erişim:15.08.2022, <https://www.cfr.org/cyber-operations/stuxnet>; Knapp E.D., Langill J.T., Industrial Network Security-Securing Critical Infrastructure Networks for Smart Grid, SCADA and Other Industrial Control -Systems, 2.Baskı, Syngress, 2015, s.50.; Cyber Law Toolkit İnternet Sitesi, "Steel mill in Germany (2014)", Erişim:15.08.2022, [https://cyberlaw.ccdcoe.org/wiki/Steel_mill_in_Germany_\(2014\)#cite_note-8](https://cyberlaw.ccdcoe.org/wiki/Steel_mill_in_Germany_(2014)#cite_note-8); BBC, "Hack attack causes "massive damage" at steel works", 22 Aralık 2014, Erişim:15.08.2022, <https://www.bbc.com/news/technology-30575104>

²⁸² ABD Sibergüvenlik ve Altyapı Güvenliği Ajansı (Cybersecurity and Infrastructure Security Agency-CISA), "Cyber-Attack Against Ukrainian Critical Infrastructure", 20 Temmuz 2021, Erişim: 12.08.2022, <https://www.cisa.gov/uscert/ics/alerts/IR-A-LERT-H-16-056-01>; Clear Insurance İnternet Sitesi, "10 Biggest Cyber Attacks in History" Erişim:12.08.2022, <https://clearinsurance.com.au/10-biggest-cyber-attacks-in-history/>

²⁸³ 2021 yılı sonunda etkin durumdaki nesnelerin interneti sayısı 12,2 milyar adettir. (Kaynak: IoT Business News İnternet Sitesi, "State of IoT 2022: Number of Connected IoT Devices Growing 18% to 14.4 Billion Globally", Erişim:12.08.2022, <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/>)

²⁸⁴ Avrupa Birliği Siber Güvenlik Ajansı (ENISA), Good Practices for Security of Internet of Things in the context of Smart Manufacturing, s.16.

²⁸⁵ IBM İnternet Sitesi, "X-Force Threat Intelligence Index 2022", s.22, Erişim:15.08.2022, <https://www.ibm.com/downloads/cas/ADLMYLAZ>

²⁸⁶ Avrupa Birliği Siber Güvenlik Ajansı (ENISA), Good Practices for Security of Internet of Things in the context of Smart Manufacturing, s.16.

²⁸⁷ 2019 ve 2020 için: IBM İnternet Sitesi, "X-Force Tehdit İstihbarat Endeksi 2021-Yönetici Özeti", s.4, Erişim:18.08.2022, <https://www.ibm.com/downloads/cas/5N-M1XEZV>; 2021 için: IBM İnternet Sitesi, "X-Force Threat Intelligence Index 2022", s.6.

3.2.7. Bulut Bilişim

Bulut bilişim (*cloud computing*)²⁸⁸ kuruluşların veya bireylerin yazılım uygulama, veri depolama ve bilgi işlem gibi hizmetlerinin internet üzerinden sunulmasına imkân sağlayan bir araçtır.²⁸⁹ Bulut bilişimde yazılım (program, uygulama vb.) ve veriler yerel olmayan, sanal bir sunucuda tutulmakta ve böylece internet aracılığıyla mekândan bağımsız olarak cihazlara, verilere, yazılımlara kolayca erişim sağlanabilmektedir.²⁹⁰ İşletmeler bu teknoloji sayesinde lisans, personel, enerji, donanım ve bakım masraflarından tasarruf etmekte ve bilgi işlem altyapısına yatırım yapmaya gerek kalmadan veya asgari yatırımla bilgi işlem ihtiyacını hizmet sağlayıcılardan temin etmektedir.²⁹¹

Bulut bilişim, veri işleme biçimini dönüştürmektedir. Geleneksel bilgi işlem modellerinde, genellikle tüketiciler için bir kişisel bilgisayar ve firmalar için özel veri merkezleri olmak üzere veriler ve yazılım yereldir. Ancak bulut bilişim teknolojisi hem veriyi hem de yazılımı internet aracılığıyla paylaşılan bulut veri merkezlerine taşımaktadır.²⁹²

Bulut bilişim teknolojileri, hız, esneklik ve verimlilik açısından büyük miktarda verinin arşivlenmesini ve işlenmesini yüksek bir performansla gerçekleştirmekte ve işlemleri kolaylaştırmaktadır. Bulut bilişim, kaliteyi artırmak, operasyonları ve üretimi iyileştirmek için izleme ve kontrol işlevleri dâhil olmak üzere üretken bir sistem için verilere dayalı olarak geliştirilen daha fazla sayıda hizmeti de sağlamaktadır.²⁹³

²⁸⁸ Bulut, bulut teknolojisi, bulut sistemi gibi adlarla da kullanılmaktadır.

²⁸⁹ İstanbul Sanayi Odası Dijital Dönüşüm Ofisi, "Dijital Dönüşüm", Erişim:18.08.2022, <http://www.isodijital.com/dijital-donusum.html>; Söylemez S.A., Yenilik Ekonomisinin Temelleri, s.126

²⁹⁰ Öztemel E., Gursev S., "Literature Review of Industry 4.0 and Related Technologies", s.144.

²⁹¹ Velásquez N., Estevez E., Pesado P., "Cloud Computing, Big Data and the Industry 4.0 Reference Architectures", s.260.; Kushida K.E., Murray J., Zysman J., "Diffusing the Cloud: Cloud Computing and Implications for Public Policy", Journal of Industry, Competition and Trade, 2011, C:11, S:3, Eylül 2011, s.211.

²⁹² Kushida K.E., Murray J., Zysman J., "Diffusing the Cloud: Cloud Computing and Implications for Public Policy", s.212.

²⁹³ Büchi G., Cugno M., Castagnoli R., "Smart Factory Performance and Industry 4.0", s.4-5.

Büyük veriyi işlemede yetersiz kalan geleneksel bilgisayarların aksine bulut bilişim teknolojisi hem veriyi işlemede hem de veri analizinin yapılmasında kolaylık ve verimlilik sağlamaktadır.²⁹⁴ Ayrıca Endüstri 4.0 uygulamalarıyla çok yüklü miktarda veri üretiminin ve bu verilerin de internete aktarılmasının kaçınılmaz olmasından ötürü veri paylaşımı kritik hale gelmektedir. Bulut teknolojilerinin yeteneklerinin artmasıyla işlem süresinin birkaç milisaniyelik²⁹⁵ değerlere kadar kısalması beklenmektedir. Bu teknolojinin uygulanma alanının genişlemesiyle birlikte makine verilerinin ve işlem gücünün paylaşımının yaygınlaşması ve üretim sistemlerinde veriye dayalı daha fazla hizmet sunulması öngörülmektedir. Bunun yanı sıra süreçleri izleyen ve denetleyen sistemlerin de bulut tabanlı olması beklenmektedir.²⁹⁶ Tüm bu nedenlerden ötürü veri analizi ve bulut sistemi, Endüstri 4.0'ın kaçınılmaz teknolojileri olarak görülmektedir.²⁹⁷

Şekil 7: Üretimde Büyük Veri Analizi İlişkisi



Kaynak: Velásquez N., Estevez E., Pesado P., "Cloud Computing, Big Data and the Industry 4.0 Reference Architectures", *Journal of Computer Science & Technology*, C:18, S:3, Aralık 2018, s.260, Erişim:12.08.2022, <https://journal.info.unlp.edu.ar/JCST/article/view/1151>

²⁹⁴ Öztemel E., Gursev S., "Literature Review of Industry 4.0 and Related Technologies", s.144.

²⁹⁵ Bir saniyenin milyonda biri.

²⁹⁶ Rüßmann M., Lorenz M., Gerbert P. vd., "Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries", s.6.

²⁹⁷ Öztemel E., Gursev S., "Literature review of Industry 4.0 and related Technologies, s.144.

3.2.8. Eklemeli Üretim

Eklemeli üretim; otomatik imalat (*automated fabrication-autofab*), serbest biçimli imalat veya serbest katı hal üretimi biçimli imalat (*freeform fabrication or solid freeform fabrication*), katman tabanlı üretim (*layer-based manufacturing*), hızlı prototipleme (*rapid prototyping*), 3 boyutlu baskı/üretim (*3D printing*)²⁹⁸ ve katmanlı imalat gibi adlarla da anılmaktadır.²⁹⁹

Eklemeli üretim, geometrik bir temsile dayalı ve katmanlar halinde üst üste/art arda malzeme eklemek suretiyle fiziksel nesnelerin üretiminde kullanılan teknolojidir.³⁰⁰ Bu teknolojiye plastik (polimerler), metal, reçine, cam (hatta gıda ve organik/biyolojik malzeme) olmak üzere farklı malzemeler kullanılarak katmanlar halinde üst üste eklenerek karmaşık ürünler üretilebilmektedir. Böylece malzemeleri birleştirme ihtiyacı ortadan kalkmaktadır.³⁰¹

3B baskı, başlangıçta malzeme olarak plastiği kullansa da metalin katmanlı üretimde kullanımı önümüzdeki dönemde giderek artacaktır.³⁰²

²⁹⁸ Her iki terim de birbirinin yerine kullanılmakla birlikte eklemeli üretim ve 3B baskı arasında fark olduğu kabul edilmektedir. 3B baskıda özellikle malzeme katmanları oluşturularak nesneler oluşturulmakta buna karşılık, eklemeli imalat, katmanlar haline gelebilecek veya gelmeyebilecek malzeme eklenerek nesneler oluşturulmaktadır. (Kaynak: I-Scoop İnternet Sitesi, "Additive manufacturing and 3D printing in manufacturing", Erişim:18.08.2022, <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/additive-manufacturing-3d-printing/>; Monroe Engineering İnternet Sitesi, "3D Printing vs Additive Manufacturing: What's the Difference?", 2 Nisan 2020, Erişim:12.08.2022, <https://monroeengineering.com/blog/3d-printing-vs-additive-manufacturing-whats-the-difference/>)

²⁹⁹ Gibson I., Rosen D., Stucker B. vd., "Additive Manufacturing Technologies" 3.Baskı, Springer 2021, s.7-8.; Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV), Üretimin Geleceğinde Gelişen Teknolojiler Katmanlı İmalat Teknolojileri-Ülkemizden Sanayi Temsilcilerinin GörüşleriyleSektörel Bakış, Nisan 2021, s.3, Erişim:12.08.2022, <https://www.ttgiv.org.tr/tur/images/publications/609a329348a78.pdf>

³⁰⁰ I-Scoop İnternet Sitesi, "Additive Manufacturing and 3D Printing in Manufacturing".

³⁰¹ Liu G., Zhang X., Chen X., "Additive Manufacturing of Structural Materials", Materials Science & Engineering R: Reports, C:145, 2021, s.4.; Büchi G., Cugno M., Castagnoli R., "Smart Factory Performance and Industry 4.0", s.4.

³⁰² Statista, "In-depth: Industry 4.0 2021, Statista Digital Market Outlook", s.28.

Geleneksel üretim yöntemlerinde karşılaşılan bazı kısıtlılıklar bu üretim yöntemiyle ortadan kaldırılmaktadır.³⁰³ Örneğin, eklemeli üretimde bir nesneyi üretmek için geleneksel üretim tekniklerinde olduğu gibi bir kalıp gerekmemektedir. Nesnenin 3 boyutlu tasarımının 3B yazıcıya aktarılmasıyla birebir üretim gerçekleştirilebilmektedir.³⁰⁴ Ayrıca, eklemeli üretim yönteminde ilk örnek (prototip) geliştirme çok daha hızlı, esnek ve düşük maliyetli olmaktadır.³⁰⁵ İlk örnek oluşturma süresi geleneksel üretime göre neredeyse dörtte üç oranında kısalmaktadır.³⁰⁶ Böylece üretim öncesinde hızlı bir şekilde daha fazla fikir test edilebilmekte ve gerektiğinde düzeltme imkânı ortaya çıkmaktadır.³⁰⁷ Örneğin bir İsrail şirketi 2015 yılında ileri düzeyde elektronik devre kartlarının aylar süren ilk örneklemesini birkaç saatlik sürede üreten 3B yazıcıyı tanıtmıştır.³⁰⁸

Bu teknoloji sayesinde kurulum maliyetlerinin, hataların ve makine duruş sürelerinin azaltılmasının yanı sıra daha az adetli, küçük üretim lotları ile daha kaliteli üretim mümkün olmakta, ek olarak üretimden kaynaklanan atık miktarı da azalmaktadır. Dahası üretim ve montaj aşaması ayrımı ortadan kalkarak teslim süresi önemli ölçüde kısalmaktadır.³⁰⁹ En karmaşık makinelerden olan motor üretiminde GE şirketi 855 parçadan oluşan bir uçak arkası destek motorunu (turboprop motoru) eklemeli üretim yöntemiyle on iki parçadan iba-

³⁰³ Loughborough Üniversitesi, "About Additive Manufacturing", Erişim:18.08.2022, <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/whatisam/>

³⁰⁴ T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Türkiye'nin Sanayi Devrimi-Dijital Türkiye Yol Haritası, s.30-31.

³⁰⁵ T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Türkiye'nin Sanayi Devrimi-Dijital Türkiye Yol Haritası, s.76-77.

³⁰⁶ I-Scoop İnternet Sitesi, "Additive Manufacturing and 3D Printing in Manufacturing".

³⁰⁷ T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Türkiye'nin Sanayi Devrimi-Dijital Türkiye Yol Haritası, s.76-77.

³⁰⁸ Nano Dimension İnternet Sitesi, "Nano Dimension Disrupts Printed Electronics with World's First 3D Printer Dedicated to Ultra-Rapid Prototyping of PCBs", Erişim:23.08.2022, <https://www.nano-di.com/newsroom/nano-dimension-disrupts-printed-electronics-with-worlds-first-3d-printer-dedicated-to-ultra-rapid-prototyping-of-pcbbs>; Diamandis P.H., Kotler S., "The Future Is Faster Than You Think: How Converging Technologies Are Transforming Business, Industries, and Our Lives", Simon and Schuster 2020, s.54.

³⁰⁹ Büchi G., Cugno M., Castagnoli R., "Smart Factory Performance and Industry 4.0", s.4.

ret olarak üretmiş, 100 kg hafifletmiş ve %20 oranında yakıt tasarrufu sağlamıştır.³¹⁰

Günümüzde bu teknoloji mühendislik, tıp, eğitim, mimarlık gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.³¹¹ İlk önceleri yapılan üretim basit iken yeni gelişmelerle çok daha karmaşık ürünler üretilebilmektedir.³¹² 3B yazıcılar kullanılarak konut inşa edilebilmesi veya organ yetmezliği çeken hastalar için yapay veya organik malzemelerle organ üretimi eklemeli üretim teknolojisinin günümüzde geldiği noktanın en somut örneklerindendir.³¹³

COVID-19 salgını boyunca eklemeli üretim yöntemiyle üretilen yüz maskeleri, sürüntü test kitleri gibi tıbbi cihaz bileşenleri ve tıbbi cihaz dışındaki destek ürünleri tedarik zincirine ciddi anlamda katkıda bulunmuş, eklemeli üretimin esnekliğini ve önemini ortaya çıkarmıştır.³¹⁴

Eklemeli üretim ortaya çıktığı günden beri en dönüştürücü (yıkıcı) teknolojilerden birisi olarak kabul edilmektedir. Endüstri 4.0'da kişiselleştirmenin etkisiyle pazar büyüklüğü hızla artmakta; eklemeli üretimin küresel piyasa hacmi 2020 yılında 11,2 milyar dolar iken 2028 yılına kadar 30,6 milyar dolara ulaşması beklenmektedir.³¹⁵

³¹⁰ Diamandis P.H., Kotler S., "The Future Is Faster Than You Think: How Converging Technologies Are Transforming Business, Industries, and Our Lives", s.54.

³¹¹ I-Scoop İnternet Sitesi, "Additive Manufacturing and 3D Printing in Manufacturing".

³¹² T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, "3D Yazıcı", Erişim:23.08.2022, <https://meslegimhayatim.meb.gov.tr/dijital/3d-yazici>

³¹³ Anadolu Ajansı, "Ankara Üniversitesinde 3D Yazıcıyla Gıda Üretildi", 08.12.2021, Erişim:15.09.2022, <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/ankara-universitesinde-3d-yaziciyla-gida-uretildi/2441698>; Avrupa Komisyonu, 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future, s.175, Erişim:19.08.2022, https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/knowledge_publications_tools_and_data/documents/ec_rtd_radical-innovation-breakthrough_052019.pdf; Wang X., "Bioartificial Organ Manufacturing Technologies", Cell Transplantation, 2019, C:28, S:1, s.5-6, Erişim:19.08.2022, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0963689718809918>

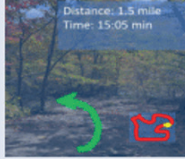
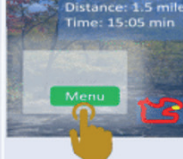
³¹⁴ Butt J., "A Conceptual Framework to Support Digital Transformation in Manufacturing using An Integrated Business Process Management Approach", s.3.

³¹⁵ Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV), Üretimin Geleceğinde Gelişen Teknolojiler Katmanlı İmalat Teknolojileri-Ülkemizden Sanayi Temsilcilerinin Görüşleriyle Sektörel Bakış, s.9.

3.2.9. Gerçeklik Teknolojileri

Yeni sayılamayacak kadar bir geçmişi olan sanal gerçeklik ile artırılmış (zenginleştirilmiş) gerçeklik Endüstri 4.0 ile bambaşka imkanlar sunma kabiliyetine kavuşmuştur. Gerçek hayattaki ortamların bilgisayarlar aracılığı ile taklit edilmesine dayalı teknolojiler hızla gelişmektedir. Oldukça etkileyici ve dinamik yapıdaki bu teknolojiler gerçeklik teknolojileri (eXtended Reality-XR) olarak adlandırılan şemsiye bir terim ile anılmaktadır. Gerçeklik teknolojileri; sanal gerçeklik (*virtual reality*-VR), artırılmış gerçeklik (*augmented reality*-AR) ve karma gerçeklik (*mixed reality*-MR) ile benzer sürükleyici teknolojilerin yaratabileceği gerçeklikleri kapsamaktadır.³¹⁶

Şekil 8: Gerçeklik Teknolojilerinden Örnekler

Gerçek	Artırılmış Gerçeklik	Karma Gerçeklik	Sanal Gerçeklik
			
Bir kır yolunun gerçek görüntüsü	Artırılmış gerçeklik ile aynı görüntü üzerinde sanal harita ve yönlendirme	Gerçek görüntü üzerinde etkileşimli içerik	Sanal oyun

Akyıldız I.F., Guo H., "Wireless communication research challenges for Extended Reality (XR)", ITU Journal on Future and Evolving Technologies, 2022, C:3, S:1, s.1.

Sanal gerçeklik terimi "gerçeğe yakın" anlamına gelir. Sanal gerçeklik ile yapay, gerçek dışı bir ortam yaratılmaktadır. Diğer taraftan artırılmış (zenginleştirilmiş) gerçeklik ile gerçek ortam ile sanal ortam bir araya getirilmektedir.³¹⁷

³¹⁶ PwC Global İnternet Sitesi, Seeing is believing, s.5, Erişim:19.08.2022, <https://www.pwc.com/SeeingIsBelieving>; Boz M.S., Eğitimde Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarının Değerlendirilmesi, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Yenilik ve Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü, 2019, s.15, Erişim:19.08.2022, https://yegitek.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2020_03/26132150_egitimdeartirilmisgerceklikuygulamalarinindegendirilmesi.pdf; Avrupa Komisyonu XR4Europe Programı İnternet Sitesi, "What is XR?", Erişim:19.08.2022, <https://xr4europe.eu/whatisxr/>

³¹⁷ Birleşik Krallık Sanal Gerçeklik Topluluğu (VRS), "What is Virtual Reality?", Erişim:19.08.2022, <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/what-is-virtual-reality.html>; Shinde G.R., Dhotre P.S., Mahalle P.N. vd., "Internet of Things Integrated Augmented Reality", Springer, 2021, s.55.

Rekabetin oldukça yoğun sürdüğü imalat sektöründe yenilik oluşturmak ve yeni ürünleri pazara hızlıca sunabilmek önemlidir. Gerçeklik teknolojileri ile yaratıcı süreç kısaltarak ürün tasarım süreci hızlanmaktadır. Ürün tasarımlarının sanal ve/veya artırılmış gerçeklikte önceden incelenebilmesi sayesinde zaman alıcı ve masraflı fiziksel ilk örneklerin oluşturulması ihtiyacı azalmakta, başka bir ifadeyle neyin işe yarayıp neyin yaramadığını belirlemek kolaylaşmaktadır.³¹⁸

Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojileri ile ürünleri, henüz tasarım aşamasındayken gerçek koşullar ve etkileşimler varmışçasına görüntüleyebilmek ve olası sorunları öngörmek mümkündür. Ayrıca, bu teknolojilerle alternatif senaryolar değerlendirilebilmekte, optimizasyon sağlanabilmekte ve üretim maliyetleri düşürülebilmektedir.³¹⁹ "Satın almadan önce dene" yaklaşımı, yerini "satın almadan önce kişiselleştir" yaklaşımına bırakabilmektedir. Tüketiciler, gerçeklik teknolojilerini kullanarak satın alacakları ürünün (ayakkabı, otomobil, vb.) nasıl göründüğünü deneyimleyebilmekte, biçimlendirebilmekte, ardından bu ürünler için sipariş verebilmektedir. Şimdilik, gerçeklik teknolojileri temelli kişiselleştirmeye otomobil ve emlak alanlarında daha çok rastlanmaktadır. Alman otomobil üreticilerinden Porsche'nin "AR Visualizer" ve BMW'nin "iVisualizer" adlı artırılmış gerçeklik uygulamaları sayesinde tüketiciler otomobil satın almadan önce aracı kişiselleştirebilmekte, aracın gerçek hayatta nasıl görüneceği hakkında fikir sahibi olarak siparişlerini verebilmektedir. Alman mühendislik şirketi Thyssenkrupp, ev mobilitesi ürünlerinin tasarım sürecini geliştirmede Microsoft HoloLens gözlüklerini kullanmıştır. Thyssenkrupp'un geleneksel ürün tasarım sürecinde, merdiven asansörlerinin müşterinin evine tam olarak uyması için uzun zaman alan, çoklu, karmaşık ölçüm aşamaları gerekmektedir. Ancak HoloLens ile müşterinin evindeki merdiven tek bir ziyarette kesin bir şekilde ölçülebilmekte ve müşteriye merdiven asansörünün evde nasıl görüneceğine dair dijital bir görselleştirme sunulmaktadır. Devamında elde edilen karmaşık ölçüm verileri bulut platformu aracılığıyla üretim ekibine otomatik olarak gönderilerek

³¹⁸ Marr B., "Extended Reality In Practice-100+ Amazing Ways Virtual, Augmented and Mixed Reality are Changing Business and Society", Wiley 2021.

³¹⁹ Magnelli A., Verreschi G., Ventrella M., "Bringing Knowledge and Emotion to the Industrial Field: ETT's AR/VR Solutions", Augmented Reality and Virtual Reality-New Trends in Immersive Technology içinde, M. Claudia, T. Dieck, T. H. Jung, S. M. C. Loureiro ed., Springer 2021, s.253.

üretim gerçekleştirilmektedir. Bu gelişmiş yöntem ile Thyssenkrupp, teslimat süresini dörtte bire indirmiştir.³²⁰

Gerçeklik teknolojileri ile kurulum maliyetlerinin, hataların ve makine duruş sürelerinin azaltılmasının yanı sıra gerçek zamanlı bilgi alma ve sanal eğitim sayesinde ürün kalitesi artmakta ve atıklar azaltılmaktadır.³²¹ Ayrıca geleneksel araçlara göre aktif öğrenmede daha etkili olması bu teknolojilerin gelecekte şirketlerin üretim ve bakım hizmetlerinde, uzaktan gerçekleştirilebilecek hizmet faaliyetlerinde, çalışanların mesleki eğitimlerinde ve daha birçok alanda yaygın olarak kullanılması beklenmektedir.³²²

Görsel 4: Endüstri 4.0'da Gerçeklik Teknolojileri Uygulaması



Gerçeklik teknolojileri sayesinde sistemlerin tamir ve bakım işlemlerinde, bir parçanın nasıl değiştirilmesi gerektiği konusunda çalışanların yönlendirilmesi mümkün olmaktadır. Örneğin, Siemens şirketi, fabrika çalışanlarına acil durumlarda ne yapılması gerektiğini öğretmek için, artırılmış gerçeklik özelliği olan, veri tabanına bağlı ve 3 boyutlu bir ortam sunan sanal bir fabrika operatörü eğitim modülü

³²⁰ Marr B., "Extended Reality In Practice-100+ Amazing Ways Virtual, Augmented and Mixed Reality are Changing Business and Society".

³²¹ Büchi G., Cugno M., Castagnoli R., "Smart factory performance and Industry 4.0", s.4.

³²² Magnelli A., Verreschi G., Ventrella M., "Bringing Knowledge and Emotion to the Industrial Field: ETT's AR/VR Solutions", s.253.

geliştirmiştir. Bu sanal dünyada operatörler, siber model üzerinden diğer makinelerle etkileşim kurup parametreleri değiştirebilmekte, operasyonel bilgilere ve bakım talimatlarına erişim sağlayabilmektedir.³²³ Küresel bir danışmanlık şirketi olan PwC tarafından 2019 yılında yapılan araştırmanın sonuçlarına göre, yalnızca ürün ve hizmet geliştirmede gerçeklik teknolojilerinin kullanılması ile dünyada yaratılan istihdamın 2021 yılında 2,6 milyon iken 2030 yılında 23 milyona çıkması, küresel ekonomiye katkının ise 2021 yılında 148 milyar dolar³²⁴ iken 2030 yılında 1,5 trilyon dolara³²⁵ ulaşması beklenmektedir.³²⁶

³²³ TÜSİAD, Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0: Gelecekte Olan Ekonomi Perspektifi, s.28, 30.

³²⁴ Sanal Gerçeklik: 43,1 milyar dolar, Artırılmış Gerçeklik: 105,4 milyar dolar.

³²⁵ Sanal Gerçeklik: 450,5 milyar dolar, Artırılmış Gerçeklik: 1092,4 milyar dolar.

³²⁶ PwC Global İnternet Sitesi, "Seeing is believing".

IV. BÖLÜM: ENDÜSTRİ 4.0: GELİR-İSTİHDAM-EĞİTİM İLİŞKİSİ

1. ENDÜSTRİ 4.0'IN UZUN DÖNEMDE MİLLİ GELİR VE BÜYÜMEYE ETKİSİ

Endüstri 4.0'ın; gayrisafi yurtiçi hâsıla (GSYH), ekonomik büyüme, dış ticaret ve istihdam gibi makro ekonomik değişkenler üzerinde önemli etkileri olacağı öngörülmektedir. Örneğin Avrupa Parlamentosu tarafından yayımlanan bir çalışmaya göre, Endüstri 4.0'ın küresel düzeyde imalat sanayiine %6 ila %8 arasında katkı yapması, 2020'li yıllarda sadece Alman ekonomisini her yıl %1 daha fazla büyütmesi beklenmektedir.³²⁷

Endüstri 4.0'dan önce, teknolojinin ekonomik büyümeye etkisi daha çok Ar-Ge harcamalarının GSYH'ye etkisi üzerinden açıklanmıştır. XXI. yüzyılda ise üretim teknolojilerinin büyümeye etkisi bu gibi analizlere ek olarak, nesnelerin interneti ve yapay zekâ gibi Endüstri 4.0'ın çeşitli unsurları üzerinden de hesaplanmaya başlanmıştır.³²⁸ Çalışmanın bu bölümünde, Endüstri 4.0'ın unsurlarının seçilmiş bazı ülkelerde GSYH ve ekonomik büyümeyi nasıl etkileyebileceğine ilişkin tahminlere yer verilmiştir.

1.1. Gelişmiş Ülkelerde Endüstriyel Nesnelerin İnternetinin GSYH'ye Etkisi

Accenture³²⁹ tarafından 2015 yılında yapılan bir çalışmada, endüstriyel nesnelerin interneti alanına yapılan yatırımların GSYH'ye yönelik olası etkisi incelenmiştir. Gelecek 15 yıl için bir öngörü sunan bu çalışmada; ülkelerin sanayi yapıları, planlanmış yatırım tutarları ve nesnelerin interneti teknolojilerini kullanma kapasiteleri dikkate

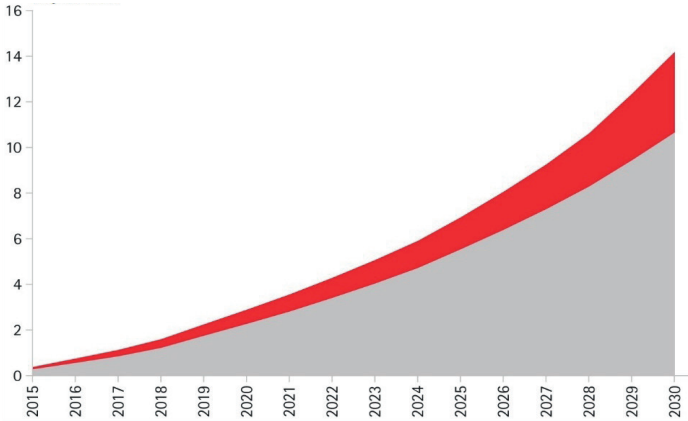
³²⁷ Davies R., "Industry 4.0: Digitalisation for Productivity and Growth", European Parliamentary Research Service Briefing Paper, Eylül 2015, s.3,4, Erişim:05.11.2020, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf)

³²⁸ Purdy M., Daugherty P., Why Artificial Intelligence is the Future of Growth, Accenture Institute Working Paper, 2016, s.4,16, Erişim:06.11.2020, https://www.accenture.com/t20170524t055435_w_/ca-en/_acnmedia/pdf-52/accenture-why-ai-is-the-future-of-growth.pdf

³²⁹ Accenture, 120'den fazla ülkede 300 binden fazla çalışanıyla uluslararası yönetim danışmanlığı, teknoloji ve dış kaynak hizmetleri alanlarında profesyonel hizmetler sunan bir teknolojik danışmanlık şirkettir.

alınmıştır. 20 ülkenin³³⁰ analize dâhil edildiği çalışmaya göre, mevcut politikalarla endüstriyel nesnelerin interneti alanındaki ürün ve teknolojilere yapılan yatırımların, 2030 yılına kadar söz konusu 20 ülkenin toplamı için reel GSYH'ye birikimli olarak 10,6 trilyon dolar katkı yapması beklenmektedir. Söz konusu katkının ek yatırım ve tedbirlerle (örneğin altyapıların geliştirilmesi, daha kalifiye personel istihdamı, araştırma ekosisteminin geliştirilmesi vb.) 2030 yılına kadar 14,2 trilyon dolara ulaşabileceği öngörülmüştür. Çalışmada, endüstriyel nesnelerin internetinin incelenen 20 ülkenin GSYH'sini ortalama %1 oranında artıracak, bu alana yapılan yatırımların %50 oranında artması ve altyapıların geliştirilmesi senaryosunda ise GSYH'deki artışın %1,5'e kadar çıkabileceği öngörülmüştür. GSYH'ye beklenen katkı Şekil 9'da sunulmuştur. Şekilde gri alan, mevcut politika ve şartların devam etmesi durumunda; kırmızı alan ise ek yatırım ve tedbirlerin alınması durumunda trilyon dolar cinsinden GSYH'ye katkıyı göstermektedir.³³¹

Şekil 9: Endüstriyel Nesnelerin İnterneti Alanına Yapılan Yatırımların 20 Ülkede GSYH'ye Etkisi (trilyon dolar)



Kaynak: Purdy M., Davarzani L., The Growth Game-Changer, s.5.

³³⁰ Çalışmada incelenen ülkeler; ABD, Almanya, Avustralya, Birleşik Krallık, Brezilya, Çin, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Güney Kore, Hindistan, Hollanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, Japonya, Kanada, Norveç ve Rusya'dır.

³³¹ Purdy M., Davarzani L., The Growth Game-Changer: How the Industrial Internet of Things Can Drive Progress and Prosperity, Accenture Institute Working Paper, 2015, s.4,5, Erişim:06.11.2020, https://www.accenture.com/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Dualpub_18/Accenture-Industrial-Internet-Things-Growth-Game-Changer.pdf

Söz konusu çalışmada, endüstriyel nesnelerin interneti alanına yapılan yatırımların GSYH'ye olan etkisi, hem mevcut politikaların devam etmesi durumunda hem de ek yatırımların yapılması durumunda ABD, Birleşik Krallık, Almanya ve Çin olmak üzere dört ülke için ayrı ayrı tahmin edilmiştir. Buna göre, mevcut politika ve şartların devam etmesi durumunda GSYH'ye en yüksek katkı 6,1 trilyon dolar ile ABD için tahmin edilmiştir. Ek yatırımların yapılması senaryosunda ise 2030 yılına kadar GSYH'ye toplam katkı; ABD için 7,15 trilyon dolar, Birleşik Krallık için 531 milyar dolar, Almanya için 700 milyar dolar ve Çin için 1,82 trilyon dolar olarak öngörülmüştür. Söz konusu veriler Tablo 4'te sunulmuştur. Veriler incelendiğinde dikkat çeken husus, ek yatırım ve tedbirlerin GSYH'ye katkısı bakımından Çin'in diğer ülkelere kıyasla çok daha büyük bir potansiyel taşımasıdır.

Tablo 4: Endüstriyel Nesnelerin İnterneti Alanına Yapılan Yatırımların 2030 İtibarıyla Çeşitli Ülkelerin GSYH'sine Olası Etkisi (milyar dolar)

Ülke	Mevcut Politika ve Şartların Devamı Durumunda	Ek Yatırımların Yapılması ve Yeni Tedbirlerin Alınması Durumunda
ABD	6.132	7.146
Birleşik Krallık	303	531
Almanya	593	700
Çin	497	1.824

Kaynak: Purdy M., Davarzani L., The Growth Game-Changer, s.18,19.

Konuyla ilgili bir başka araştırma Mart 2018'de Frontier Economics tarafından yapılmıştır. Nesnelerin internetinin GSYH'ye olan etkisinin, makineler arası iletişim (*machine to machine*) üzerinden incelendiği bu çalışmaya göre, makineler arası iletişim alanına yapılan yatırımların GSYH'ye ve gayrisafi katma değere³³² (GSKD) doğru-

³³² GSKD, bir ülkede/bölgede yerleşik ekonomik birimlerin belli bir dönemde, ekonomik faaliyetleri sonucunda ürettikleri mal ve hizmetlerin değerinden, bu üretimde bulunabilmek için kullandıkları mal ve hizmetlerin değerinin çıkarılması sonucunda elde edilen değeri ifade etmektedir.

dan etkisi bulunmaktadır. Buna göre, makineler arası iletişime yapılan yatırımlardaki %10'luk bir artışın, GSYH'de %0,7 ve endüstriyel GSKD'de %0,9'luk bir artış yaratacağı öngörülmüştür. Makineler arası iletişime yapılan yatırımların %10 artması durumunda, 2018-2032 yıllarını kapsayan 15 yıllık dönemde GSYH'deki birikimli artışın, ABD için 2,26 trilyon dolar ve Almanya için 370 milyar dolar olacağı tahmin edilmiştir.³³³

1.2. Gelişmiş Ülkelerde Yapay Zekâ Teknolojisinin Ekonomik Büyümeye Etkisi

Accenture tarafından 2016'da yapılan araştırmada, yapay zekâ teknolojisinin ülke ekonomilerini nasıl etkileyebileceği incelenmiştir. Çalışmada, yapay zekâ teknolojisi ile üretim arasındaki uzun dönemli ilişki, iş gücü verimliliği üzerinden açıklanmıştır. Toplam 12 ülkenin incelendiği çalışmada, yapay zekâ teknolojisinin iş gücü verimliliğini 2035 yılına kadar bazı ülkelerde %30'un üstünde artırma potansiyeli taşıdığı belirtilmiştir. Söz konusu verimlilik artışının, çalışma sürelerinin artırılmasıyla değil, inovatif teknolojiler sayesinde zamanın daha verimli kullanılması ile olacağı özellikle vurgulanmıştır. İncelenen ülkelerin her biri için tahmin edilen iş gücü verimlilik artışı Tablo 5'te gösterilmiştir. Verimlilik artışında en çok potansiyel taşıyan üç ülkenin; %37 ile İsveç, %36 ile Finlandiya ve %35 ile ABD olduğu tahmin edilmiştir.³³⁴

³³³ Frontier Economics İnternet Sitesi, The Economic Impact of IoT: Putting Numbers On a Revolutionary Technology, Mart 2018, s.2-4, Erişim:06.11.2020, https://www.frontier-economics.com/media/1167/201803_the-economic-impact-of-iot_frontend.pdf

³³⁴ Purdy M., Daugherty P., Why Artificial Intelligence is the Future of Growth, s.17.

Tablo 5: Yapay Zekâ Teknolojisinin 2035 Yılına Kadar Çeşitli Ülkelerdeki İş Gücü Verimliliğini Artırma Potansiyeli (%)

Ülke	Yapay Zekânın İş Gücü Verimliliğini Artırma Potansiyeli	Ülke	Yapay Zekânın İş Gücü Verimliliğini Artırma Potansiyeli
ABD	35	Fransa	20
Almanya	29	Hollanda	27
Avusturya	30	İspanya	11
Belçika	17	İsveç	37
Birleşik Krallık	25	İtalya	12
Finlandiya	36	Japonya	34

Kaynak: Purdy M., Daugherty P., Why Artificial Intelligence Is The Future of Growth, s.17.

Yapay zekâ, söz konusu çalışmada yeni bir üretim faktörü olarak tanımlanmış ve yapay zekânın ekonomik büyümeye üç yoldan katkı yapacağı iddia edilmiştir. Bunlardan birincisi, yapay zekânın yeni bir sanal iş gücü yaratmasıdır. Buna “akıllı otomasyon” adı verilmektedir. İkincisi, yapay zekânın mevcut iş gücünün yetenek ve ustalığını geliştirmesidir. Üçüncüsü ise yapay zekânın inovasyona ivme kazandırmasıdır. Söz konusu unsurların ekonomiye birlikte etkisi, yapay zekâ kaynaklı büyüme (*AI-led growth*) olarak ifade edilmiştir.

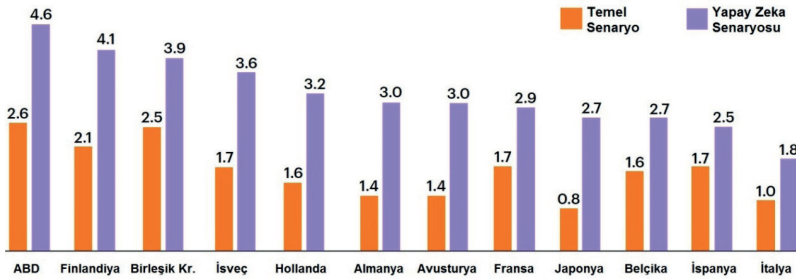
Söz konusu çalışmada, yapay zekânın incelenen ülkelerin ekonomik büyüme oranlarına olası etkisi iki senaryolu bir modelle incelenmiştir. Temel senaryo mevcut koşullar altında beklenen ekonomik büyüme oranını, yapay zekâ senaryosu ise yapay zekânın ekonomide içselleştirilmesi durumunda beklenen ekonomik büyüme oranını göstermektedir.³³⁵

Araştırmada yapay zekânın 2035 yılı itibarıyla GSKD’yi ne kadar artırabileceği ortaya konmuştur. GSKD’deki artış, GSYH’deki artışın yakın bir tahmin edicisi olduğundan, söz konusu çalışmada GSKD’deki artış genel anlamda bilinen ekonomik büyümeyi temsil etmiştir. Araştırma bulgularına göre yapay zekâ, seçili ülkelerde

³³⁵ Purdy M., Daugherty P., Why Artificial Intelligence is the Future of Growth, s.12-16.

ekonomik büyümeyi ortalama iki katına çıkaracaktır. Örneğin 2035 yılı itibarıyla büyüme oranları, temel senaryoda ABD için %2,6, Almanya’da %1,4 ve Japonya’da %0,8 iken, yapay zekâ senaryosunda ABD için %4,6, Almanya için %3,0 ve Japonya için %2,7 olarak tahmin edilmiştir.³³⁶ Yapay zekâ teknolojisinin çeşitli ülkelerde ekonomik büyüme üzerindeki etkisine yönelik tahminler Şekil 10’da sunulmuştur.

Şekil 10: Seçilmiş Bazı Ülkelerde Yapay Zekânın Ekonomik Büyümeye Etkisi (%)



Kaynak: Purdy M., Daugherty P., Why Artificial Intelligence is the Future of Growth, s.16

Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü’nün bir raporunda yer verilen başka bir tahmine göre, yapay zekânın 2030 yılına kadar GSYH’yi küresel ölçekte yaklaşık 16 trilyon dolar artıracığı öngörülmüştür. Buna göre, dünyadaki tüm ekonomilerin yapay zekâ teknolojilerinden faydalanacağı beklenmektedir. En çok fayda sağlayacak ülkenin ise GSYH’sine yaklaşık %26 katkı sağlanması beklenen Çin olacağı öngörülmüştür.³³⁷

1.3. Endüstri 4.0’ın Dış Ticaret İçin Önemi

Endüstri 4.0 ile başlayan ve hayatın her alanını etkileyeceğine inanılan bu değişim sürecinde, yeni teknoloji üretimi ve dolayısıyla diğer ülkelerle yapılan dış ticaret önemli bir alan olarak değerlendirilmektedir. Nitekim üretim teknolojilerindeki değişim, sadece kaynakların sektörler arasındaki dağılımını değiştirmemekte, aynı

³³⁶ Purdy M., Daugherty P., Why Artificial Intelligence is the Future of Growth, s.16.

³³⁷ Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), Industry 4.0: The Opportunities Behind The Challenge, s.26.

zamanda dış ticareti de etkilemekte ve yönlendirmektedir. Örneğin dijitalleşmenin artması kâğıtsız iletişimin gelişmesine yol açmış, bu yolla yeni nesil uluslararası ticaretin doğmasına neden olmuştur. Zira tüm ekonomi içinde dijital ekonominin payının yükselmesi hem üretimi hem de ticareti artırmaktadır. Endüstri 4.0 özelinde bakıldığında, teknolojik dönüşüm; iletişim, koordinasyon ve ulaştırma maliyetlerini azaltmak suretiyle küresel değer zincirinin³³⁸ gelişmesini ve dış ticaretin artmasını sağlamıştır.³³⁹

Ayrıca ülkelerin toplam ihracatı içerisinde ileri teknoloji ürünlerinin payının yüksek olması, üretimdeki katma değeri artıran bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Katma değeri artıran ileri teknolojiler ve bunun getirmiş olduğu kazanımlar ve elde edilen gelirler, tekrardan yeni teknolojilerin gelişmesinde, dolayısıyla Endüstri 4.0 sürecine uygun bir yapıya geçilmesinde avantaj sağlamaktadır. Bu doğrultuda Endüstri 4.0 teknolojisinin, kendi kendini besleyen bir süreç içinde ülkelerin dış ticareti üzerinde önemli bir etki yaratması beklenmektedir.³⁴⁰ Bir başka deyişle, Endüstri 4.0 unsurlarının etkin kullanımının, yüksek teknolojlili ürünler aracılığıyla ülkeleri küresel ölçekte daha rekabetçi yapması ve bu alanda başarılı olan ülkelerin ihracat performansını artırması beklenmektedir. İhracatın artması ise ülkelerin dış ticaret bilançosunu iyileştirmekte, GSYH'yi ve dolayısıyla istihdamı artırmaktadır.³⁴¹

Dünya Bankası verilerine göre, 2020 itibarıyla tutar olarak yüksek teknolojlili ürün ihracatının sanayi ürünleri ihracatı içindeki payı ABD'de %19, Almanya'da %15, Birleşik Krallık'ta %23, Çin'de %31, Fransa'da %23, Güney Kore'de %36, İsveç'te %15, Japonya'da %19 ve Singapur'da %55'tir.³⁴²

³³⁸ Küresel değer zinciri; mal ve hizmetlerin üretiminde yer alan ekonomik birimleri, bunların faaliyetlerini ve faaliyetlerin coğrafyalar arasında koordine edilmesindeki tedarik, dağıtım ve satış sonrası faaliyetleri ifade etmektedir.

³³⁹ Doğru B.N., Meçik O., "Türkiye'de Endüstri 4.0'ın İşgücü Piyasasına Etkileri: Firma Beklentileri", SDÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, C:23, Endüstri 4.0 ve Örgütsel Değişim Özel Sayısı, 2018, s.1585,1592, Erişim:07.11.2020, <https://dergi-park.org.tr/tr/download/issue-full-file/53210>

³⁴⁰ Şahin C., Ülkelerin Endüstri 4.0 Düzeylerinin Copras Yöntemi ile Analizi: G-20 Ülkeleri ve Türkiye, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Bartın, 2019, s.72, Erişim:08.11.2020, <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

³⁴¹ Özkan M., Al. A., Yavuz S., "Uluslararası Politik Ekonomi Açısından Dördüncü Sanayi-Endüstri Devrimi'nin Etkileri ve Türkiye", s.142.

³⁴² Dünya Bankası, "High-Technology Exports", Erişim:09.02.2022, <https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.TECH.MF.ZS>

2. ENDÜSTRİ 4.0'IN İSTİHDAM VE EĞİTİME ETKİSİ

Geleceğin üretim dünyasında yüksek vasıflı işlerin sayısında artış ve düşük vasıflı işlerde de azalış beklendiğinden Endüstri 4.0'ın hem iş gücü piyasasına hem de topluma etki edeceği öngörülmektedir. Dönüşüm sürecinde yaşanacak teknik ve sosyal uyumun Endüstri 4.0'ın başarısını etkileyeceği ileri sürülmektedir. Bu nedenle Endüstri 4.0 teknik olduğu kadar sosyo-ekonomik bir olgu olarak da kabul edilmektedir.³⁴³

Bir başka ifadeyle Endüstri 4.0 özünde üretim teknolojisinin değişmesi olarak açıklansa da toplum ve çalışanlar üzerinde de etkilidir. Ancak Endüstri 4.0'ın toplumsal hayatı ve çalışma hayatını nasıl etkileyeceği konusunda bazı belirsizlikler ve riskler bulunmaktadır. Robotların çalışma hayatındaki yeri, iş birlikçi robotlarda (*cobot*) yaşadığı gibi insan ve makine arasındaki iş birliği, fabrika işçilerinin sahip olması beklenen yeni beceriler, devam eden otomasyon nedeniyle iş kaybı gibi hususlar Endüstri 4.0'ın belirsizliğe sebep olduğu konulara örnektir.³⁴⁴ Öte yandan siber güvenlik kaygıları ve rekabet ortamında veri paylaşımının yaratacağı sakıncalar, çalışanların ve sendikaların ikna edilmesi süreci, yüksek nitelikli iş gücü ihtiyacı Endüstri 4.0'ın kaygı uyandıran diğer olumsuz yanları olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca işletmelerin başarılı olabilmeleri için Endüstri 4.0'ın bir bütün olarak uygulanması gerekliliği ile yatırım maliyetinin yüksekliği de Endüstri 4.0'a yönelik diğer olumsuz değerlendirmelerdendir.³⁴⁵ Endüstri 4.0'ın bu tür muhtemel olumsuzluklarına karşı değişik öneriler de getirilmektedir. Endüstri 4.0'ın sahip olmadığı ileri sürülen insani, sosyal dokunuş için önerilen "Endüstri 5.0"³⁴⁶ veya "Endüstri 4.0+"³⁴⁷ bunun en iyi örneklerinden biridir. Endüstri

³⁴³ Horváth D., Szabó R.S., "Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?", s.119.

³⁴⁴ I-Scoop İnternet Sitesi, "Industry 4.0 and the fourth industrial revolution explained".

³⁴⁵ Sony M., "Pros and cons of implementing Industry 4.0 for the organizations: a review and synthesis of evidence", Production & Manufacturing Research, C:1 S:8, s.253-261.

³⁴⁶ I-Scoop İnternet Sitesi, "Industry 4.0 and the fourth industrial revolution explained".

³⁴⁷ De Propriis L., Bailey D., "Disruptive Industry 4.0+-Key concepts", s.9.

5.0, diğer adıyla Endüstri 4.0+ ile insan ile makinenin birlikte çalıştığı, uzlaştığı, insanın ve dünyanın uzun vadeli çıkarlarının dikkate alındığı bir yaklaşım vurgulanmakta³⁴⁸ ve bu yaklaşımın özünü Endüstri 4.0 sürecinde sosyal yaşamın teknolojiye uyum sağlaması oluşturmaktadır. Japonya'nın geliştirmiş olduğu "Toplum 5.0" bu yaklaşımın ürünüdür.³⁴⁹

Endüstri 4.0 ile ilgili kaygılar bir yana, beklenen pozitif etkiler daha fazladır. Stratejik rekabet avantajı, organizasyonel etkinlik ve çeviklik, üretimde yenilikçilik (inovasyon), kârlılık, ürün güvenliği ve kalitesinin artırılması, müşteri deneyiminin iyileştirilmesi, çevresel ve sosyal faydalar bunlardan bazılarıdır. Dünya Ekonomik Forumu'nun tahminine göre Endüstri 4.0, daha geniş manada Dördüncü Sanayi Devrimi, 2025 yılına kadar 3,7 trilyon dolarlık değer yaratma potansiyeline sahiptir.^{350,351} Avrupa'da 2035 yılına kadar 420 milyar avro tutarında kâr artışı ve sermaye tasarrufu sağlanacağı ve 2035 yılında toplam istihdamın %12'sinin imalat sanayiinde çalışacağı öngörülmektedir.³⁵² Endüstri 4.0 ile birlikte önümüzdeki yıllarda bazı sektörlerde yaşanacak ekonomik beklentiler aşağıda sunulmaktadır:

- Otomotiv sektöründe gerçek zamanlı veri analitiği kullanılarak makine duruş sürelerinin azaltılması ve %10-20 oranında kalite maliyetinde düşüş,

³⁴⁸ Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B. vd., "Industry 4.0 and Industry 5.0-Inception, conception and perception", s.530.

³⁴⁹ Ulusoy T., Yasar E., Aktan M., "Impact of Industry 4.0 Revolution on Science, Technology, and Society (STS): Challenges and Opportunities in the Industry 4.0 Era", s.14.

³⁵⁰ Garms F., Jansen C., Schmitz C., Hallerstedte S., Tschiesner A., "Capturing value at scale in discrete manufacturing with Industry 4.0", McKinsey&Company, Erişim:13.09.2019, <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/capturing-value-at-scale-in-discrete-manufacturing-with-industry-4-0>

³⁵¹ Dünya Ekonomik Forumu (WEF), The Next Economic Growth Engine-Scaling Fourth Industrial Revolution Technologies in Production, s.3, Erişim: 21.06.2022, https://www3.weforum.org/docs/WEF_Technology_and_Innovation_The_Next_Economic_Growth_Engine.pdf

³⁵² Roland Berger Internet Sitesi, Think Act-Beyond Mainstream- The Industrie 4.0 Transition Quantified-How the fourth industrial revolution is reshuffling the economic, social and industrial model, s.17, Erişim: 21.06.2022, https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_industry_40_20160609.pdf

- Hızlı tüketim sektöründe³⁵³ akıllı envanter ve otomatik sipariş yoluyla envanter yönetimi maliyetinde %20-50 azalma,
- Madencilik sektöründe verimlilikte %3 artış,
- Enerji sektöründe tahmine dayalı bakım yöntemi kullanılarak bakım maliyetlerinde %45 azalma.³⁵⁴

Endüstri 4.0'a ilişkin tartışmalar devam etmekte, sürecin nasıl işleyeceği ve sonuçlarının neler olacağı konusunda farklı bilim dallarından birçok bilim insanı tartışmaya dâhil olmaktadır. Tartışmaların odağında gelecek nesillerin eğitimi ve istihdamı konularında aşağıda belirtilen alt başlıklar yer almaktadır.

2.1. Endüstri 4.0 ve İstihdam

Dünya Ekonomik Forumu tarafından 2016 yılında yayımlanan Mesleklerin Gelecekleri (*The Future of Jobs*) adlı raporda, Endüstri 4.0 kapsamında; yapay zekâ, robotik, nano-teknoloji, 3 boyutlu yazıcı, genetik ve biyoteknoloji gibi alanlardaki gelişmelerin iş modellerinde önemli ölçüde değişikliğe yol açacağı belirtilmektedir. Bu çerçevede, işletmelerin gelişmek için ihtiyaç duyduğu kabiliyetlerde büyük bir değişim öngörülmektedir. Bahse konu Rapora göre; artan robotlaşma ve otomasyon nedeniyle birçok sektörde azalan iş imkânlarına paralel olarak insanlar işsiz kalacak, buna karşın birçok yeni istihdam alanı ortaya çıkacaktır.³⁵⁵

2015-2020 yılları arasında 5,1 milyon civarında robotun yeni iş kollarında istihdam edildiği tahmin edilmektedir. Dijitalleşmeyle bir-

³⁵³ Hızlı Tüketim Sektörü (Fast-Moving Consumer Goods-FMCG), yiyecek, içecek veya kişisel bakım ürünleri gibi dünya genelinde herkesin düzenli olarak tükettiği şeylerdir. (Kaynak: İTÜ Endüstri Mühendisliği Kulübü, "Çağımızın Yükselen Devi: Hızlı Tüketim", Erişim: 21.06.2022, <https://ituemk.org/cagimizin-yukselen-devi-hizli-tuketim/>)

³⁵⁴ McKinsey&Company İnternet Sitesi, Developing the future of manufacturing, s.2, Erişim: 21.06.2022, <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Operations/How%20we%20help%20clients/Capability%20Center%20Network/PDFs/DCC%20Venice%20Brochure.pdf>

³⁵⁵ Yıldız Y., "Robot Vergisi: Yeni Nesil Bir Maliye Politikası Aracı", Maliye Dergisi, Temmuz-Aralık 2019, s. 309, Erişim:26.12.2020, <https://ms.hmb.gov.tr/uploads/2020/03/015-Yeni-nesil-maliye-Pol-Arac%C4%B1Robot-Vergisi.pdf>

likte geleneksel iş kollarında çalışan 7,1 milyon kişinin işsiz kalması ve bu kişilerin %30'unun ofis ve idari yönetim çalışanlarından olması beklenmektedir. Bu gelişmelerden çoğunlukla beyaz yakalılar³⁵⁶ etkilenecektir. Bunun yanı sıra yazılımcı, programcı, veri analisti gibi "küçük meslekler" olarak nitelendirilebilecek iki milyon yeni iş kolu ortaya çıkacaktır. Bazı projeksiyonlara göre; dünya genelinde bu dönemde ilkokula başlayan çocukların %65'inin henüz mevcut olmayan işlerde çalışması olasıdır. Ancak "Mesleklerin Geleceği" başlıklı rapora göre; robotların, üretkenlik ve yetenek bakımından daha verimli olan insanların yerini tümüyle alması henüz ihtimal dâhilinde görülmemektedir.³⁵⁷

Yine Rapora göre; Endüstri 4.0'la birlikte mimarlık ve mühendislik, bilgisayar ve matematik tabanlı meslek gruplarında yüksek bir iş gücü talep artışı beklenmektedir. Ayrıca veri analizi uzmanlığı ile nitelikli satış temsilciliğinin kritik öneme sahip meslek grupları arasında yer alacağı değerlendirilmektedir.

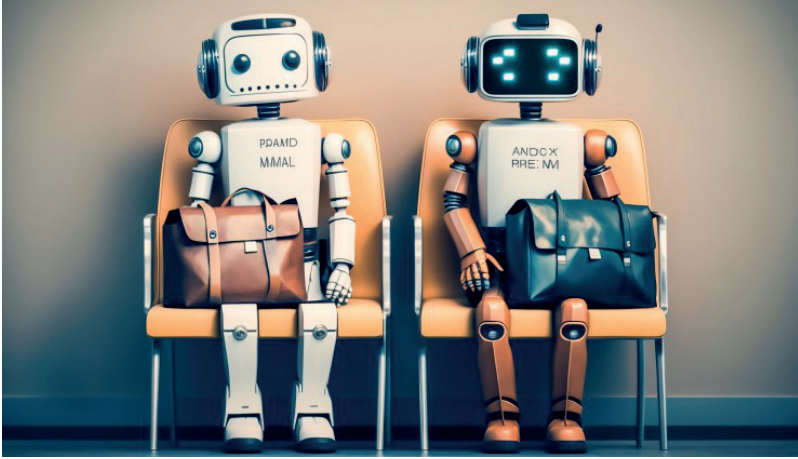
2016 yılında gerçekleşen Dünya Ekonomik Forumu toplantısında, ağırlıklı etkisini üretim alanında hissettirecek dönüşümün; iş gücünün büyüklüğünden kazanılması gereken yeni becerilere, hatta fabrikaların lokasyonuna kadar birçok şeyi etkileyeceği belirtilmiştir.

Oxford Üniversitesi tarafından yapılan bir araştırmanın sonuçlarına göre dijitalleşme nedeniyle ABD'deki mesleklerin %47'si risk altındadır. 1970'lerde ABD'de üretim alanında çalışanlar, istihdamın %25'ini oluştururken bugün bile bu oran %10 seviyelerine kadar gerilemiştir.

³⁵⁶ Beyaz Yakalılar: Bedensel değil daha çok zihinsel gücüyle, masa başında çalışır. Memurdan yönetici pozisyonuna kadar geniş bir grup bu kapsam içinde yer alır. Mavi Yakalılar: Beden gücüyle, maaş veya süreli ücret karşılığı çalışan işçilerden oluşur. Mavi yakalılar el emeğine dayanan işlerde çalışır.

³⁵⁷ Doğru S., Endüstri 4.0 ile Gelen Dijital Dönüşüm ve Risk Altındaki Meslekler, STM Teknolojik Düşünce Merkezi, Mayıs 2018, s.4-5, Erişim:26.12.2020, https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/175201817161355_stm_endustri_40.pdf

Görsel 5: Endüstri 4.0 ve İstihdam



Günümüzde pek çok şirket, 10-15 yıl öncesine kıyasla daha düşük depolama, nakliye ve çoğaltma maliyetiyle daha az sayıda işçi çalıştırarak üretim yapabilmektedir. Bu durum, teknolojik gelişme ile istihdamın ters orantılı olduğunun en önemli göstergesidir. Boston Consulting Group (BCG) tarafından Birleşik Krallık, Almanya ve Fransa'daki şirketlere yönelik gerçekleştirilen bir araştırma, şirketlerin veri bilimi (%49), yazılım geliştirme (%48) ile programlama (%46) gibi beceri ve yetkinliklere gelecekte daha çok ihtiyaç duyacağını, makine operasyonlarıyla veya kas gücüyle yapılan işlere duyulan gereksinimin ise azalacağını öngörmektedir.³⁵⁸

Endüstri 4.0'ın iş gücü piyasası üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri olacağı yönünde çeşitli tartışmalar bulunmakla birlikte yeni mesleklerin ortaya çıkacağı yönünde genel bir kabulden bahsetmek mümkündür. "Geleceğin Meslekleri" başlıklı çalışmalar Endüstri 4.0 kavramıyla tekrar gündeme gelmiştir. Hem akademik hem de saha araştırmalarına dayanan verilere göre gelecekte öne çıkması beklenen meslek grupları aşağıda bir tablo haline getirilmiş ve genel özelliklerine değinilmiştir.

³⁵⁸ Doğru S., "Endüstri 4.0 ile Gelen Dijital Dönüşüm ve Risk Altındaki Meslekler", s.4-5.

Tablo 6: Geleceğin Meslekleri ve Özellikleri

	Meslekler	Özellikleri
1	Endüstriyel Veri Bilimciliği	Veri bilimci; bilgi odaklı keşifler yapabilen, bulunduğu ortama dair mevcut durumu tanımlayan, sınıflandırıcı olan ve durum hakkında gelecekle ilgili tahminleri yazılım kullanarak yapabilen kişidir. Farklı araçlar kullanarak elindeki veriyi betimler. Yapılan çalışmalar hakkında çıkarımlar yapar.
2	Robot Koordinatörlüğü	Üretim alanındaki robotları denetlemek ve arıza veya hata sinyallerine karşılık müdahale etmekle görevli kişidir. Aynı zamanda rutin ve acil bakım işlerini yürütmek ve gerektiğinde uzmanlara başvurmakla görevlidirler.
3	Endüstriyel Bilgisayar Mühendisliği	İnsan, malzeme, bilgi, donanım ve enerjiden oluşan entegre sistemlerin tasarımı, geliştirme ve kurulumu ile ilgilenir. Fizik, matematik ve sosyal bilimlerdeki bilgi ve becerileri ile birlikte mühendislik metot ve prensiplerini de kullanarak tasarladığı sistemden elde edilecek sonuçları belirler, tanımlar ve değerlendirir.
4	Bulut Hesaplama Uzmanlığı	Bulut bilişimle ilgili planlama, tasarım, bakım, yönetim ve destek sağlayan ve tüm teknolojik görevlerden sorumlu bilişim uzmanıdır.
5	Veri Güvenliği Uzmanlığı	Veri güvenliği uzmanı çalıştığı kuruma ait verilerin güvenli bir şekilde korunması için önlemler alır, bu alana yönelik sistemlerin kurulumunu yapar ve olası sorunları belirler.
6	Şebeke Geliştirme Mühendisliği	Özel şirketlerin veya kamu kurumlarının, kurum içi veya kurum dışı online iletişim ağını kurmaktan sorumludur. Bunun yanı sıra tutarlı şekilde sürdürülebilir iletişim tekniklerini destekleme, geliştirme işlerini de üstlenir.
7	3B Yazıcı Mühendisliği	Bilgisayar yazılım programlarını kullanarak tasarımların üç boyutlu modelini veya nesnelerin görsellerini oluşturan mühendisliktir. Nesnenin yapısal fizibilitesini test etmek veya bitmiş ürünü doğru bir şekilde temsil etmek için mevcut skeç veya fikirleri modellere çevirir.

	Meslekler	Özellikleri
8	Giyilebilir Teknoloji Tasarımcılığı	Aksesuar olarak giyilebilen, giysiye gömülü olarak kullanılabilen ve kullanıcının vücuduna yerleştirilebilen elektronik cihazları tasarlayan kişidir. Genellikle sağlık ve zindelle ilgili izleme bilgilerini içeren teknoloji cihazlarını tasarlar.
9	Dijital Dedektif	Zarar gören veya silinen verileri kurtarır. Dijital saldırı esnasında hedef alınan verileri tespit eder. Siber suçları/suçluları tespit etmek için dijital verileri toplayıp üst mercilere delil olarak sunar. Sistem üzerinde oluşabilecek tüm güvenlik açıklarını bulmaya çalışır.
10	Alternatif Enerji Danışmanı ve Teknisyeni	Ülkenin alternatif enerji stratejisinin ve politikalarının belirlenmesine katkıda bulunur. Alternatif enerji kaynaklarının tanımlanması, üretimi, işletilmesi, dağıtımı ve tüketimi aşamalarında görev yapar. Sistemleri geliştirmek ve denetlemek için testler ve deneyler yapar.
11	Nesnelerin İnterneti Uzmanı	Nesnelerin interneti, internete bağlı cihazlar topluluğudur. Nesnelerin interneti uzmanı cihazları birbiriyle uyumlu olacak şekilde programlamayı bilen, cihazların birbirleriyle anlaşabilmelerini sağlayan kişilere denir.

Kaynak: Aksakal Y., Ülgen B., "Yapay Zekâ ve Geleceğin Meslekleri", TRT Akademi, C:6,S:13, Eylül 2021, Erişim:27.06.2022, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1873421>

Endüstri 4.0 ile birlikte üretim süreçlerinde yaygınlaşan dijitalleşmenin, önümüzdeki on yıllarda emek talebinde kalıcı bir daralmaya yol açması beklenmektedir. Dijitalleşme ile birlikte sektörlere göre istihdam olgusu aşağıda çeşitli başlıklar altında ele alınmıştır.

2.1.1. Bilişsel Otomasyon ve İstihdam

Bilişsel otomasyon; yazılım robotlarının, bir insanı taklit ederek önceden tanımlanmış pek çok görevi yapmasını sağlayan teknoloji olarak tanımlanabilir. Bu robotlar insanlar gibi e-postaları kontrol edebilir, fatura tutarı doğrulaması yaparak fatura kesebilir, izin veri-

len uygulamalara girerek görevlerini hatasız bir şekilde tamamlayıp sistemden çıkış yapabilirler.³⁵⁹

Bilişsel otomasyon, insanların hem çalışma şeklini hem yaşama şeklini değiştirebilmektedir. Otomasyon, verimlilik artışını, şirketlerin ve ülkelerin rekabet gücünün korumasını sağlamaktadır. Yeni ürün ve hizmetlerin sunulmasında yeni iş modelleri ortaya çıkarmakta ve şirketlerin bu ürün ve hizmetleri sunma süreçlerindeki verimliliği ve esnekliği artırmaktadır.³⁶⁰

2.1.2. Güvenlik ve Emniyet

Endüstri 4.0 ülkelerin güvenliği ve emniyeti açısından çok önemli roller üstlenmektedir. Yapay zekânın "makine öğrenme algoritmalarına" uygulanması sonucunda; savunma sanayiinde gerek üretim gerekse imalat sırasında uygun verilere ulaşmak ve bunları işlenebilecek hale getirip fayda sağlamak ve bu nedenle yapay zekâ yardımıyla çalışan her sistem gibi otonom sistemleri geliştirmek mümkündür. Yapay zekâ, silah sistemlerinin üretiminde ve ülkelerin savunma sanayilerinde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Otonom silahlar için oluşan veri ihtiyacı mobil cihazlardan, kameralardan, sensörlerden ve uydu görüntülerinden elde edilmekte, askerî alanda kullanıma hazır hale gelmektedir. Aynı zamanda veriler toplanarak depolanmakta, ayrıştırılmakta ve analiz edilmektedir. Yapay zekânın bu verileri toplamak ve ayrıştırmak için kendi kendini eğitmesi de mümkündür. Ülkelerin savunma sanayi yalnızca askeri kuvvetlerine hizmet etmemektedir. İç güvenliklerini sağlamak için güvenlik güçleri ve polisler için de yapay zekâ algoritmalarına ve veri analizi yapabilecek programlara ihtiyaç duyulmaktadır. İmalat ve savunma sanayinin temel taşları olarak nitelendirilen bakım ve onarım süreçleri de yapay zekâ kullanımını gerektirdiğinden kalifiye personelin savunma sektöründe daha fazla istihdam edilmesi beklenmektedir.³⁶¹

³⁵⁹ STM Teknolojik Düşünce Merkezi, Günümüzde ve Yakın Gelecekte Robotlar, Nisan 2021, s.3, Erişim:28.02.2022, https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1619621283_stm-outlook-robotlar.pdf

³⁶⁰ STM Teknolojik Düşünce Merkezi, "Günümüzde ve Yakın Gelecekte Robotlar", s:4

³⁶¹ Özkurt C., Savunma Sanayinde Dijitalleşmenin Kurumsal Niteliklere Etkisinin Yapay Zekâ Yöntemleri ile Öngörülmesi: Sakarya İli Örneği, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Temmuz 2020, s. 30, Erişim: 28.02.2022 <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/bitstream/handle/20.500.12619/96803/T09389.pdf?sequence=1>

2.1.3. Depo Lojistiği

Otonom çalışan sürücüsüz araçlar, kaptansız gemiler, pilotsuz uçaklar, dronlarla yapılan teslimatlar, bulut teknolojisi ve süreçlerin dijital platformlara taşınması lojistik sektöründe yeni iş yapma süreçlerinin oluşturulmasına olanak tanımaktadır.³⁶²

Görsel 6: Operasyonel Lojistik



Endüstri 4.0'ın lojistik sektöründe istihdam noktasında önemli etkilerinin olabileceği düşünülmektedir. Endüstri 4.0'ın lojistiğin operasyonel alanlarında personel ihtiyacını azaltacağı düşünülmektedir. Buna karşın lojistik süreçlerin taktik ve strateji yoğun alanlarında ise kalifiye personel ihtiyacının artacağı tahmin edilmektedir.³⁶³

2.1.4. Tehlikeli İşler

Endüstri 4.0'ın, tehlikeli işlerde çalışanların can güvenliğini artırması ve yaralanmaları azaltmasının yanı sıra tüm sektörlerde de iş sağlığı ve güvenliğini iyileştirmesi beklenmektedir.

³⁶² Özdemir A., Özgüner M., "Endüstri 4.0 ve Lojistik Sektörüne Etkileri: Lojistik 4.0", İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi C:6, S:4, 2018, s.39, Erişim: 28.02.2022, [https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/842544#:~:text=End%C3%BCst-ri%204.0%20ile%20birlikte%20makinelere,gelecektir%20\(Tavuk%C3%A7u%C4%9Flu%2C%202017\).](https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/842544#:~:text=End%C3%BCst-ri%204.0%20ile%20birlikte%20makinelere,gelecektir%20(Tavuk%C3%A7u%C4%9Flu%2C%202017).)

³⁶³ Özdemir A., Özgüner M., "Endüstri 4.0 Ve Lojistik Sektörüne Etkileri: Lojistik 4.0", s. 43.

Endüstri 4.0'un tehlikeli işler için beklenen faydaları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:³⁶⁴

- Tehlikeli görevler için optimize edilmiş sevkiyat sistemlerinde çalışanlar için sağlık ve güvenlik standartlarının iyileştirilmesi,
- Yaygınlaşan otomasyon sistemi ile fiziksel olarak zorlayıcı operasyonlarda ergonomik iyileştirmelerin yapılarak çalışanlara yardımcı olunması,
- Ağır parçaların kaldırılması, hassasiyet isteyen parça montajları gibi beden gücü isteyen işlerin robotlar tarafından yapılarak çalışanların beyin gücünden yararlanılmak üzere daha değerli işlere yönlendirilmesi ve aynı zamanda genel sağlık ve güvenlik standartlarının yükseltilmesi,
- Teknolojinin sürekli güncellenerek yeni tehditlere karşı güvenliğin sağlanması, çalışan için oluşabilecek tehlikeli durumların önüne geçilmesi ve gelecek tehditlere karşı stratejiler geliştirilip önlemler alınabilmesi,
- Sanal gerçeklik teknolojisi ile görüntü açısı, sesler ve vücuda takılan sensörler ile çalışanları uzaktan da iş ortamında hissettirerek onlara daha etkin iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri sunarak zaman ve maliyet avantajı sağlanması.

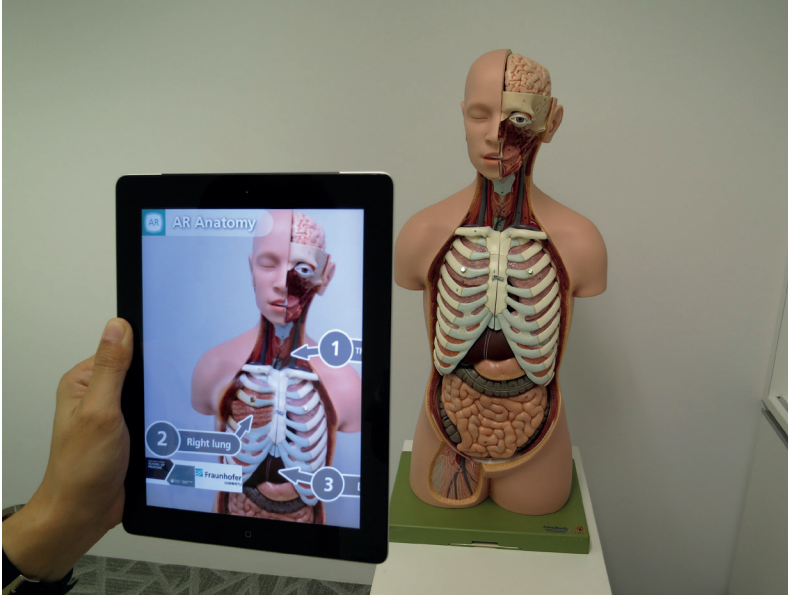
2.1.5. Sağlık Sektörü

Endüstri 4.0 sağlık alanında, hastane bilgi sistemlerinden görüntü analizi sağlamaya, laboratuvar ölçüm cihazlarından ilaç sektörüne; hastalar, profesyoneller ve diğer paydaşlar için sağlık hizmetlerinde sanallaşma, kişiselleştirme ve sağlık endüstrisinin teknolojiyle genel olarak iyileştirilmesini hedeflemektedir.³⁶⁵

³⁶⁴ Yaşam İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetleri (YİSGÜM) İnternet Sitesi, "Endüstri 4.0'ın İş Güvenliğine Etkileri", Erişim: 28.02.2022, <http://www.yisgum.com/blog/endustri-40in-is-guvenligine-etkileri>

³⁶⁵ Koştı G., Burmaoğlu S., Kıdak L., "Sağlık 4.0: Sanayide Öngörülen Gelişimin Sağlık Sektörüne Yansımaları", Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, C:24, S:3, 2021, s.488-489, Erişim: 28.02.2022 <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1560472>

Görsel 7: Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Sağlık Sektöründe Uygulama Örneği



Endüstri 4.0, sağlık sektöründe “hastanelerin dijitalleşmesi” sürecine ciddi katkılarda bulunmuştur. Bu kapsamda hekim, hasta, hizmet sunumu, verilerin işlenmesi, hasta takibi gibi birçok konu dijital ortama aktararak ilgili verilere kolayca erişilebilmektedir. Endüstri 4.0’ın “hastanelerin dijitalleşmesi” sürecine katkısı aşağıda belirtilmektedir:³⁶⁶

- Bütün veriler, dokümanlar ve tıbbi görüntüler, elektronik ortamda işlem görebilmektedir.
- Hastanede kullanılan tüm cihazlardan gelen veriler Hastane Bilgi Yönetim Sistemine (HBYS) entegre edilmektedir. Bu cihazlardan alınan veriler ile klinik yolak oluşturulması ve hekim ile hemşirelere kılavuzluk etmesi sağlanabilmektedir.
- Sağlık bilgi yönetim sistemlerinden (SBYS) alınan tüm verilerin analizi eş zamanlı olarak yöneticiye iletilebilmekte, oluşturulan

³⁶⁶ T.C. Sağlık Bakanlığı, Tam Donanımlı Dijital Hastane Kılavuzu, s. 12-13, Erişim: 28.02.2022 <https://dijitalhastane.saglik.gov.tr/Eklenti/23473,tam-donanimli-dijital-hastane-kilavuzupdf.pdf?0>

iş zekâsı ile kurum için katma değerler çıkarılıp uygulamaya konulabilmektedir. Sistem, veriler ile analiz yapabilmektedir.

- HBYS’de hekim ve hemşirelere ait şablonlar, yönlendiren uyarılar ve gelişmiş karar destek sistemleri bulunmaktadır.
- İlaç yönetimi, kan ürünleri, anne sütü yönetimi ve kan numunesi işlemi için “beş doğru kuralı” (doğru zaman, doğru hasta, doğru doz, doğru uygulama yolu, doğru ilaç/kan ürünü/anne sütü) hemşirelik uygulamaları esnasında sistem üzerinden izlenebilmekte ve kaydedilebilmektedir.
- Hastanenin tüm işleyiş ve fonksiyonel şartlarını ve süreçlerini karşılayabilecek en güncel bilgi sisteme dâhil edilebilmektedir.
- Verimliliği arttırmak ve kaliteyi iyileştirmek amacıyla servis ve ürün kalitesinin sürekliliği izlenebilmekte ve değerlendirilebilmektedir.
- Daha iyi, daha etkin ve daha kaliteli bir sağlık hizmeti sunabilmek için ilgili tüm klinik ve destek personelinin hasta verisine gizlilik ve mahremiyet ilkeleri çerçevesinde zamanında ve kolayca erişmesini ve farklı süreçler için bu verinin paylaşılabilmemesini sağlayan işlevsellik sunulabilmektedir.
- Hastaya yönelik bilgiye zamanında, kolay ve doğru bir şekilde ulaşılması sağlanabilmektedir.

2.2. Endüstri 4.0 ve Eğitim

Endüstri 4.0 ile eğitim arasındaki ilişki; temel olarak bilişim teknolojileri ile endüstriyel süreçleri bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Bu anlamda Endüstri 4.0’ın ihtiyaçlarını tamamlayacak yeni bir eğitim modeline, diğer bir deyişle “Eğitim 4.0” a ihtiyaç olduğu değerlendirilmektedir. Eğitim 4.0 ihtiyacı endüstrileşme sürecine paralel olarak çeşitli aşamalardan geçmektedir. Anlatım ve ezber odaklı süreçten bilgisayar ve internet odaklı sürece, bu süreçten bilgi üretimi odaklı sürece ve oradan da inovasyon ve üretim odaklı sürece geçilmesi sağlanmaktadır.

Endüstri 4.0 eğitim modeli; üst düzey düşünme becerileri gelişmiş, dijital teknolojiden yararlanan, kişiselleştirilmiş veri ve açık kaynak içeriği kullanan, küresel anlamda bağlantılı olan, teknolojik dünyanın ihtiyaçlarına cevap verebilen nitelikte, bilgiyi üreten ve transfer edebilen, tasarımcı bireyler ve organizasyonları içermektedir.

Endüstri 4.0; bireylere, çocukluktan okul dönemine, oradan iş hayatına sürekli öğrenmeyi sağlayan, güçlü bir rol edininip fark oluşturmalarına yardımcı olan bir eğitim sistemini öngörmektedir. Açıklık ilkesi, kişiselleştirme, enformel eğitim programları, mekân ve zamandan bağımsız yeni eğitim yaklaşımları ile sanal gerçeklik, bulut-taki sınıf, interaktif kitaplar, video ve animasyonlar gibi yeni eğitim teknolojileri desteklenmektedir. Bu süreçte öğretmenler sadece bilgi aktaran değil, beceri kazandıran, birlikte yapan, mesleki ve kişisel açıdan kendini sürekli geliştiren birey olarak görülmektedir.³⁶⁷

2.2.1. Teknolojinin Kullanımı: Anlamak, Tasarlamak ve Geliştirmek

Teknoloji, insanların gereksinimlerine uygun yardımcı araç ve aletlerin yapılması veya üretilmesi için gerekli olan yetenek ve bilgisidir. Geçmişte devrimler; buluş, keşif ve icatlara dayalı olarak gerçekleşmekteydi. Günümüzde insanoğlu sahip olduğu bu bilgi birikimini (buluş, keşif, icat vs.) geliştirmek, değiştirmek ve yenilemek suretiyle yeni bir endüstri devrimini başlatmıştır. Örneğin matbaanın icadıyla eserlerin basımı ve çoğaltılması mümkün hale gelmiştir. Ancak günümüz teknolojisi; bilgisayar, cep telefonu, tablet vs. aracılığıyla eserlerin basımı ve çoğaltılmasını geliştirmiş, matbaaya gitmeden tek tuşla yazıcıdan istenilen ölçülerde ve nitelikte ürün almayı mümkün hale getirmiştir. Teknolojik inovasyona dayalı bu süreç ürün, hizmet ve pazarlama ağlarının oluşumunu ve entegrasyonunu yeniden tanımlamaktadır.

Endüstri 4.0'a adapte olabilmek için eğitimde reformlara ihtiyaç duyulabilir. Endüstri 4.0 için gerekli olan teknolojinin tasarlama, geliştirme, üretme ve üretilen teknolojiyi kullanabilme aşamalarını sağlayabilecek insan gücünün eğitilmesi gerekmektedir. Örneğin bu süreçte okul öncesinden itibaren kodlama dersleri verilebilir. Bu sayede öğrenciler analitik ve sistematik düşünme yetisi kazanabilirler. Ayrıca finansal okuryazarlık eğitimi verilerek istekle ihtiyaç arasındaki farkı anlayan bireylerin yetiştirilmesi mümkündür. Böylece öğrenciler ekonomik mevzularda karar verme, tercihlerinde bilinçli davranma ve eldeki kaynakları doğru kullanma yetisi kazanırlar. Öte yandan okullarda liderlik ve girişimcilik dersleri verilmesiyle birey-

³⁶⁷ Demir A., "Endüstri 4.0'dan Eğitim 4.0'a Değişen Eğitim-Öğretim Paradigmaları", Journal of Turkish Studies, C:3, S:15, 2018, s.147, Erişim:26.12.2020, <https://app.trdizin.gov.tr/makale/TXpBd05UYzVPUT09/endustri-4-0-dan-egitim-4-0-a-degisgen-egitim-ogretim-paradigmaları>

lerin eğitimlerini tamamladıktan sonra iş hayatına kolayca adapte olabilmesi sağlanır. Eğitim alanında okul öncesinden doktora seviyesine kadar tüm eğitim düzeylerinde Endüstri 4.0'ın teknolojik unsurlarını günümüz becerileriyle bütünleştiren müfredatlar hazırlanarak öğrencilerin gelişimleri sağlanabilir.³⁶⁸

2.2.2. STEM-A (Science, Technology, Engineering, Math and Art) Eğitimi

Bilim ve teknolojiye meydana gelen değişimler, ülkelerin bireylerden bekledikleri özelliklerin değişmesine neden olmaktadır. Ülkeler eleştirel düşünen, sorgulayan, yaratıcı; fen, matematik ve teknoloji okuryazarı, web araçlarını iyi kullanan ve Endüstri 4.0 konusuna hâkim bireylere ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden konunun bilincinde olan bazı ülkeler bireylerin bu özelliklerini geliştirmek için sürekli eğitim programlarında değişikliğe gitmiş ve gitmeye de devam etmektedir. Bu değişikliklerden biri de STEM-A (Fen Bilimleri, Teknoloji, Mühendislik, Matematik artı Sanat) eğitimi ile ilgili değişikliklerdir. STEM-A eğitimi, bilim, teknoloji, mühendislik, matematik ve sanat alanlarının bütünleşik bir şekilde verildiği eğitim yaklaşımıdır. Bugün birçok ülkede STEM-A eğitimi formal ve enformel eğitim ortamlarında uygulanmaktadır. STEM-A formal eğitim ortamlarında özellikle farklı strateji, yöntem ve teknikler aracılığıyla öğretilmektedir. Bu yöntem, teknik ve stratejilerden bazıları proje tabanlı öğrenme, argümantasyon temelli öğrenme ve 5E öğrenme modelidir.³⁶⁹ Endüstri 4.0 ile STEM-A arasındaki ilişki özellikle mesleki eğitim alanında önem kazanmaktadır. STEM-A eğitim yaklaşımı, Endüstri 4.0'la ortaya çıkan yeni teknolojileri eğitim müfredatına dâhil edebilmektedir.

Bahse konu teknolojik unsurların bir kısmı hâlihazırda üretim sistemlerine hatta günlük hayata girmiş durumdadır. Bu kapsamda, teknoloji yoğun mesleklerin önemi, müfredatta yer alması ve bu teknolojilerin altında yatan mantığın gençler tarafından özümsemişi büyük önem taşımaktadır.³⁷⁰

³⁶⁸ Çelik K., Güleriyüz S., Özköse H., "Endüstri Devrimine Kuramsal Bakış", Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, C:5, S:9, 2018, s.93, Erişim:26.12.2020 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/596406>

³⁶⁹ 5-E Öğrenme Modeli: 1-Dikkat çekme-giriş (Engage-Enter) 2-Keşfetme (Explore) 3-Açıklama (Explain) 4-Derinleştirme (Elaborate) 5- Değerlendirme (Evaluate)

³⁷⁰ Yıldırım B., "Bağlam Temelli Öğrenmeye Uygun Olarak Hazırlanmış Stem Uygulamalarının Etkilerinin İncelenmesi", Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi, S:26, s. 1-2, Erişim:26.12.2020, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/500223>

2.2.3. Eğitimde Temel Değişim ve Dönüşüm Noktaları

Endüstri 4.0'ın gerektirdiği her alanda tasarlayan, geliştiren, üreten ve üretilen teknolojiyi kullanabilen insan gücünün eğitimi kaçınılmaz bir gerçektir. Endüstri 4.0 ile birlikte üst düzey düşünme becerilerine sahip bireyler, problemleri doğru hissetme ve tanımlama (eleştirel düşünme), çözümü için yenilikçi fikirler üretme, doğru yöntem ve teknikleri kullanma (bilimsel ve analitik düşünme) becerilerini kazanmış olacaklardır. Bu durum okul öncesi, ilköğretim, ortaöğretim, yükseköğretim ve yaşam boyu öğretim de dâhil olmak üzere çok geniş bir perspektifte birbirleriyle bütünleşmiş ve etkileşimli olarak düşünülmesi, planlanması, tasarlanması ve uygulanması gereken bir konudur.³⁷¹

Tablo 7: Eğitimde Temel Değişim ve Dönüşüm Noktaları

Değişim Noktaları	Dönüşüm Noktaları
Eğitimde Yer ve Zaman	Her yerde ve her zaman eğitim/öğrenim anlayışı hâkim olacaktır. Bireyler kendi anlayış ve kavrayışları doğrultusunda uzaktan eğitim alabileceklerdir. Teorik bilgiler sınıf dışında elde edilebilecektir. Pratik bilgiler ise yüz yüze eğitimin temel taşlarını oluşturacaktır.
Eğitimin Kişiselleşmesi	Öğrencilerin öğrenme hızları ve durumlarına göre eğitimin içerikleri de zenginleştirilebilecektir. Öğrenciler bir konuyu anlamakta zorluk çekerler ise o konunun üstesinden gelinceye kadar tekrar tekrar eğitim alabileceklerdir. Ayrıca öğretmenler de hangi öğrencilerin hangi konularda daha fazla desteğe ihtiyacı olduğunu görebilecektir. Diğer bir deyişle, öğrencileri eğitim sistemine uydurmak yerine sistemi öğrencilerin kabiliyet ve yeteneklerine göre şekillendirmek mümkün olabilecektir.
Dijital Okuryazarlık	Dijital okuryazarlık, kullanıcıların dijital ortamda etkin şekilde çalışabilmeleri için gerekli olan karmaşık, bilişsel, sosyolojik ve duygusal becerileri içermektedir. Ekrandaki talimatları okumak, bunun yanı sıra yeni anlamlı materyalleri bu ortamda oluşturmak, dijital ortamdaki bilginin kalitesini ve geçerliliğini değerlendirmek dijital okuryazarlık faaliyetleri içerisinde yer almaktadır.

³⁷¹ Öztemel E., "Eğitimde Yeni Yönelimlerin Değerlendirilmesi ve Eğitim 4.0", Üniversite Araştırmaları Dergisi, C:1, S:1, Nisan 2018, s. 27, Erişim: 26.12.2020, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/451373>

Değişim Noktaları	Dönüşüm Noktaları
Proje Bazlı Öğrenme ve Çalışma	Öğrenci merkezli aktif öğrenme süreçlerinin gerçekleşmesini sağlayan çağdaş bir öğrenme yaklaşımıdır. Öğrenciler, yaşamlarında karşılaşılabilecekleri sorunları, sınıf ve diğer ortamlarda farklı disiplinlerle bağlantı kurarak ve bir senaryo çerçevesinde ele alarak çözmeye çalışırlar. Okulda öğrenilenler proje süreci ile hayata bağlanmakta, gerçek yaşam sorunlarının çözümü için öğrenciler edindikleri bilgileri anlamlandırmaya ve kullanmaya zorlanmaktadır. Bu yaklaşımla öğrenci kendi öğrenme profilini tanımak ve "öğrenmeyi öğrenmek" durumunda kalmaktadır.
Esnek Öğrenme	Esnek öğrenme modelinde, öğrenen kişi öğrenme zamanını belirlemekte esnektir. Tüm öğrenenlerin bilgi düzeylerine ve yeteneklerine göre hazırlanmış birçok ünite vardır. Öğrenenler geçmiş yaşantılarına ve hazır bulunuşlarına göre öğrenmeye istedikleri noktadan başlayabilirler.
Sürekli Öğrenme	Sürekli öğrenme; gelişen ve değişen teknolojik bir çağda, bireylerden beklenen temel nitelikler arasında yer almaktadır. Teknolojinin hem tasarımı ve geliştirilmesi aşamasında hem de anlama ve kullanma aşamasında sürekli öğrenme temel bir ilke haline gelmiştir.
Sınav Şeklinin Değişmesi	Endüstri 4.0 ile sınav şekli de değişmektedir. Artık TOEFL, ACT, IELTS gibi sınavlar çevrimiçi ortamda gerçekleşmektedir. Ayrıca lise ve üniversiteler artık yazılı veya klasik sınav yerine proje bazlı çalışmaları başarının bir göstergesi olarak değerlendirmektedir. Vize ve finaller kadar öğrencilerin dijital ortamda gerçekleştirdiği ödevler de oldukça önem kazanmıştır.
Eğitsel Veri Madenciliği	Eğitsel veri madenciliği eğitimde kullanılan bilgi ve iletişim teknolojileri ile üretilen verilerin, çeşitli yöntemlerle analiz edilerek eğitim içerisinde yer alan aktörler için anlamlı bilgilere dönüştürülmesi sürecidir.

Kaynak: Güldal H., Çakıcı Y., "Eğitsel Veri Madenciliği", Balkan Eğitim Araştırmaları, 2017, s.1, Erişim: 26.12.2020, https://www.researchgate.net/publication/321098785_Egitsel_Veri_Madenciligi

V. BÖLÜM: ÜLKELERİN ENDÜSTRİ 4.0'A UYUMU VE ÜLKE ÖRNEKLERİ

Endüstri 4.0 kavramı her ülkede aynı isimle zikredilmediği gibi³⁷² kavramın bileşenleri açısından değerlendirildiğinde ülkelerin bu alana uyumu da farklılık arz etmektedir. Bazı ülkeler kavramı bütüncül ve sistematik bir bakış açısıyla ele alıp bu alanda lider olma amacı taşıırken, bazıları kısmî bir uyum sürecinde, diğer bir kısım ülke ise kavrama oldukça uzak bir yerde bulunmaktadır. Ülkelerin teknolojik düzeyi ve adaptasyon kabiliyeti, kurumsal kültür, altyapı ve kapasite, kamusal farkındalık ve yönlendirme, vizyon ve öngörü gibi birçok faktör Endüstri 4.0 uygulamalarını etkilemektedir.

Bölge bazında değerlendirildiğinde Kuzey Amerika, Avrupa ile Çin, Japonya ve Güney Kore'yi içine alan ve Asya cebi olarak adlandırılan bölge, üretimde teknolojiyi benimsemiş bölgeler arasında yer almaktadır. Dünyanın geri kalanının ise bu bölgelerin oldukça gerisinde olduğundan söz edilebilir. Genel olarak iş gücü maliyetinin yüksek olduğu ülkelerde teknolojik uyumun, yatırımın getirisi- ne olan olumlu etkisi nedeniyle bu ülkelerin teknoloji yatırımlarının yüksek olduğu bilinmektedir. Ancak düşük ücretli iş gücüne sahip olan Çin bir istisnadır. Teknoloji türü bazında bakıldığında Asya robot pazarında lider iken yapay zekâ alanında Kuzey Amerika açık ara öndedir. 3B yazıcılarda ise Kuzey Amerika lider iken diğer bölgeler ona yakın bir yerde durmaktadır.³⁷³

Avrupa ülkelerinin Endüstri 4.0'a uyumu değerlendirildiğinde bu alanda ülkelerin dört sınıfa ayrıldığından bahsedilebilir. Almanya, İsveç, Avusturya ve İrlanda gibi ülkeler önemli mesafe kat etmiş olup

³⁷² Toplum 5.0, Akıllı Endüstri, Geleceğin Endüstrisi (Industrie du Futur), Birleşik Endüstri 4.0 (Industria Conectada 4.0), Manufacturing USA, Made in China 2025 gibi isimlerle birçok ülkede Endüstri 4.0 benzeri girişimlerin yer aldığı bilinmektedir. (Kaynak: <https://www.euautomation.com/4sight>)

³⁷³ Dünya Ekonomik Forumu (WEF), Technology and Innovation for the Future of Production: Accelerating Value Creation, Mart 2017, s.10, Erişim:07.01.2020, http://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Technology_Innovation_Future_of_Production_2017.pdf

önde gelen ülkeler arasında yer almaktadır. Finlandiya da bu alanda önde gelen ülkeler arasında olma yolundadır. Belçika, Danimarka, Hollanda, İngiltere ve Fransa’da güçlü bir endüstriyel altyapı bulunmasına rağmen bu yapıyı yeni nesil teknolojiyle buluşturma konusunda atılan adımlar yeterli görülmemektedir. Bu ülkeler, “ilerleme potansiyeline sahip ülkeler” arasında değerlendirilmektedir. Genellikle Güney Avrupa’daki bazı ülkeler, “gelenekseller” olarak adlandırılmakta olup kısıtlı bir sanayi altyapısına sahiptirler ve bu alanda gelişimden uzaktırlar. Son olarak diğer Güney ve Doğu Avrupa ülkeleri, “mesafeliler” grubunda olup gerek sanayi sektörü altyapısı gerekse mali açıdan ele alındığında gelecek için bu alanda uyum kabiliyetleri düşük ülkeler olarak değerlendirilmektedir.³⁷⁴

Her ne kadar Endüstri 4.0 belirli bir sanayileşme geçmişine sahip ve gelişmişlik düzeyi yüksek ülkelerde daha çok benimsenmiş olsa da gelişmekte olan ülkeleri de önemli ölçüde etkileme potansiyeline sahiptir. Endüstri 4.0 uygulamaları ile birlikte üretim hacminin gelişmiş ülkelere kayması, gelişmekte olan ülkeleri üretim kaybı nedeniyle zora sokacak bir durum olarak görülmektedir. Öte yandan Endüstri 4.0 süreçleri kapsamında üretimin esnek yapısı, daha az sermaye gerekliliği ve uyarlanmış ürün talebinin fazlalığı gibi nedenlerle Endüstri 4.0 uygulamaları gelişmekte olan ülkeler için de yatırım açısından oldukça cazip hale gelmektedir. Örneğin yabancı ortaklardan gelecek teknoloji ve üretim araçları aktarımı bu ülkeler için sürece adaptasyon açısından bir fırsattır.³⁷⁵ Nitekim bazı Asya ülkeleri bu alanda görünür bir çaba içerisine girmişler; Tayland ekonomide değer yaratma amacına dönük olarak, öncelikli sektörleri belirlemiş ve bu sektörler için Ar-Ge fonu tahsis etmiş, Malezya ise Çin ve Almanya gibi ülkelerle bu alanda iş birliği içerisine girmiştir.³⁷⁶

Endüstri 4.0’a uyum açısından doğrudan ülke sıralaması yapılmamakla birlikte kurumsal düzeyde teknolojik uyumu yüksek olan ülkelerin bu alanda öncü ülkelerden sayılacağı söylenebilir. Yeni teknolojilerin kullanımı ve kullanım potansiyeli, dijitalleşme, sana-

³⁷⁴ Avrupa Parlamentosu, Industry 4.0, s.53.

³⁷⁵ Roland Berger İnternet Sitesi, The Industrie 4.0 transition quantified, s.13, Erişim:08.01.2020, www.rolandberger.com/publications/publication_pdf

³⁷⁶ Kearney A.T., Making Indenesia 4.0, s.8, Erişim:08.01.2021, kemenperin.go.id

yide robot kullanımı gibi alanlarda yapılan ülke karşılaştırmaları ve söz konusu karşılaştırmalara dönük oluşturulan endeksler ülkelerin Endüstri 4.0 uyumu hakkında fikir vermektedir. Her çalışma, farklı kuruluşlar tarafından yapılmakta; farklı kriterler göz önünde bulundurularak endeksler oluşturulmakta veya sıralamalar yapılmaktadır. Aşağıda söz konusu çalışmaların en fazla kullanılanlarından bazı örnekler sunulmaktadır.

1. ENDEKSLER

1.1. Üretimin Geleceği İçin Hazırlık Değerlendirmesi

Dünya Ekonomik Forumu (*World Economic Forum-WEF*) tarafından, Endüstri 4.0 bağlamında küresel ölçekte ülkeleri belirli aralıklarla değerlendiren bir araştırma yapılmaktadır. Üretimin Geleceği İçin Hazırlık Değerlendirmesi (*Readiness for the Future of Production Assessment*) adı verilen Araştırma, ülkelerin Endüstri 4.0'a temel olan mevcut üretim durumları ile gelecekteki uyum kabiliyetlerini ölçmeyi amaçlamaktadır. Söz konusu araştırma gerek alt bileşenlerinin çeşitliliği gerekse ülke sayısının fazlalığı bakımından oldukça kapsamlı olup, ülkelerin Endüstri 4.0'a uyum kabiliyetlerini ölçme açısından önem arz etmektedir.

Bu çerçevede dünya genelinde GSYH'si küresel ekonominin %96'sına denk gelen 100 ülkeyi kapsayan ve 2018 yılında yapılan Araştırma; a) üretim yapısı (hâlihazırdaki üretim temel hattı-*structures of production*) ve b) üretim dinamikleri (üretim sistemlerinin Endüstri 4.0'a dönüştürebilmesine olanak sağlayan unsurlar-*drivers of production*) olmak üzere iki ana eksenin değerlendirilmesinden oluşmaktadır. Araştırma sonuçlarına göre ülkeler: i) Lider ülkeler, ii) sınırlı temeli olan ancak ilerisi için potansiyeli yüksek ülkeler, iii) geçmişten gelen bir temeli bulunan ancak gelecek için riskli ülkeler ve iv) olgunlaşmamış ülkeler olmak üzere dört ana grup altında sınıflandırılmıştır.

Araştırmanın küresel düzeyde sonuçlarına bakıldığında, üretim sistemlerinin dönüşümünün ülkeler için çok farklı düzeyde seyredebileceği ve gelecekte üretim sistemleri arasında kutuplaşmanın

artacağı, dolayısıyla dünyada iki uçlu bir sistemin oluşacağı öngörülmektedir. Ayrıca farklı ülkeler için farklı üretim yollarının ortaya çıkacağı ve her ülkenin kendi koşullarına uygun şekilde üretim sistemi oluşturacağı, bunu yaparken her ülke için uygun bir gelişim seçeneği olduğu sonucuna varılmıştır. Bazı sektörlerde yurt dışı üretim tesislerinin ülke içine dönüşü beklenmektedir. Yalnızca ülkesel etkenler değil, yerel ve küresel düzeyde uyum da ülkelerin gelişimlerini önemli düzeyde etkilemektedir. Son olarak söz konusu dönüşümü hızlandırabilmek için kamu-özel iş birliğinin gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.³⁷⁷

Değerlendirmenin 10 puan üzerinden yapıldığı Araştırmanın sonuçlarına göre, araştırma kapsamındaki 100 ülkeden 25'i lider, 7'si potansiyeli yüksek, 10'u gelecek için riskli, kalan 56'sı ise olgunlaşmamış ülke kategorisinde yer almıştır. İki ana eksen için; üretim karmaşıklığı ve üretim ölçeği, teknoloji ve inovasyon, beşerî sermaye, küresel ticaret ve yatırım, kurumsal çerçeve, talep ve sürdürülebilir kaynaklar alt bileşenleri değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları Tablo 8'de sunulmaktadır.

Tablo 8: Üretimin Geleceği İçin Hazırlık Değerlendirmesi Endeksi

Lider Ülkeler			Sınırlı Temeli Olan Ancak İlerisi İçin Potansiyeli Yüksek Ülkeler		
	Üretim Yapısı Eksen	Üretim Dinamikleri Eksen		Üretim Yapısı Eksen	Üretim Dinamikleri Eksen
ABD	7,78	8,16	Avustralya	4,26	7,14
Almanya	8,68	7,56	BAE	4,33	6,76
Avusturya	7,46	6,79	Hong Kong	4,52	7,45
Belçika	6,51	6,80	Katar	3,89	5,96
B. Krallık	7,05	7,84	Norveç	5,65	7,07
Çin	8,25	6,14	Portekiz	5,36	5,99
Çekya	7,94	6,01	Yeni Zelanda	4,79	6,73

³⁷⁷ Dünya Ekonomik Forumu (WEF), Readiness for the Future of Production Report 2018, s.12, Erişim:05.01.2021, http://www3.weforum.org/docs/FOP_Readiness_Report_2018.pdf

Danimarka	6,29	7,20	Geçmişten Gelen Bir Temeli Bulunan Ancak Gelecek İçin Riskli Ülkeler
Estonya	5,75	6,00	
Finlandiya	7,00	7,16	
Fransa	6,87	6,89	
Güney Kore	8,85	6,51	
Hollanda	6,32	7,75	
İrlanda	7,34	6,85	
İspanya	6,05	6,23	
İsrail	6,43	6,24	
İsveç	7,46	7,40	
İsviçre	8,39	7,92	Olgunlaşmamış Ülkeler
İtalya	6,99	5,90	
Japonya	8,99	6,82	
Kanada	5,81	7,54	
Malezya	6,81	6,51	
Polonya	6,83	5,83	
Singapur	7,28	7,96	
Slovenya	6,80	5,71	
Filipinler	6,12	4,51	
Hindistan	5,99	5,24	
Litvanya	5,92	5,42	
Macaristan	6,96	5,30	
Meksika	6,74	5,04	
Romanya	6,61	4,93	
Rusya	5,71	5,30	
Slovakya	6,98	5,33	
Tayland	7,13	5,45	
Türkiye	5,87	4,90	

Arjantin, Arnavutluk, Azerbaycan, Bahreyn, Bangladeş, Bosna Hersek, Botsvana, Brezilya, Bulgaristan, Cezayir, Dominik Cumhuriyeti, Ekvador, El Salvador, Endonezya, Ermenistan, Etiyopya, Fas, Gana, GKRY, Guatemala, Güney Afrika, Gürcistan, Hırvatistan, Honduras, Kamboçya, Kamerun, Kazakistan, Kenya, Kırgızistan, Kolombiya, Kosta Rika, Kuveyt, Letonya, Lübnan, Mısır, Moğolistan, Moldova, Morityus, Nijerya, Pakistan, Panama, Paraguay, Peru, Senegal, Sırbistan, Sri Lanka, Suudi Arabistan, Şili, Tanzanya, Tunus, Uganda, Ukrayna, Umman, Ürdün, Vietnam, Yunanistan, Zambiya.

Kaynak: Dünya Ekonomik Forumu, Readiness for the Future of Production Report 2018, s.12.

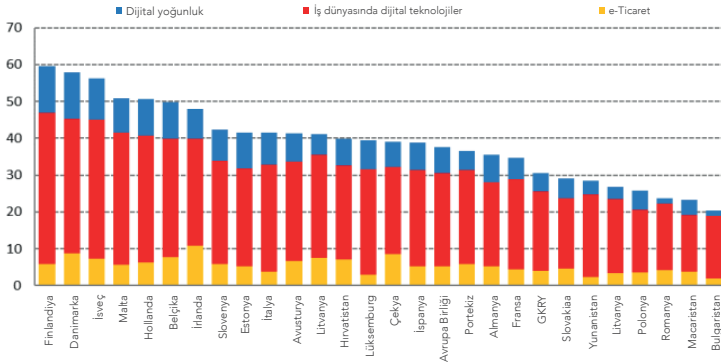
Araştırmaya göre, sırasıyla Japonya, Güney Kore ve Almanya'nın "üretim yapısı" açısından en ileride olan üç ülke olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle söz konusu üç ülke, ürünlerinin karmaşıklığı ve üretim ölçeği bakımından lider konumdadır. "Üretim dinamikleri" yani üretim sistemlerinin uyumunu konu alan ve yukarıda bahsedilen teknoloji ve inovasyon, beşerî sermaye, küresel ti-

caret ve yatırım, kurumsal çerçeve, talep ve sürdürülebilir kaynaklar bileşenlerine göre ise ABD, Singapur, İsviçre ve Birleşik Krallık ilk sıralarda yer almaktadır. Genel olarak G20 ülkeleri bu alanda önde gelen ülkelerdir. Lider ülkeler sınıflandırmasında yer alan ülkeler hâlihazırda teknoloji kullanımında öncü ve kamunun da dâhil olduğu sanayi devrimine dönük stratejik planlamaya sahiptir.

1.2. Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI)

Avrupa Komisyonu tarafından Avrupa Birliği (AB) üyesi ülkelerde dijital rekabetçiliği ve performansı değerlendirmek amacıyla her yıl Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (*The Digital Economy and Society Index*, DESI) yayımlanmaktadır. Endeks; bağlantısallık, insan kaynakları, bilişim ve iletişim teknolojileri alanında Ar-Ge, dijital teknoloji entegrasyonu ve dijital kamu hizmetleri olmak üzere beş bileşenden oluşmaktadır. Dijital teknoloji entegrasyonu bileşeni, iş dünyasının bu alanda uyumunu ele alması bakımından Endüstri 4.0 kavramı ile ilişkilendirilebilir. 2020 yılı verileri ile hazırlanan DESI 2021 Raporunda yer alan dijital teknoloji entegrasyonu bileşenine göre AB üyesi ülkeler arasında Finlandiya, Danimarka ve İsveç bu alanda ilk üç sırayı paylaşmaktadır.

Şekil 11: Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksinin Dijital Teknoloji Entegrasyonu Bileşeni, 2021



Kaynak: Avrupa Komisyonu, Digital Economy and Society Index (DESI) 2021: Integration of Digital Technology, s.5.

Söz konusu bileşenin alt bileşenleri arasında Endüstri 4.0 değerlendirmelerinde önem arz edebilecek başlıklar yer almaktadır. Alt bi-

leşenler arasında yer alan dijital teknolojilerin benimsenmesi, büyük veri, bulut bilişim, yapay zekâ gibi teknolojilere uyum bu anlamda önem arz etmektedir. Dijital teknoloji entegrasyonu alt bileşenleri altında yer alan dijital yoğunluk endeksine göre Danimarka ve Finlandiya, AB ülkeleri içinde “en yoğun” kategorisine girebilen iki ülke konumundadır. Bulut teknolojisi alanında AB genelinde işletmelerde %25’in üzerinde entegrasyon sağlanmış olup %14 düzeyinde büyük veri analizleri yapılmaktadır. Ayrıca işletmelerin %25’i yapay zekâ bileşenlerinin en az ikisini kullanmaktadır. Raporda büyük işletmelerin söz konusu teknolojilere daha kolay entegre olduğundan, KOBİ’lerin ise bu alanda geriden geldiğinden de söz edilmektedir.³⁷⁸

1.3. Sanayide Robot Kullanımı Değerlendirmeleri

Uluslararası Robotik Federasyonu (*International Federation of Robotics* -IFR) tarafından hazırlanan sanayi üretiminde robot kullanımının yaygınlığı araştırmaları ülkelerin Endüstri 4.0’a uyumu konusunda fikir verebilecek çalışmalar arasındadır. 2021 yılında hazırlanan Dünyada Endüstriyel Robotlar Raporuna göre 2020 yılı için küresel endüstriyel robot kurulumu, COVID-19 salgını koşullarına rağmen 384 bin ile 2019 yılındakine oranla az da olsa artmıştır. 2020 yılı, 2017 ve 2018 yıllarının ardından robot kurulumunun en fazla olduğu yıl olmuştur.

Şekil 12: Yıllara Göre Endüstriyel Robot Kurulumu, 2010-2020
(bin adet)



Kaynak: Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), World Robotics 2021, s.9.

³⁷⁸ Avrupa Komisyonu, Digital Economy and Society Index (DESI) 2021: Integration of Digital Technology, s.4-16, Erişim:10.02.2022, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi-integration-technology-enterprises>

Hâlihazırda Çin, Japonya, ABD, Güney Kore ve Almanya olmak üzere toplam beş ülkenin küresel pazarın %76'sını oluşturduğu görülmektedir.³⁷⁹ Buna göre Çin, 2013 yılından bu yana endüstriyel robot kurulumunda dünya lideri konumundadır. Çin, bu alanda küresel piyasadan %44'lük bir pay almıştır. Çin'i Japonya izlemektedir. Japonya'da 2017-2019 yıllarında artan robot kurulumu 2020'de önemli bir düşüş kaydetmiştir. Ancak Japonya hâlâ %10'luk payla ikinci sırada yer almaktadır. Üçüncü sırada yer alan ABD'de ise 2010 yılından bu yana söz konusu alanda 2019 yılı haricinde düzenli bir artış yaşanmış olup ABD'nin 2020 yılında robot kurulumundan aldığı pay %8 dolaylarındadır. Dördüncü sırada Güney Kore bulunmaktadır. 2016 yılında robot kurulum miktarı en yüksek seviyelerde olan Güney Kore, bu tarihten sonra düşüş trendi içerisine girmiştir. Güney Kore'de robot kullanımının en fazla olduğu elektronik sektörünün zorlu bir dönem geçirmesi bu düşüşte etkili olmuştur. Beşinci sırada yer alan Almanya'da ise otomotiv sektörü robot kullanımında önemli bir paya sahip olup Almanya'nın robot kurulumundan aldığı pay %6'dır.³⁸⁰ Bölge bazında bakıldığında 2020 yılında Asya ülkelerinde (Çin, Japonya, Güney Kore, Tayvan, Tayland, Hindistan vb.) yeni kurulan endüstriyel robotların sayısının yaklaşık 266 bin olduğu görülmektedir. Dolayısıyla 2020 yılında Asya ülkelerinde yeni kurulan robotların sayısı, dünya genelindeki toplam yeni robot kurulumlarının yaklaşık 2/3'ünü oluşturmaktadır. Asya ülkelerindeki toplam yeni robot kurulumlarının yaklaşık beşte üçünü ise Çin'de gerçekleştirilen robot kurulumları oluşturmuştur.³⁸¹ Sektörlere göre ise otomotiv endüstrisi önceki yıllarda robot kurulumunda en önemli paya sahip olurken 2020 yılında liderlik elektrik-elektronik sektörüne geçmiştir.³⁸²

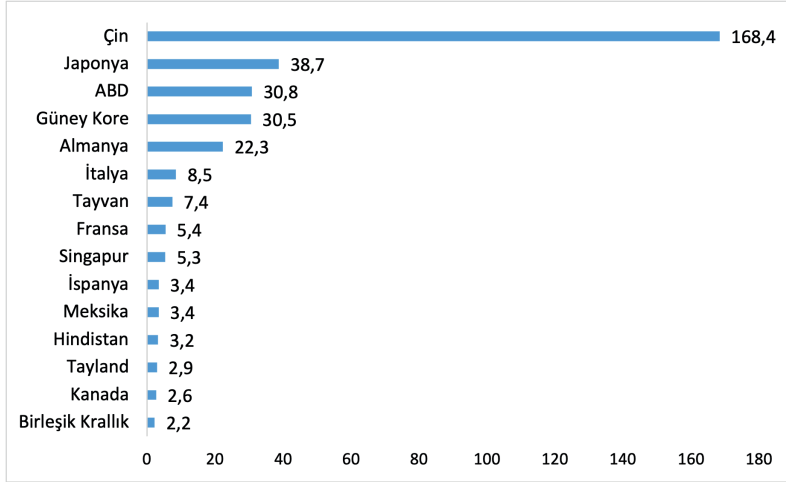
³⁷⁹ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "IFR Presents World Robotics 2021 Reports", Erişim:10.02.2022, <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-sales-rise-again>

³⁸⁰ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), Executive Summary World Robotics 2020 Industrial Robots, s.14-15, Erişim:18.11.2020, https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_2020_Industrial_Robots_1.pdf; Executive Summary World Robotics 2021 Industrial Robots, s.12,13, Erişim:10.02.2022, https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2021.pdf

³⁸¹ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), World Robotics 2021, s.15, Erişim:10.02.2022, https://ifr.org/downloads/press2018/2021_10_28_WR_PK_Presentation_long_version.pdf

³⁸² Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), Executive Summary World Robotics 2021 Industrial Robots, s.15-16.

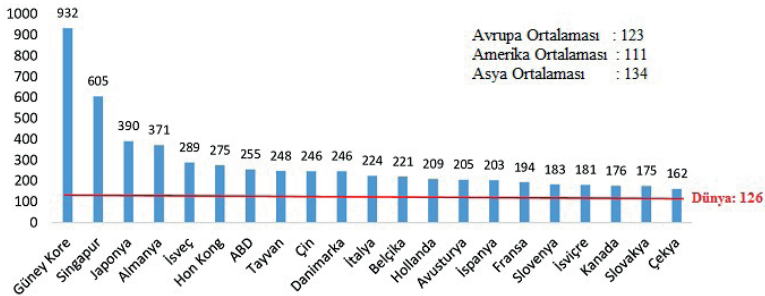
Şekil 13: Yıllık Endüstriyel Robot Kurulumunda İlk 15 Ülke, 2020
(bin adet)



Kaynak: Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "World Robotics 2021", s.14.

Sanayi sektöründe 10 bin işçiye düşen robot sayısı olarak tanımlanan "robot yoğunluğu"nda, 2020 yılında ilk beş sırayı Güney Kore, Singapur, Japonya, Almanya ve İsveç'in aldığı görülmektedir.³⁸³

Şekil 14: Sanayi Sektöründe Robot Yoğunluğu Açısından İlk 21 Ülke, 2020



Kaynak: Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "World Robotics 2021", s.25.

³⁸³ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), World Robotics 2021, s.25.

1.4. Bazı Uluslararası İnovasyon Göstergeleri

Ülkelerin inovasyon kabiliyetlerinin ölçüldüğü uluslararası bir endeks olan “Küresel İnovasyon Endeksi”, Dünya Fikri Mülkiyet Teşkilatı (WIPO), Cornell Üniversitesi ve Avrupa İşletme Yönetimi Enstitüsü (INSEAD) tarafından her yıl yayımlanan bir raporla kamuoyuna sunulmaktadır. 2021 yılına ait Raporda; söz konusu Endeks, patent başvurularından altyapı ve eğitim harcamalarına kadar 81 farklı gösterge ele alınarak hazırlanmış ve 132 ülke bu Endekse göre sıralanmıştır. Rapora göre 2021 yılında en yenilikçi üç ülke sırasıyla İsviçre, İsveç ve ABD olmuştur.³⁸⁴ İnovasyon alanında Kuzey Amerika ve Avrupa diğer bölgelerden açık ara öndedir. Güney Kore endekste ilk kez ilk beşe girmiş olup, Çin ilk 30’a girmiş olan tek orta gelir düzeyine sahip ülke konumundadır.³⁸⁵ Tablo 9’da verilen en yenilikçi 10 ülke ve ardından Şekil 15’te gösterilen kendi bölgelerindeki en yenilikçi 3 ülke şu şekilde sıralanmaktadır:

Tablo 9: Küresel İnovasyon Endeksine Göre En Yenilikçi 10 Ülke, 2021

Sıra	Ülke	Skor	Bölge
1	İsviçre	65,5	Avrupa
2	İsveç	63,1	Avrupa
3	ABD	61,3	Kuzey Amerika
4	Birleşik Krallık	59,8	Avrupa
5	Güney Kore	59,3	Güneydoğu Asya
6	Hollanda	58,6	Avrupa
7	Finlandiya	58,4	Avrupa
8	Singapur	57,8	Güneydoğu Asya
9	Danimarka	57,3	Avrupa
10	Almanya	57,3	Avrupa

Kaynak: Dünya Fikri Mülkiyet Teşkilatı (WIPO), Cornell Üniversitesi, Avrupa İşletme Yönetimi Enstitüsü (INSEAD), Global Innovation Index 2021, s.4.

³⁸⁴ Dünya Fikri Mülkiyet Teşkilatı (WIPO), Cornell Üniversitesi, Avrupa İşletme Yönetimi Enstitüsü (INSEAD), Global Innovation Index 2021, s.4, Erişim:22.02.2022, https://www.wipo.int/global_innovation_index/en/2021/

³⁸⁵ Dünya Fikri Mülkiyet Teşkilatı (WIPO), Cornell Üniversitesi, Avrupa İşletme Yönetimi Enstitüsü (INSEAD), Global Innovation Index 2021, s.6.

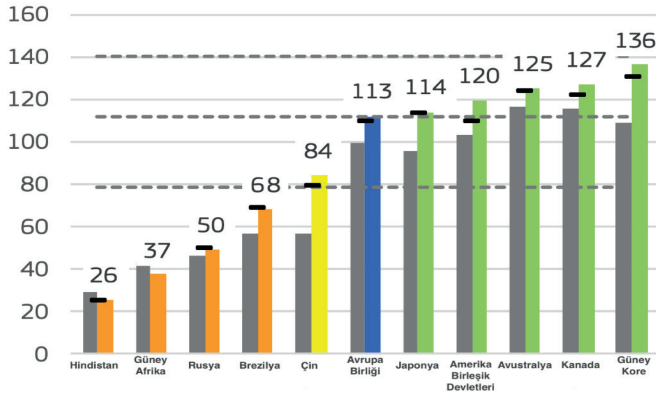
Şekil 15: Kendi Bölgelerinde Yenilikçilikte İlk Üçe Giren Ülkeler, 2021



Kaynak: Dünya Fikri Mülkiyet Teşkilatı (WIPO), Cornell Üniversitesi, Avrupa İşletme Yönetimi Enstitüsü (INSEAD), Global Innovation Index 2021, s.3.

Araştırma ve inovasyon performanslarının değerlendirildiği bir diğer önemli uluslararası rapor ise Avrupa Komisyonu tarafından her yıl yayımlanan “Avrupa İnovasyon Skorları” Raporudur. Avrupa Birliği üyesi ülkeleri ve seçilmiş diğer bazı ülkeleri kapsayan ve 32 adet indikatör baz alınarak oluşturulan Rapora göre 2021 yılında Güney Kore lider durumda bulunmakta olup onu Kanada ve Avustralya izlemektedir. Avrupa özelinde ise Belçika, Danimarka, Finlandiya ve İsveç “inovasyon liderleri” olarak tanımlanmıştır.³⁸⁶

³⁸⁶ Avrupa Komisyonu, European Innovation Scoreboard 2021, s.6-7, Erişim: 22.02.2022, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/46013>

Şekil 16: Küresel Araştırma ve İnovasyon Performansları, 2021

Not: Renkli sütunlar ülkelerin 2021, yatay tireler 2020 ve gri sütunlar 2014 performanslarını göstermektedir. Hesaplama AB'nin 2014 yılı performansı baz alınmıştır. Kesik tireler ise %70, %100 ve %125'lik eşik değerleri göstermektedir.

Kaynak: Avrupa Komisyonu, European Innovation Scoreboard 2021.

Son olarak bu bölümde Bloomberg tarafından yayımlanan "İnovasyon Endeksi"ne yer verilmektedir. Ar-Ge harcamalarının yoğunluğu, imalat katma değer seviyesi, üretim kapasitesi, ileri teknoloji kullanımının yoğunluğu, araştırmacı yoğunluğu, patent faaliyetleri ve eğitim faaliyetleri olmak üzere yedi adet kritere göre oluşturulan Endekste 2021 yılı verilerine göre ilk 3 ülke Güney Kore, Singapur ve İsviçre'dir.³⁸⁷

Tablo 10: Bloomberg İnovasyon Endeksinde Yer Alan İlk 10 Ülke

Sıra	Ülke Adı	2021 Skoru	Sıra	Ülke Adı	2021 Skoru
1	Güney Kore	90,49	6	Danimarka	86,12
2	Singapur	87,76	7	İsrail	85,50
3	İsviçre	87,60	8	Finlandiya	84,86
4	Almanya	86,45	9	Hollanda	84,29
5	İsveç	86,39	10	Avusturya	83,93

Kaynak: Bloomberg Quint, "South Korea Leads World in Innovation as U.S. Exits Top Ten".

³⁸⁷ Bloomberg Quint, "South Korea Leads World in Innovation as U.S. Exits Top Ten", Erişim:22.02.2022, <https://www.bloomberquint.com/global-economics/south-korea-leads-world-in-innovation-u-s-drops-out-of-top-10>

2. ÜLKE UYGULAMALARI

2.1. Almanya

Almanya; ABD, Çin ve Japonya'nın ardından dünyanın en büyük dördüncü, Avrupa'nın ise en büyük ekonomisidir. Dünya Bankası verilerine göre, 2020 yılı itibarıyla 83,2 milyonluk bir nüfusa sahip olan Almanya'nın GSYH'si 3,8 trilyon dolar, kişi başına düşen millî geliri ise 46,2 bin dolardır.³⁸⁸ Millî gelir içerisinde hizmet sektörünün payı %62, sanayi sektörünün payı %27, tarım sektörünün payı ise %1'dir. Ülkede ihracatın GSYH'ye oranı %43 iken ithalatın GSYH'ye oranı %38 düzeyindedir.³⁸⁹

Almanya ileri teknoloji gücüne sahip ülkeler arasında yer almaktadır. Özellikle sanayi sektöründe Almanya; yüksek kaliteli ve inovatif ürünlerin üretimi açısından dünya çapında bir üne sahiptir. Motorlu taşıt üretimi, makine ve üretim mühendisliği ile ilgili alanlar ve ilaç ve tıbbi ürünler gibi sektörlerde lider ülkelerden olup söz konusu alanlardaki üretim, ihracatının da önemli bir kısmını oluşturmaktadır.³⁹⁰ Nitekim 2019 yılı "Küresel Rekabetçilik Endeksi" (*The Global Competitiveness Index*) sıralamasında Almanya, 141 ülke arasında 7. sırada yer almıştır.³⁹¹ 2020 yılı verilerine göre ülkenin Ar-Ge harcamaları 105 milyar avro olup GSYH'sinin %3,1'ine denk gelmektedir.³⁹² Almanya, GSYH'sine oranla en yüksek Ar-Ge harcaması yapan 7. ülke konumundadır. Ülkede bir milyon kişiye düşen araştırmacı sayısı 9.959'dur.³⁹³ Ayrıca dış ticarete teknolojik ürünler önemli bir

³⁸⁸ Dünya Bankası, "Germany", Erişim:11.02.2022, <https://data.worldbank.org/country/DE>

³⁸⁹ Dünya Bankası, "Country Profile: Germany", Erişim:11.02.2022, https://databank.worldbank.org/views/reports/reportwidget.aspx?Report_Name=CountryProfile&Id=b450fd57&tbar=y&dd=y&inf=n&zm=n&country=DEU

³⁹⁰ Almanya Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı (BMWK), "A Modern Industrial Policy", Erişim:10.11.2020, <https://www.bmw.de/Redaktion/EN/Dossier/modern-industry-policy.html>

³⁹¹ Dünya Ekonomik Forumu (WEF), The Global Competitiveness Report 2019, s.xiii, Erişim:10.11.2020, http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf

³⁹² Almanya Federal İstatistik Ofisi (Destatis), "Research and Development", Erişim:16.06.2022, https://www.destatis.de/EN/Themes/Society-Environment/Education-Research-Culture/Research-Development/_node.html

³⁹³ OECD, "Research and Development", Erişim:11.02.2022, [https://data.oecd.org/innovation-and-technology.htm#profile-Research%20and%20development%20\(R&D\)](https://data.oecd.org/innovation-and-technology.htm#profile-Research%20and%20development%20(R&D))

yer tutmakta olup ülkede sanayi ürünleri ihracatı içerisinde ileri teknoloji ürünlerinin payı %15 düzeyindedir.³⁹⁴

Teknoloji alanında öncü ülkeler arasında konumlanmış olan Almanya, "Endüstri 4.0" kavramına fikir sahipliği yapan ülkedir. Böylece sahip olduğu konumu bir adım ileri taşımış ve diğer ülkelere bu alanda yol gösterici bir rol üstlenmiştir. Bu başlık altında öncelikle Almanya'nın Endüstri 4.0 stratejisi çerçevesinde kavramın doğuşu ve içeriği ile hedefler ve amaçlar ele alınmaktadır. Sonrasında kurumsal yapının çerçevesi çizilerek süreçte kamu ve özel sektör birlikteliğine atfedilen öneme binaen paydaşlar ile vizyonun gelişimini koordine edici bir rol üstlenen Endüstri 4.0 Platformu işlenmektedir. Son olarak da Endüstri 4.0 uygulamalarına dönük değerlendirmele ve uygulama örneklerine yer verilmektedir.

2.1.1. Almanya'nın Endüstri 4.0 Stratejisi

Almanya'da küresel düzeyde faaliyet gösteren büyük işletmelerle birlikte KOBİ'lerin de önemli bir yer tuttuğu dengeli bir ekonomik yapının varlığından bahsedilebilir. Bu yapıda devlet dengeleyici, düzenleyici ve sürdürülebilirlik üzerine odaklanan bir rol üstlenmektedir. Ancak dijital teknolojilerin ve internetin oldukça yaygınlaştığı günümüzde pazarın dönüşümü ile Alman şirketlerinin güçlü konumu özellikle makine, ekipman ve araba üretiminde bir nebze zora girmiştir. Çin'in teknolojik üretimde son dönemdeki hamleleri ve dünya genelinde büyük teknoloji şirketlerinin dijital teknolojilere entegre araba üretme çabaları gibi küresel düzeyde rekabetin sıkışmasına yol açan durumlar, Ülkede sanayi üretiminde, özellikle dijital alanda teknolojik dönüşümü gerekli kılmaktadır.³⁹⁵

Öte yandan Almanya, üretimde teknoloji kullanımına yabancı bir ülke değildir. Ülke, tarihsel süreçte üretim, otomasyon ve yazılım tabanlı bütünleşik sistemlerde teknolojik anlamda öncü ve vizyon sahibi olmuş; ayrıca güçlü sanayi ağlarına sahip bir ülke olagelmış-

³⁹⁴ Dünya Bankası, "Country Profile: Germany".

³⁹⁵ Poplawski G., Bajczuk R., Industry 4.0 Germany's New Industrial Policy, Center for Eastern Studies, Varşova, Nisan 2019, s.8-9, Erişim:16.11.2020, https://www.academia.edu/39196192/Industry_4_0_Germanys_new_industrial_policy?auto=download

tir.³⁹⁶ Dolayısıyla Ülkede Endüstri 4.0, geçmişte aşamalı olarak edinilen “üretim optimizasyonu” tecrübelerinin bir uzantısı olarak ortaya çıkmış, bazı ülkelerde tanımlanan devrimsel sanayi gelişimlerinden farklı olarak sürece yayılmış ve daha “evrimsel” bir niteliğe sahip olmuştur.³⁹⁷ Böylece ülke ekonomisinde önemli bir yere sahip olan sanayi üretiminde, güncel teknolojiye ve küresel rekabetteki artışa uyum gereklilikleri ve nihayetinde gittikçe önem kazanan üretimde verimlilik baskısı, kazanılmış tecrübe ile birleşerek Endüstri 4.0 stratejisinin doğuşunu tetiklemiştir.

Yakın geçmişte, Endüstri 4.0 stratejisinin benimsenmesinden hemen önce, bu alana dönük bazı politik adımlar atılmıştır. 2006 yılında “Yüksek Teknoloji Stratejisi” (*High Tech Strategy*) kabul edilmiş ve bu kapsamda araştırma faaliyetleri ile özel sektör arasındaki bağın güçlendirilmesi, kuruluş aşamasındaki şirketler ile KOBİ’lerde inovasyon için gerekli şartların sağlanması, inovatif teknolojilerin yaygınlaştırılması, uluslararası arenada ülkenin konumunun güçlendirilmesi ve bu alanda iş gücüne yatırım yapılması gibi birçok faaliyet alanı belirlenmiştir. Strateji çerçevesinde paydaşlar arasında oluşturulacak iş birliğinin önemine vurgu yapılmıştır.³⁹⁸ 2010 yılında Strateji; “Yüksek Teknoloji Stratejisi 2020” adıyla güncellenmiş ve Endüstri 4.0’ın temelleri bu Strateji ile atılmıştır. Güncellenen hali ile Stratejide ürünler arası etkileşim, değer zinciri ve iş modelleri üzerinden dijitalleşmenin artırılması ve bu yolla sanayi üretiminin ileri noktalara taşınması amacı ortaya konmuştur. Ayrıca araştırma, endüstriler arası ağ kurma ve standardizasyon gibi alanların destekleneceği de belirtilmiştir.³⁹⁹

2010 yılında ayrıca “Dijital Almanya 2015” (*Deutschland Digital 2015*) isimli bir strateji benimsenmiş; özellikle iş dünyasında ülke-

³⁹⁶ Almanya Ticaret ve Yatırım Ajansı (GTAI), “Why Germany is the place to be for Industrie 4.0”, Erişim:11.11.2020, <https://www.gtai.de/gtai-en/invest/industries/industrie-4-0>

³⁹⁷ Schroeder W., Germany’s Industry 4.0 strategy: Rhine Capitalism in the Age of Digitalisation, Kasım 2016, s.1, Erişim:11.11.2020, https://www.fes-london.org/fileadmin/user_upload/publications/files/FES-London_Schroeder_Germanys-Industrie-40-Strategy.pdf

³⁹⁸ Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), What Can Policymakers Learn from Germany’s Industrie 4.0 Development Strategy?, s.5-7.

³⁹⁹ Küresel Üretim ve Sanayileşme Zirvesi (GMIS), Germany 4.0: The Future Of Manufacturing, Hannover, Ekim 2019, s.11, Erişim:18.11.2020, <https://www.gmisummit.com/wp-content/uploads/2019/10/Germany-4.0.pdf>

nin bilişim ve iletişim teknolojileri alanında öncü bir pozisyonda yer alması gerekliliği vurgulanmıştır. Bu girişim vesilesiyle 2009 yılı itibarıyla makine ve otomotiv mühendisliği alanında katma değer açısından bilişim teknolojilerinin gerisinde kaldığı ortaya konulmuş, dolayısıyla iki sektör arasında bağ kurmanın gerekliliğine işaret edilmiştir.⁴⁰⁰

Endüstri 4.0 kavramı ilk kez 2011 yılında Almanya’da ortaya çıkmış olup Federal Alman Hükûmetinin, ülkenin değişen koşullara uyum sağlayarak sanayi alanında rekabetçiliğini devam ettirebilmesi için oluşturduğu bir hükûmet politikasının ürünüdür. Kavram ilk kez Hannover Ticaret Fuarında zikredilmiş olup akabinde Yüksek Teknoloji Stratejisinin uygulamasına dönük oluşturulan Eylem Planında, Strateji çerçevesinde belirlenen on stratejik girişimden birisi olarak yer almıştır. O dönem gündemde olan Plan, Dijital Almanya 2015, Bilgi Teknolojileri Zirvesi ve Gömülü Sistemler Yol Haritası gibi programlara entegre bir şekilde hazırlanmış olup teknolojinin yanı sıra ekonomik ve sosyal politikalara da odaklanmıştır.⁴⁰¹ Hükûmet adına Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı⁴⁰² (BMWK) ile Eğitim ve Araştırma Bakanlığı tarafından koordine edilen Endüstri 4.0’ın özel sektörle ortaklıklar yürütülerek ve araştırma camiasını özel sektörle buluşturarak ilerlemesi kurgulanmıştır. Spesifik olarak Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı; “akıllı üretim”, “insan-makine etkileşimi”, “3B” gibi kavramları desteklemeye odaklanırken, Eğitim ve Araştırma Bakanlığı; “akıllı fabrikalar”, “gömülü sistemler”, “nesnelerin interneti”, “sanal gerçeklik” gibi konularda yeni bir agenda oluşturmuştur.⁴⁰³

Ortaya çıkışından kısa süre sonra önemli bir popülerite kazanan Endüstri 4.0 kavramı birçok hükûmet politikasında da yer almıştır. Örneğin, Eğitim ve Araştırma Bakanlığı tarafından 2015 yılında “Yarının Üretim, Hizmet ve İş Dünyası İnovasyonları Çerçeve Programı”

⁴⁰⁰ Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), What Can Policymakers Learn from Germany's Industrie 4.0 Development Strategy?, s.5-6.

⁴⁰¹ Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), What Can Policymakers Learn from Germany's Industrie 4.0 Development Strategy, s.9.

⁴⁰² Bakanlığın adı öncesinde Ekonomik İşler ve Enerji Bakanlığı (BMWi) iken Aralık 2021’de Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı (BMWK) olarak değiştirilmiştir. Dolayısıyla bazı belgelerde eski ad geçebilmektedir.

⁴⁰³ Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), What Can Policymakers Learn from Germany's Industrie 4.0 Development Strategy, s.9.

yürürlüğe konmuştur. Program için 1 milyar avroluk bir bütçe ayrılmış, ana amaç iş dünyası için yeni modeller ve araçlar dizayn etmek ve edinilen deneyimleri diğer işletmelere aktarmak olarak belirtilmiştir.⁴⁰⁴

Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2016 yılında hazırlanan “Dijital Strateji 2025” ile Endüstri 4.0 bir stratejik bileşen olarak tanımlanmış ve üretimde Endüstri 4.0’dan faydalanmanın önemli bir öncelik olduğu ve ülkenin modernizasyonu açısından elzem olduğu belirtilmiştir.⁴⁰⁵

2014 yılında kabul edilen ve ekonomide ve toplumsal düzeyde dijital dönüşümü teşvik eden “Dijital Ajanda”nın bir ayağı da sanayide dijitalleşmeyi teşvik etmek olmuştur. Ajandada Endüstri 4.0 projelerine destek sunulacağı ayrıca belirtilmiştir.⁴⁰⁶ 2014 yılında güncellenen “Yüksek Teknoloji Stratejisi”nde ise Hükûmetin bilim ve sanayi sektörlerinde Endüstri 4.0 projelerini destekleyeceği açıkça belirtilmiş, böylece Endüstri 4.0 ilk kez ülkenin federal düzeydeki Stratejisinde yer almıştır.⁴⁰⁷ Son olarak değişen koşullara uyum sağlayabilmek amacıyla “Yüksek Teknoloji Stratejisi 2025” kabul edilmiş ve geleceğe dönük yetkinlikler, toplumsal sorunlar, yeniliğe açıklık ve girişimcilik kültürü ana eksenlerinde hedefler belirlenmiştir. Yeni Stratejide Endüstri 4.0 özelinde bu alanda küresel düzeyde edinilen liderlik rolünün korunması için KOBİ’ler başta olmak üzere özel sektör teşviklerinin devam edeceği belirtilmiştir.⁴⁰⁸

⁴⁰⁴ Almanya Eğitim ve Araştırma Bakanlığı (BMBF), “Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen”, (Google translate ile ingilizceye çevrilmiştir.) Erişim:13.11.2020, <https://www.bmbf.de/de/innovationen-fuer-die-produktion-dienstleistung-und-arbeit-von-morgen-599.html>

⁴⁰⁵ Mattauch W., Digitising European Industries - Member States Profile:Germany, 26 Ekim 2017, s.14, Erişim:13.11.2020, https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/de_country_analysis.pdf

⁴⁰⁶ Almanya Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı (BMWK), Digital Agenda 2014 – 2017, s.13, Erişim:13.11.2020, https://www.bmw.de/Redaktion/EN/Publikationen/digital-aganeda-2014-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=2

⁴⁰⁷ Avrupa Komisyonu, The new High-Tech Strategy Innovations for Germany, s.14, Erişim:13.11.2020, https://ec.europa.eu/knowledge4policy/sites/know4pol/files/hts_broschuere_engl_bf.pdf

⁴⁰⁸ Almanya Eğitim ve Araştırma Bakanlığı (BMBF), Research and innovation that benefit the people, The High-Tech Strategy 2025, s.8,31, Erişim:14.02.2022, https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/FS/31538_Forschung_und_Innovation_fuer_die_Menschen_en.pdf;jsessionid=121BAE8168778DF-CA8875D6412871068.live471?__blob=publicationFile&v=7

Endüstri 4.0 anlayışı çerçevesinde Ülke, dijitalleşmeyi artırarak ve ürünlerin, tedarik zincirlerinin ve iş modellerinin arasındaki bağlantıyı güçlendirerek dijital üretim sistemleri kurmayı amaçlamaktadır. Ayrıca sanayi paydaşları arasındaki iletişim ağı, üretimde standartlaşma ve araştırma gibi alanlarda sanayi sektörüne destek sunmayı hedeflemektedir. Burada nihai hedef Almanya'nın süregelen makine ve üretim mühendisliği alanındaki güçlü konumunu dijital dönüşüme ayak uydurmak suretiyle korumaktır. Sadece büyük ölçekli fabrikalar değil, ülkede önemli bir yer tutan KOBİ'ler de Endüstri 4.0'a dâhil edilmeye çalışılmaktadır.⁴⁰⁹

Almanya'nın Endüstri 4.0 stratejisi bu alanda dünyada hem en önemli pazar hem de en önemli tedarikçilerden biri olmak üzerine kurulmuş, bu durum "çifte amaç" olarak anılmıştır. Başka bir deyişle temel hedef Endüstri 4.0'ın gerektirdiği teknolojiyi, KOBİ'ler de dâhil olmak üzere üretim zincirine entegre etmek, üretmek ve kullanmaktır. Ülkede pazar liderliği için gerek sektörler arası gerekse farklı büyüklükteki üretim şirketleri arasında köklü bir bilgi birikiminin oluşması ve paylaşılması ile teknoloji transferinin mümkün kılınması için çalışılmaktadır. Ayrıca dijital altyapının da geliştirilmesine önem verilmektedir. Tedarik alanında ise özellikle makine mühendisliği, otomasyon, bilgi ve iletişim teknolojileri alanında üretim teknolojilerinin uyumlaştırılması, Ar-Ge yatırımlarının artırılması yoluyla Endüstri 4.0 uygulamalarının geliştirilmesi ve böylece bu alanlarda küresel tedarikte lider duruma gelinmesi amaç edinilmiştir.⁴¹⁰

Endüstri 4.0 uygulamalarının yaygınlaşması ile birlikte üretim esnekliğinin artması dolayısıyla kârlılığın yükselmesi beklenmektedir. Bunun yanı sıra yeni iş modelleri ve perspektiflerinin de gelişeceği düşünülmektedir. Özellikle KOBİ'ler için potansiyelin çok yüksek olduğu öngörülmektedir. Sanayi sektöründe yaklaşık 8 milyon kişinin doğrudan, 15 milyon kişinin ise dolaylı olarak çalıştığı ülkede, Endüstri 4.0 ile 10 yıl içinde 250 milyar avroluk ekstra değer yara-

⁴⁰⁹ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), Industry 4.0 in a Global Context, s.9.; Avrupa Komisyonu, Germany Industry 4.0, Ocak 2017, s.3, Erişim: 25.11.2020, https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Industrie%204.0.pdf

⁴¹⁰ Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), What Can Policymakers Learn from Germany's Industrie 4.0 Development Strategy?, s.10.

tılabileceğinden söz edilmektedir.⁴¹¹ Endüstri 4.0 uygulamaları ile ülkede önde gelen sektörler için yıllık %1,5 ila %2,2 arasında bir katma değer artışı olacağı öngörülmektedir. Sektörlerin ekonomiye toplam katkısının ise yıllık 20 ila 30 milyar avro arasında olacağı beklenmektedir. Öte yandan istihdama etki açısından değerlendirildiğinde yüksek nitelik gerektirmeyen işlere talebin azalacağı aşikârdır. Ülkedeki iş gücünün en az %12'sinin bu dönüşümden olumsuz etkileneyeceği ve işini kaybetme riski ile karşı karşıya geleceği belirtilmektedir.⁴¹² Söz konusu olumsuz etkiye karşın istihdam açısından bakıldığında ise Endüstri 4.0 ile 10 yıl içinde 390 bin kişiye iş imkânı sağlanacağı öngörülmektedir. Ayrıca yenilikçi iş modellerinin ortaya çıkması farklı alanlardan verilerin toplanmasına imkân sağlayacak, bu da yeni ürün ve hizmetlerin doğmasına öncülük edecektir.⁴¹³

Endüstri 4.0 Platformu tarafından 2019 yılında Endüstri 4.0 stratejisi çerçevesinde dijital ekosistemin yakın gelecekte ne şekilde gelişeceğini konu edinen bir "Endüstri 4.0 Vizyon Belgesi" hazırlanmıştır. Buna göre; i) otonomi, ii) birlikte çalışabilirlik ve iii) sürdürülebilirlik olmak üzere üç ana eksen belirlenmiştir. Belgeye göre, piyasadaki bütün paydaşların kendilerini etkileyecek kararları adil rekabete imkân verecek biçimde bağımsız bir şekilde alabilmesi, iş birliklerinin çoğulculuğa izin vermesi ve esnek olabilmesi ve yaratılan katma değerın yaşam standartlarını yükseltmeye olanak sağlaması hedeflenmektedir.⁴¹⁴

Endüstri 4.0'ın ülke dışına taşması ile uluslararası bir sinerji meydana geldiğinden de bahsedilebilir. Kavramın ilk kez Almanya'da ortaya çıkmış olması ve ülkede Endüstri 4.0'a yönelik önemli adımların atılması, ülkeyi örnek ülke haline getirmiştir. Dolayısıyla Almanya'nın uygulamaları diğer ülkeler tarafından da yakından takip edilmekte, her durumda Endüstri 4.0 adı ile olmasa da benzer anlayışta girişimlere rastlanmaktadır. Bunun yanında çeşitli uluslararası platformlar sayesinde Almanya'nın da içerisinde yer aldığı ülkeler arası süre-

⁴¹¹ Mattauç W., Digitising European Industries - Member States Profile:Germany, s.8.

⁴¹² Schroeder W., Germany's Industry 4.0 strategy: Rhine Capitalism in the Age of Digitalisation, s.3,4.

⁴¹³ Küresel Üretim ve Sanayileşme Zirvesi (GMIS), Germany 4.0: The Future Of Manufacturing, s.11.

⁴¹⁴ Endüstri 4.0 Platformu, 2030 Vision for Industrie 4.0, Ekim 2019, s.3, Erişim:16.11.2020, https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Vision-2030-for-Industrie-4.0.pdf?__blob=publicationFile&v=9

gelen iş birliklerinin varlığından da söz edilebilir. Ülkede araştırma sonuçlarının ortaya koyduğu bulguların uluslararası platformlar dâhil olmak üzere yayılmasına, yani bilgi transferine de büyük önem atfedilmektedir. Bunun için "mükemmeliyet merkezleri", "model bölgeler", "pilot projeler" ve "üstün kümeler" gibi bilgi transferine olanak sağlayan oluşumlar ve uygulamalar devreye sokulmuştur.⁴¹⁵

Endüstri 4.0 ile Almanya'nın özellikle makine mühendisliği ile otomotiv sektöründe sahip olduğu karşılaştırmalı üstünlüğün korunması amaçlanmıştır. Endüstri 4.0 uygulamaları açısından değer yaratma potansiyeli olan yeni alanlara yoğunlaşmaktan ziyade, hâlihazırda gelişmiş olan sanayi sektörü odak noktasıdır.⁴¹⁶

Endüstri 4.0'ın amaçları doğrultusundaki faaliyetler: i) Referans modelin oluşturulması, ii) birlikte çalışabilirlik, iii) belli bir kümeye indirgenmiş ve isteğe göre uyarlanmış üretim, iv) otomasyon piramidinin ayrıştırılması, v) akıllı hizmetler ve ürünler için süreç ve teknolojilerin üretilmesi ve kullanılması şeklinde özetlenebilir.⁴¹⁷ Söz konusu faaliyetler çerçevesinde Endüstri 4.0'ın etkileyeceği sekiz adet müdahale alanı belirlenmiştir. Bu alanlar aşağıda belirtilmiştir:⁴¹⁸

- Standartlaşma ve kaynak tasarımı için açık standartlar,
- Karmaşık sistemlerin yönetimi,
- Sanayi için kapsayıcı ve geniş altyapı sistemlerinin temini,
- Koruma ve güvenlik bileşeni,
- Dijital endüstriyel çağa uygun iş organizasyonu ve tasarımı,
- Eğitim ve Endüstri 4.0 ekseninde sürekli gelişim,
- Yasal çerçeve,
- Kaynak verimliliği.

Endüstri 4.0'ın kolaylaştırıcı teknolojilerinden sayılan yapay zekâ teknolojisi de Almanya için ayrı bir öneme sahiptir. Ekonomik İşler

⁴¹⁵ Schroeder W., Germany's Industry 4.0 strategy: Rhine Capitalism in the Age of Digitalisation, s.10.

⁴¹⁶ Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), What Can Policymakers Learn from Germany's Industrie 4.0 Development Strategy, s.25.

⁴¹⁷ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), Industry 4.0 in a Global Context, s.37.

⁴¹⁸ Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), What Can Policymakers Learn from Germany's Industrie 4.0 Development Strategy, s.10.

ve İklim Değişikliği Bakanlığı sponsorluğunda yapılan bir çalışmaya göre Ülkede üretimdeki katma değer yaklaşık 1/3'ünün yapay zekâdaki gelişmelere bağlı olarak artacağı beklenmektedir. Hâlihazırda yapay zekâ uygulamalarının büyük şirketlerde robotik ile kaynak yönetimi alanında, KOBİ'lerde ise bilgi yönetimi, kalite kontrol, tedarik zincirleri optimizasyonu gibi alanlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Öte yandan yapay zekânın kullanım yoğunluğunun hâlen potansiyelinin oldukça altında olduğu görülmektedir.⁴¹⁹ Yapay zekâ teknolojisinin kullanımını yaygınlaştırmak için Kasım 2018 tarihinde Federal Hükûmet "Yapay Zekâ Stratejisi"ni kabul etmiştir. Strateji kapsamında belirlenen 3 amaçtan biri Almanya'yı yapay zekâ teknolojilerinde küresel düzeyde lider konuma getirmek ve Ülkenin rekabetçiliğini korumak olarak belirlenmiştir.⁴²⁰

2.1.2. Kurumsal Yapı

Almanya'da Endüstri 4.0, Hükûmet tarafından ilgili bakanlıklar eliyle uygulamaya konmuştur. Dolayısıyla bu çerçevede strateji oluşturma, gündem belirleme ve koordinasyon görevleri Devlete aittir. Öte yandan kamu, özel sektör ve araştırma kuruluşları ile iç içe geçmiş bir çalışma anlayışına büyük önem verilmektedir. Fikir geliştirme ve uygulama kısmı ağırlıklı olarak özel sektör ve ortakları tarafından gerçekleştirilmekte ve süreç boyunca politika belirleyicilerle sıkı bir iş birliği yürütülmektedir.⁴²¹ Özetle Hükûmet ve özel sektör arasında Endüstri 4.0 bağlamında stratejik bir ortaklık oluşmuştur. Alman Hükûmeti, inovasyonu ülkenin gelecekte küresel düzeyde liderliğini devam ettirebilmesinin bir önkoşulu olarak kabul etmiş iken özel sektör dijitalleşme ve Ar-Ge alanında önemli bir çalışma içerisindeymiş ve bu alanlarda önemli devlet desteği almıştır.⁴²²

Endüstri 4.0 başlangıçta, Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile Eğitim ve Araştırma Bakanlığı olmak üzere iki bakanlığın

⁴¹⁹ Endüstri 4.0 Platformu, Industry 4.0, Mart 2019, Berlin, s.10, Erişim:17.06.2022, https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Al-in-Industrie4.0.pdf?__blob=publicationFile&v=5

⁴²⁰ Almanya Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı (BMWK), "Federal Government adopts Artificial Intelligence Strategy", Erişim:17.06.2022, <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2018/20181116-federal-government-adopts-artificial-intelligence-strategy.html>

⁴²¹ Avrupa Komisyonu, Germany Industry 4.0, s.4.

⁴²² Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), What Can Policymakers Learn from Germany's Industrie 4.0 Development Strategy?, s.17-19.

koordinasyonunda uygulamaya konmuştur. Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı, ağırlıklı olarak standardizasyon ve düzenleme faaliyetleri ile ilgilenmekte iken, Eğitim ve Araştırma Bakanlığı araştırma faaliyetlerini koordine etmektedir. Zaman içinde farklı konu alanları ile ilgili olmak üzere Endüstri 4.0 uygulamalarına dâhil olan bakanlık sayısı artmıştır. Farklı bakanlıkların sürece dâhil olmasında Endüstri 4.0 girişiminin etki alanının genişliği etkili olmuştur. Örneğin, İş ve Sosyal İşler Bakanlığı, iş gücünün Endüstri 4.0 yaklaşımına uyumunu sağlamaya dönük olarak Federal Hükûmetin dijital ajandasına uygun bir “Dijital İşyeri Platformu” kurmuştur.⁴²³ Sürece dâhil olan bakanlıklar ve ilişkili oldukları alanlar şunlardır:⁴²⁴

- Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı: Endüstri desteği, standardizasyon, regülasyon ve platform koordinasyonu,
- Eğitim ve Araştırma Bakanlığı: Araştırma desteği,
- İş ve Sosyal İşler Bakanlığı: İstihdam, niteliklerin geliştirilmesi,
- İçişleri Bakanlığı: Bilgi güvenliği,
- Ulaştırma ve Dijital Altyapı Bakanlığı: Altyapı, geniş bant internet,
- Adalet ve Tüketicinin Korunması Bakanlığı: Tüketicinin korunması, bilgi güvenliği.

Almanya’da yerel yönetimler tarafından da zaman zaman Endüstri 4.0 kapsamına dâhil edilebilecek programlar gündeme alınabilmektedir. Örneğin Saksonya Eyaleti yönetimi tarafından uygulamaya konan “Dijital Saksonya” stratejisi kapsamında Endüstri 4.0 uygulamaları teşvik edilmektedir.⁴²⁵

Kamu kurumları ile birlikte ülkede Endüstri 4.0 girişimi içerisinde özel sektör ve özel sektör örgütlenmeleri de önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle projelerin planlama ve tasarım aşaması ile

⁴²³ Schroeder W., Germany’s Industry 4.0 strategy: Rhine Capitalism in the Age of Digitalisation, s.9.

⁴²⁴ Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), What Can Policymakers Learn From Germany’s Industrie 4.0 Development Strategy?, s.13.

⁴²⁵ Mattauch W., Digitising European Industries - Member States Profile:Germany, s.10.

yürütme aşamasında kamu dışı paydaşlar önemli bir yere sahiptir. Örneğin, iş örgütlenmeleri arasında bulunan, Alman İşverenler Birliğinin dijital altyapı gelişimi alanındaki çalışmaları ile AB düzeyinde veri güvenliği mevzuatının uygulanması alanındaki çabaları önem arz etmektedir. Sendikalar ise iş gücünün Endüstri 4.0'a katılımı ve uyumu ile ilgili mevzuat ve eğitim süreçleri konusunda sürece dâhil olmaktadır.⁴²⁶ Acatech isimli bağımsız akademi, politika belirleyiciler ve kamuoyu için nitelikli teknik değerlendirmeler sunmakta, eğitimler vermekte ve ilerisi için önerilerde bulunmaktadır. Alman Yapay Zekâ Araştırma Merkezi, Endüstri 4.0 kapsamında kurduğu akıllı fabrika laboratuvarları ile sürecin test edilmesine olanak sağlamaktadır. Fraunhofer isimli araştırma kuruluşu, Endüstri 4.0 için yeni uygulamaların ve iş modellerinin geliştirildiği bir projeye özel sektör paydaşları ile birlikte öncülük etmektedir.⁴²⁷ Bitkom dijital ekonomi alanında faaliyet gösteren 2.500'den fazla küçük ve büyük ölçekli şirketin birlikteliğiyle oluşan dijital bir birlik olup inovatif ekonomi politikaları, eğitim sisteminde modernizasyon, geleceğin ağ hizmetleri gibi konularda savunuculuk görevini üstlenmektedir. Bunun yanında Makine ve İmalat Sanayii Birliği, Elektrik ve Elektronik Üreticileri Birliği gibi Endüstri 4.0 uygulamaları bakımından önde olan sektörlerin birlikleri de süreç içerisinde aktif rol almaktadır.⁴²⁸

Özellikle büyük firmaların iş alanları ile ilgili Endüstri 4.0 faaliyetleri de söz konusudur. Örneğin Bosch şirketler grubu Endüstri 4.0 teknolojisini şirketlerinde kendi üretim sistemleri için bir ağ şeklinde konuşturmakta ve ilgili yazılımları üreterek bu alanda çözümler sunmaktadır.⁴²⁹

Almanya'da inovasyon sisteminin başlıca paydaşları Şekil 17'de gösterilmiştir.

⁴²⁶ Schroeder W., Germany's Industry 4.0 strategy: Rhine Capitalism in the Age of Digitalisation, s.10.

⁴²⁷ Almanya Ticaret ve Yatırım Ajansı (GTAI), Industrie 4.0, s.17,18, Erişim:13.12.2019, http://www.inovasyon.org/pdf/gtai.industrie4.0_smart.manufact.for.future.july.2014.pdf

⁴²⁸ Almanya Ticaret ve Yatırım Ajansı (GTAI), Industry 4.0-Germany Market Report and Outlook, s.11, Erişim:20.11.2020, <https://www.gtai.de/resource/blob/64500/8b7afcaa0cce1ebd42b178b4430edc82/industrie4-0-germany-market-outlook-progress-report-en-data.pdf>

⁴²⁹ Almanya Ticaret ve Yatırım Ajansı (GTAI), "Industrie 4.0", s.18.

Şekil 17: Alman İnovasyon Sistemi

Kamu Sektörü	Araçlar	Endüstri, Araştırma ve Eğitim Sistemi
• Politika Düzenleyiciler Parlamento (Bundestag ve Bundestrat), Hükümet ve 16 Eyalet Meclisi, Avrupa Parlamentosu • Politika Yürütücüler BMWK ve BMBF başta olmak üzere ilgili bakanlıklar, yerel düzeyde BMBF şubeleri	• Alman Araştırma Vakfı (DFG) • Enstitüler • Alman bilimsel araştırmalarını desteklemek üzere kurulmuş diğer vakıf ve birlikler • İş dünyası birlikleri ve odaları • Yerel vakıflar • Avrupa Birliği Avrupa Araştırma Alanı (ERA) • Avrupa Birliği Avrupa Araştırma Konseyi (ERC)	• Endüstriyel Sistem Yabancı Şirketler, Uluslararası Şirketler, KOBİ'ler, Start-up* ve Spin-off Şirketler* • Araştırma ve Eğitim Sistemi Üniversiteler ve teknik okullar, üniversite dışı Araştırma enstitüleri

*Start-up şirketler, hızlı büyüme yeteneğine sahip, teknolojiyi kullanan, esnek yapılı ve çözüm üretme amaçlı olarak kurulan, geniş kitlelere hitap etmeyi hedefleyen yeni nesil şirketlerdir. Spin-off şirketler ise ana şirketten ayrılarak daha spesifik bir alanda çalışma hayatına ayrı bir şirket olarak devam eden yapılarıdır.

Kaynak: Hommes C., Mattes, A., Triebe D., Research and Innovation Policy in the US and Germany: A Comparison, Berlin, Ekim 2011, s.10, Erişim:25.11.2020, https://www.diw.de/documents/dokumentenarchiv/17/diw_01.c.532164.de/research_innovation_policy.pdf

Endüstri 4.0 Almanya'da kamu ve özel sektör tarafından farklı alanlarda bütçe ayrılarak ortak finanse edilmektedir. Endüstri 4.0'ın kamu finansmanına bakıldığında Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile Eğitim ve Araştırma Bakanlığı bünyesinde programın başında 200 milyon avroluk bir bütçe ayrılmıştır: Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı standardizasyon ve regülasyonlar için 80 milyon avro; Eğitim ve Araştırma Bakanlığı ise araştırma faaliyetlerinin yanı sıra bilgi teknolojileri dönüşümleri için 120 milyon avroluk bir bütçeye sahiptir.⁴³⁰

Kamu finansmanının yanı sıra katıldıkları projeler bazında özel sektör paydaşlarının da finansal ve aynı katkı sundukları görülmektedir. Büyük firmaların dâhil olduğu projelerde kamunun katkısı %50'nin altındadır. KOBİ'ler içinse kamu katkısı %60'a kadar çıkabilmekte olup uygulamada genellikle yarı yarıyadır.⁴³¹ Öte yandan hangi faaliyetlerin Endüstri 4.0 kapsamında sayılabileceği konusunda bir fikir birliği oluşmadığı için Endüstri 4.0'a ilişkin özel sektör

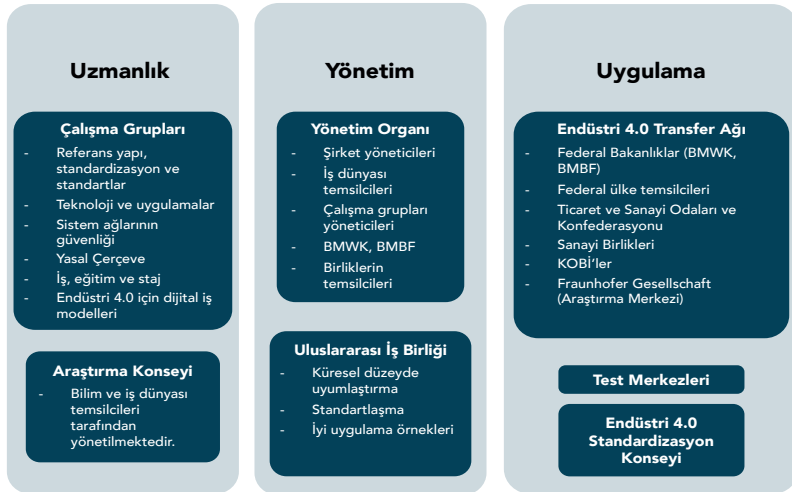
⁴³⁰ Avrupa Komisyonu, Germany Industry 4.0, s.4.

⁴³¹ Avrupa Komisyonu, Germany Industry 4.0, s.4.

harcamalarını hesaplamak her zaman mümkün olmamaktadır. Ancak Ülkede Ar-Ge harcamalarının %70 gibi büyük bir bölümü özel sektör tarafından yapılmaktadır. Ayrıca büyük işletmeler küçük olanlara göre kamu katkısına kıyasla çok daha fazla harcama yapmaktadır.⁴³²

Endüstri 4.0 Platformu, Endüstri 4.0'ın yürütülmesini ve koordinasyonunu sağlamak üzere ortak çalışmaların yapılabileceği bir platform olarak başta Bitkom, Makine ve İmalat Sanayii Birliği ile Elektrik ve Elektronik Üreticileri Birliği olmak üzere sanayi birlikleri tarafından 2013 yılında kurulmuştur. Sonrasında bakanlıklardan Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile Eğitim ve Araştırma Bakanlığının siyasi liderlik ve ajanda belirleme alanındaki katkılarıyla, kamu ve özel sektörün dâhil olduğu çok paydaşlı bir oluşum haline gelmiştir. Platform, Hükûmet ile şirketler, birlikler, üniversiteler ve sendikaların iletişim ve bilgi alışverişini sağlayan gönüllü bir iletişim ağı şeklinde de tanımlanabilir. Zamanla hem Almanya'da hem de uluslararası alanda konu ile ilgili en önemli iletişim ağı haline gelmiştir.⁴³³ Platformun yapısı Şekil 18'de sunulmuştur.

Şekil 18: Endüstri 4.0 Platformunun Yapısı



Kaynak: Endüstri 4.0 Platformu, "Structure of the Plattform Industrie 4.0", Erişim:17.11.2020, <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/ThePlatform/Structure-Organization/structure-organization.html>

⁴³² Avrupa Komisyonu, Germany Industry 4.0, s.4.

⁴³³ Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), What Can Policymakers Learn from Germany's Industrie 4.0 Development Strategy?, s.22.

Şekil 18’de görüldüğü üzere Platform bünyesinde konu tabanlı altı adet çalışma grubu bulunmaktadır. Çalışma grupları temelde standartlar, bilgi teknolojileri güvenliği, mevzuat ve eğitim vb. konularda tavsiyelerde bulunmaktadır. Dolayısıyla söz konusu tavsiyeler politika belirleyiciler, şirketler ve sivil toplum kuruluşları tarafından alınacak kararlara katkı sağlayacak veri niteliğindedir. Bütün tavsiye kararlarına, kılavuz ve diğer belgelere çevrimiçi kütüphanelerinden ulaşılabilir. ⁴³⁴

Endüstri 4.0 Platformu ayrıca, ülke çapındaki firmalar düzeyinde kavramın bilinirliğini sağlamakta ve firmaların bu alanda destek alabilmeleri amacıyla doğru hizmetlere ulaşabilmelerini mümkün kılmaktadır. Platformun sunduğu imkânlar şu şekilde özetlenebilir: ⁴³⁵

- Hedeflere ulaşabilmek için Platform içindeki çalışma gruplarıyla ortak çalışmalar yapma,
- İlgili şirketler, kurumlar, siyasi aktörler ve halk için ortak bir zemin sağlama,
- Fuar, yayın, konferans gibi etkinliklerle halkla ilişkileri yürütme,
- Benzer diğer girişimlerle iletişim ağı kurma ve geliştirme,
- Ortak bir bilgi portalı kurma ve devam ettirme.

Platformda, büyük firmaların yanı sıra KOBİ’lerin de Endüstri 4.0 sürecinden en iyi şekilde faydalanmaları için ayrı bir çaba sarf edilmektedir. Hâlihazırda Platformda 350 paydaş ile 150 kurum yer almaktadır. ⁴³⁶

Platform uluslararası düzeyde de yoğun iş birlikleri geliştirmiştir. AB Komisyonu, G20 ülkeleri gibi uluslararası oluşumlarla ortak çalışmalar yapmakta; çalıştay ve seminerler düzenlemekte ve yayınlar çıkarmaktadır. Ayrıca Platform, AB düzeyinde konu ile ilgili ulusal girişimlerle iletişim ağı kurma çabasında olan Avrupa Komisyonu-

⁴³⁴ Endüstri 4.0 Platformu, “Services and Results”, Erişim: 17.11.2020, <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Services-Results/Results/results.html>

⁴³⁵ Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), What Can Policymakers Learn from Germany’s Industrie 4.0 Development Strategy?, s.26.

⁴³⁶ Endüstri 4.0 Platformu, “Services and Results”.

nu bu alanda desteklemektedir.⁴³⁷ Ülke düzeyinde iş birliklerine ise ABD Endüstriyel IoT Konsorsiyumu, Fransız Geleceğin Endüstrisi İttifakı, Japon Robot Devrimi Girişimi ile yapılan iş birlikleri örnek olarak verilebilir.⁴³⁸

Platform bünyesinde üye şirketler ve birlikler tarafından oluşturulan, yeni teknoloji, iş modelleri ve uygulama senaryolarının test edildiği, ekonomik ve teknik fizibilitelerin yapıldığı test merkezleri bulunmaktadır. Test merkezleri, şirketlerin Endüstri 4.0 çözümlerini uygulamaya koymadan önce test edebilmelerine imkân sağlamakta, dolayısıyla büyük yatırım kararlarından önce fizibilite fırsatı sunmaktadır. Ayrıca söz konusu merkezler, birbirleri ile yakın ilişki içindedir. Merkezlerden ortaya çıkan sonuçlar yeni ürün gelişimi ve standardizasyon gibi alanlarda Endüstri 4.0'a katkı sunmaktadır. Özellikle KOBİ'ler için test merkezlerinin kullanımı teşvik edilmektedir.⁴³⁹ Test merkezleri, Labs Network Industry 4.0 adı ile faaliyet göstermektedir.⁴⁴⁰

Endüstri 4.0 Platformu ayrıca, sektörler arası teknik standartların oluşturulduğu ve koordine edildiği; uluslararası düzeyde standardizasyon konusunda çalışmaların yapıldığı bir oluşum olan "Endüstri 4.0 Standardizasyon Konseyi" ile koordineli olarak çalışmaktadır. Özellikle uluslararası arenada standardizasyon çalışmaları konusunda farklı paydaşları bir araya getirme konusunda Konsey ile birlikte önemli bir çaba içerisinde.⁴⁴¹

⁴³⁷ Almanya Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı (BMWK), "Platform Industry 4.0", Erişim:24.11.2020, <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Dossier/industrie-40.html>;

Avrupa Komisyonu, "Implementation of an Industry 4.0 Strategy - The German Plattform Industrie 4.0", Erişim:23.11.2020, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/blog/implementation-industry-40-strategy-german-plattform-industrie-40>

⁴³⁸ Endüstri 4.0 Platformu, "Services and Results".

⁴³⁹ Endüstri 4.0 Platformu, "A consistent focus on the needs of SMEs", Erişim:22.11.2020, <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Services-Results/Results/results.html>

⁴⁴⁰ Alman Standartlar Enstitüsü (DIN), German Standardization Roadmap, s.13, Erişim:24.11.2020, <https://www.din.de/blob/65354/57218767bd6da1927b181b-9f2a0d5b39/roadmap-i4-0-e-data.pdf>

⁴⁴¹ Alman Standartlar Enstitüsü (DIN), German Standardization Roadmap, s.12.

2.1.3. Endüstri 4.0 Değerlendirmeleri ve Uygulama Örnekleri

Almanya’da Endüstri 4.0 uygulamalarının genel anlamda bir başarı yakaladığı, daha da önemlisi gelecekteki açılımlar için sağlam bir temel oluşturduğu konusunda bir fikir birliği mevcuttur. Endüstri 4.0 ile sektör içi ayrışma azalmış, araştırma gündemini uygulamaya geçirme fırsatı doğmuş, en önemlisi de Endüstri 4.0 Platformu ile referans modelleri geliştirme ve paylaşma imkânı ortaya çıkmıştır.⁴⁴²

Almanya’nın Endüstri 4.0 uygulamalarını; şirketler, Hükûmet, üniversiteler ve ticaret birlikleri gibi kurumlarla çok paydaşlı ve bütünlüştürmüş bir biçimde yürütmesi, etki gücünü artırmaktadır. Süreçte, değişik paydaşların çıkarlarını dengeleme üzerine kurulmuş bir esnek kamu gücü kendini hissettirmektedir. Ayrıca özellikle özel sektörden gelen geri bildirimler sürecin şekillenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bunun yanında iş dünyasında çalışanların güçlü pozisyonu ve karar alım süreçlerinde etkili olmaları şirketleri uzun dönemli planlar yapmaya itmektedir. Aynı zamanda çalışanlara eğitim hayatlarının yanı sıra çalışma süreleri boyunca da niteliklerini artırıcı fırsatlar sunulması inovatif süreçlere olumlu yansımaktadır. Son olarak Endüstri 4.0 sadece büyük şirketlere özgülenmemiş olup devletin KOBİ’leri de sürece dâhil etme çabası bulunmaktadır. Çünkü KOBİ’ler, Endüstri 4.0’ın politik anlamda çok önemli bir bileşenidir.⁴⁴³ Bu durum uygulamanın etki alanını genişletmekte; sürecin kimsenin geride kalmadan ilerlemesinin önünü açmaktadır. Anılan nedenlerden dolayı Endüstri 4.0 stratejisi kısa sürede ülke içinde kendine önemli bir yer edinmiş, birçok şirket üretim zincirinin en azından belirli bir bölümünde uygulamayı gündemine almıştır. Ayrıca diğer ülkeler için de bu başarı ilham verici duruma gelmiştir.

Sektör bazında bakıldığında Endüstri 4.0’ın en önemli etkisinin otomotiv sektöründe olduğu, ikinci sırayı makine mühendisliği alanının aldığı görülmektedir. Öte yandan öncü firmaların dışında sistemin etkisinin istenilen düzeyde olmadığı eleştirileri de bulunmaktadır. 2017 yılında yapılan bir anket çalışmasına göre, ankete katılan firmaların %54’ü Endüstri 4.0 uygulamalarını hiç kullanmadığını belirtmiştir. En önemli sebepler ise bilgi güvenliği, gizlilik ve bağlantılı ürün uygulamaları şeklinde sıralanmıştır. KOBİ’lerin katıldığı başka bir anket çalışmasında ise üretimde dijital uygulamaları kullanma

⁴⁴² Avrupa Komisyonu, Key Lessons from National Industry 4.0 Policy Initiatives in Europe, Mayıs 2017, s.5, Erişim: 18.11.2020, https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Policy%20initiative%20comparison%20v1.pdf

⁴⁴³ Poplawski G., Bajczuk R., Industry 4.0 Germany’s New Industrial Policy, s.19-22.

oranı %21’de kalmıştır.⁴⁴⁴ Bununla birlikte sonraki dönemlerde yapılan anket çalışmalarına göre Endüstri 4.0 uygulamalarını kullanan işletme sayısının yıldan yıla arttığı görülmüştür. Almanya’nın dijital birliği olarak adlandırılan Bitkom tarafından yapılan bir anket çalışmasına göre ülkede ankete katılanlar arasında 2018 yılında %49 olan Endüstri 4.0 uygulamalarını kullanma oranı 2021 yılı ilk çeyreğinde %62’ye çıkmıştır. Söz konusu uygulamaları hâlihazırda kullanmayan %21’lik bir grup ise kullanma planı içerisinde olduklarını belirtmiştir. Şirketler ağırlıklı olarak nesnelerin interneti, 3B yazıcılar ve 5G iletişim sistemleri teknolojileri ile ilgilendiklerini belirtmişlerdir.⁴⁴⁵

Almanya Ticaret ve Yatırım Ajansının yayımladığı bir raporda da Almanya’nın Endüstri 4.0 alanında lider olma özelliğini sürdürdüğü ve bu alanın sektörlerde yarattığı katma değer gözle görülür hale geldiği sonucuna varılmıştır. Rapora göre Alman şirketlerin %65’i Endüstri 4.0 çözümlerini kullanmakta veya yakın bir gelecekte kullanmayı düşünmekte iken 2025 yılına kadar Endüstri 4.0’ın yaratacağı katma değer potansiyeli 425 milyar avro olarak öngörülmektedir. Endüstri 4.0 uygulamalarından en çok faydalanan sektörler mekanik ve üretim mühendisliği, otomotiv ile elektronik ve ileri teknoloji sektörleri olmuştur. Endüstri 4.0 çözümleri ise sırasıyla en çok bilgi teknolojileri, yazılım ve donanım alanlarında büyümüştür.⁴⁴⁶

Endüstri 4.0’a uyumun bir göstergesi olarak sanayide robot kullanımına bakıldığında Almanya’nın lider ülkelerden biri olduğu söylenebilir. 2020 yılı verilerine göre, sanayide robot kullanımında Almanya, dünyada beşinci ülke olarak yerini almıştır. Ülkenin küresel robot kurulumundan aldığı pay %6 dolaylarında olup sanayide kurulu robot sayısı 22.302 birimdir.⁴⁴⁷ En çok robotun otomotiv sektöründe kullanıldığı ülkede, 10 bin çalışan başına düşen robot miktarına bakıldığında 390 robotla Ülke, Güney Kore, Singapur ve Japonya’dan sonra dünya sıralamasında dördüncüdür.⁴⁴⁸

⁴⁴⁴ Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), What Can Policymakers Learn From Germany’s Industrie 4.0 Development Strategy?, s.21-22.

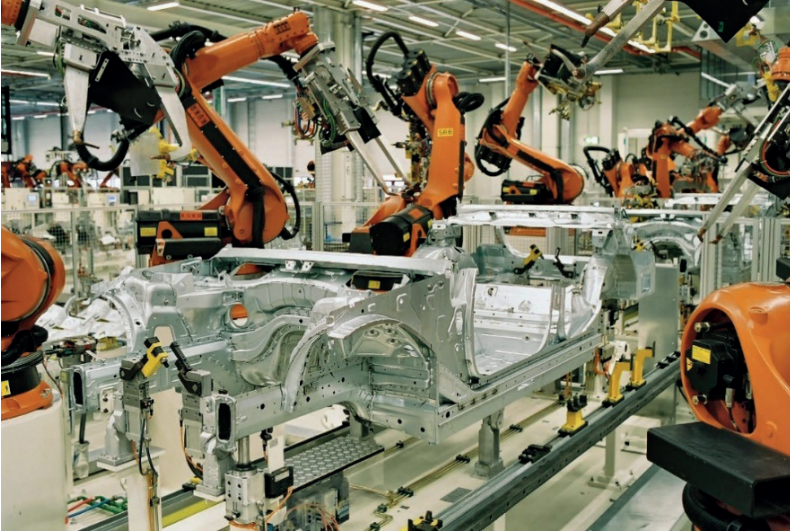
⁴⁴⁵ Alman Araştırma ve İnovasyon Merkezi (DWH), “No More Disinterest in Industry 4.0 – Covid-19 Pandemic Accelerates Digitalization Of German Industry”, Erişim:14.02.2022, <https://www.dwh-tokyo.org/de/2021/07/09/industrie-4-0/>

⁴⁴⁶ Almanya Ticaret ve Yatırım Ajansı (GTAI), Industry 4.0-Germany Market Report and Outlook, s.2,3.

⁴⁴⁷ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), Executive Summary World Robotics 2021 Industrial Robots, s.12,13.

⁴⁴⁸ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), “Robot Density Nearly Doubled Globally”, Erişim:15.02.2022, <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-density-nearly-doubled-globally>

Görsel 8: Otomotiv Sektöründe Endüstriyel Robotlarla Üretim



Gösterge niteliğinde sayılabilecek bir endeks, Staufen AG isimli bir danışmanlık şirketi tarafından 2014 yılından bu yana ülke çapında belirli aralıklarla hazırlanmaktadır. Söz konusu endeks "Akıllı Fabrika" ve "Akıllı İş" alt bileşenlerinden oluşan ve Almanya'daki firmalara yapılan anket sonuçlarına göre veriler üreten bir endekstir. Endekse göre Almanya'da firmaların yıldan yıla Endüstri 4.0 uyumu artmakta ancak artış, giderek azalan oranda gerçekleşmektedir. 2019 yılı için, en azından üretim sistemlerinin bir ayağında akıllı fabrika çözümlerini kullanan işletme sayısı 2014 yılına göre oldukça yüksek bir artış göstermiş ve endeks neredeyse üç katına çıkmıştır. Öte yandan entegre bir biçimde tüm operasyonları için bu sistemi kullanan işletme sayısı hâlâ çok azdır. Akıllı iş bileşeni bakımından ise önceki yıla oranla kayda değer bir değişim yaşanmamıştır. Bununla birlikte işletmelerin büyük bir çoğunluğu öngörülebilir gelecekte yapay zekâ uygulamaları, endüstriyel internet platformları gibi Endüstri 4.0 bileşenlerinin kendi sektörlerinde çok önemli roller oynayacağı konusunda hemen hemen hemfikirdir.⁴⁴⁹

⁴⁴⁹ Staufen İnternet Sitesi, German Industry 4.0 Index 2019, s.7,12,41, Erişim:18.11.2020, https://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEN.-Study-Industry-4-0-index-2019-en_.pdf

Avrupa Patent Ofisinin 2020 yılında yaptığı bir araştırmada, 2018 yılı verilerine göre patent başvurularının %10'unun Dördüncü Sanayi Devrimi ile ilgili olduğu ortaya konmuştur. Bu anlamda Almanya Avrupa'da açık ara lider ülke konumundadır ve küresel düzeyde Endüstri 4.0 ile ilintili başvuruların %6'sı Almanya tarafından yapılmıştır.⁴⁵⁰ Ayrıca Almanya, yıldan yıla bu alanda başvuru sayısını en çok artıran ülkelerden olmuştur. Ülkenin Endüstri 4.0 bağlamında en çok patent başvurusu yaptığı alanlar; araçlar, imalat ve altyapı ile ilgili olmuştur.⁴⁵¹

Bir danışmanlık şirketinin küresel düzeyde yaptığı başka bir araştırmaya göre şirketlerin önümüzdeki dönemde Endüstri 4.0'a uyumunun artacağı, artan uyumun ise maliyetlerde azalma ve gelirlerde artışa olanak sağlayacağını beklendiği belirtilmiştir. Mevcut durumda ise Endüstri 4.0 ile Japonya ve Almanya'daki kurumsal şirketlerin özellikle verimlilik ve ürün kalitesi konusunda rakiplerinin önünde yer aldığı sonucuna ulaşılmıştır.⁴⁵² 2021-2026 öngörülerinin paylaşıldığı diğer bir araştırma sonucuna göre ise Almanya'da söz konusu dönemde Endüstri 4.0 ve nesnelerin interneti uygulamalarının pazardaki büyümeyi yönlendirecek ana unsurlar olduğu belirlenmiştir.⁴⁵³

Ülkedeki Endüstri 4.0 uygulamalarından elde edilen tecrübeler bağlamında, iletişim ağının geliştirilmesi ile paydaşlar arasında ortak kural ve standartların belirlenmesi ön plana çıkmaktadır. Ayrıca KOBİ'leri sisteme daha aktif şekilde dâhil etmek için finansman imkânlarının artırılmasının yanı sıra Endüstri 4.0 test merkezlerinin geliştirilmesi de önem arz etmektedir. Buna göre, KOBİ'lerin doğaları gereği teknolojiye adaptasyonlarının daha yavaş olabildiği göz

⁴⁵⁰ Avrupa Patent Ofisi (EPO), Patents and the Fourth Industrial Revolution, Aralık 2020, s.2,56, Erişim:15.02.2022, [https://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/06E4D8F7A2D6C2E1C125863900_517B88/\\$File/patents_and_the_fourth_industrial_revolution_study_2020_en.pdf](https://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/06E4D8F7A2D6C2E1C125863900_517B88/$File/patents_and_the_fourth_industrial_revolution_study_2020_en.pdf)

⁴⁵¹ Avrupa Patent Ofisi (EPO), Patents and the Fourth Industrial Revolution, Aralık 2017, s.77,78,84, Erişim:18.11.2020, [http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/17FDB5538E87B4B9C12581EF00_45762F/\\$File/fourth_industrial_revolution_2017_en.pdf](http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/17FDB5538E87B4B9C12581EF00_45762F/$File/fourth_industrial_revolution_2017_en.pdf)

⁴⁵² PwC İnternet Sitesi, "Industry 4.0: companies worldwide are investing over \$US 900 billion per year until 2020", Erişim:18.02.2021, <https://www.pwc.by/en/press-releases/industry-4-0.html>

⁴⁵³ Yahoo Finance İnternet Sitesi, "Germany Data Center Market Investment Report 2021-2026", Erişim:18.02.2022, <https://finance.yahoo.com/news/germany-data-center-market-investment-112800988.html>

önüne alındığında bu işletmeler küresel değer zincirinde var olabilmek için desteğe ihtiyaç duymaktadır.⁴⁵⁴

Endüstri 4.0 uygulamalarının iş gücü üzerindeki etkisi de önemlidir. İlgili strateji belgelerinde Endüstri 4.0'ın çerçevesi belirtilse de özellikle niteliksiz iş gücüne etkilerinin belirlenmesi ve gerekli planlamaların yapılması konusunda bir yol belirlenmediği eleştirileri bulunmaktadır. Benzer şekilde çevresel etki açısından da detaylı tespitler yapılmamıştır.⁴⁵⁵

Uygulama örnekleri: Siemens şirketi, MindSphere adını verdiği bulut tabanlı, nesnelerin interneti açık kaynaklı işletim sistemini geliştirmiştir. Söz konusu sistem, fiziksel varlıkların dijital dünya ile bağlantısını hızlı, kolay ve ekonomik bir şekilde gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Tesis, makine ve kontrol noktalarını birbirine bağlayan sistem, üreticilerin kendi kendilerine maliyet ve iş yükü bakımından yapması zor olan veri toplama ve analiz etme süreçlerini mümkün kılmaktadır. Sistem, sanal ve birbiriyle bağlantısı olan akıllı cihazlardan, girişim sistemlerinden (*enterprise systems*) ve birleştirilmiş kaynaklardan veri devşirerek gerçek zamanlı şekilde operasyonel verinin analiz edilmesine imkân sağlamaktadır. Uygun yazılım ve donanım desteği ile Siemens haricindeki üreticilerin sistemlerini de desteklemektedir. Şirket böylece, çoğu şirketin karşılaştığı bağlantı sorunlarına çözümler bularak şirketlerin dijitalleşebilmesine olanak sağlamakta, uzaktan erişim olanağı ile mekâna bağımlılığı azaltmaktadır. Ayrıca sistem, güçlü bir veri analizi ve görselleştirme gerçekleştirerek üretimde verimliliği artırmaktadır. Tüm bunları yaparken uygulamalardan elde edilen veriyi depolayarak bilgi birikimi oluşumuna da imkân vermektedir.⁴⁵⁶

Bosch şirketi, Almanya'daki hidrolik valf üreten fabrikasında Endüstri 4.0'ı benimsemiş ve bunun sonucunda çıktıda %10 düzeyinde artış; stoklarda ise %30 azalış kaydetmiştir. 2.000 parça girdi ile altı valf çeşidinin üretildiği fabrika, öncesinde geleneksel imalat hattına sahip idi. Şirkette zamanla, üretim hatlarında var olan esnekliği kay-

⁴⁵⁴ Avrupa Komisyonu, Key Lessons From National Industry 4.0 Policy Initiatives in Europe, s.9.

⁴⁵⁵ Springer M., Schnelzer J., Differentiation of Industry 4.0 Models, s.14.

⁴⁵⁶ Siemens, MindSphere, s.3-5, Erişim:24.11.2020, https://www.plm.automation.siemens.com/media/global/en/Siemens_MindSphere_Whitepaper_tcm27-9395.pdf; Siemens, Siemens Info, E-Dergi, 2018, Erişim:24.11.2020, <http://siemens.e-dergi.com/pubs/siemens-info/2018/201801/assets/common/downloads/page0002.pdf>

betmeden üretimde verimlilik artışı ve teslimat süresinde kısalma gereklilikleri ortaya çıkmıştır. Bunun üzerine yeni teknoloji uygulamalarından yararlanmaya karar verilmiştir. Fabrikada ürünler arası geçişin mümkün olduğu dokuz adet akıllı iş istasyonu kurulmuştur. Montaj aşamalarına kılavuzluk etmek ve hataların elimine edilmesini sağlamak üzere ActiveAssist adı verilen yeni teknolojinin kullanılması sağlanmıştır. Ayrıca tüm montaj aşaması üç boyutlu kameralarla izlenmeye başlanmıştır. Her ürün, radyo frekans tanımlama sistemi ile bütünleştirilerek işçilerin her bir hat için yalnızca gerekli parça ile çalıştığından emin olunmuştur. İş istasyonlarında işçiler, kablosuz (*bluetooth*) etiketler ile tanınmış ve iş sürecinin her bir aşaması üretim sorumlularına anlık olarak bildirilmiştir. Böylece gerçek zamanlı takip mümkün hale gelmiştir.⁴⁵⁷

2020 yılı verilerine göre BMW Group şirketleri de üretim sistemlerinde Endüstri 4.0'ı "erken benimseyenler" grubunda yer almaktadır.⁴⁵⁸ BMW Endüstri 4.0'ın müşteri taleplerine uyumu kolaylaştırdığını, üretim süreçlerinde esneklik ve kaliteyi artırdığını belirtmektedir. BMW; akıllı veri analitiği, akıllı lojistik, inovatif otomasyon ve ekleme üretim sistemlerinde söz konusu teknolojiyi kullanmaktadır. Süreç dâhilinde örneğin monoton ve standart görevlerin yapay zekâ tabanlı teknolojilere bırakılması verimliliği artırmaktadır. Benzer şekilde algoritmalar tarafından depolanan veri yığınları, hata yapılmadan önlem almaya olanak sağlamaktadır. Kullanılan sanal gerçeklik teknolojisi ise gerçek zamanlı olarak 3B ortamında simülasyonları mümkün kılmakta ve böylece lojistik alanında olduğu gibi iş akış sürecinde de optimizasyon ve güvenlik sağlanabilmektedir.⁴⁵⁹

Almanya'da Endüstri 4.0 sürecinin paydaşları, hedefleri ve etki alanları ile ilgili konular Tablo 11'de özetlenmektedir.

⁴⁵⁷ IIoT İnternet Sitesi, "Bosch: an example when Industry 4.0 makes a difference", Erişim:25.12.2019, <https://iiot-world.com/connected-industry/a-real-example-when-industry-4-0-makes-a-difference/>;

Zenoot İnternet Sitesi, "How smart really is 'smart manufacturing' and what's next for Industry 4.0?", Erişim:25.11.2020, http://zenoot.com/articles/how-smart-really-is-smart-manufacturing-and-whats-next-for-industry-4-0/?utm_source=IIoT-World.com&utm_medium=iiot-world.com/news/

⁴⁵⁸ IOT Analytics İnternet Sitesi, "Industry 4.0 Adoption 2020 – who is ahead?", Erişim:16.02.2021, <https://iot-analytics.com/industry-4-0-adoption-2020-who-is-ahead/>

⁴⁵⁹ BMW Group, Digitalisation in Production, Erişim:16.02.2022, <https://www.bmwgroup.com/en/innovation/company/industry-4-0.html>

Tablo 11: Almanya’da Endüstri 4.0 Girişimi

Politika Alanı	Kamu desteği ve yönlendirmesi ile gelişen, paydaşların iletişimleriyle yürütülen bir girişim
Finansman Modeli	Kamu ve özel sektör finansmanı (aynı yardımlar da mümkün)
Hedef Kitlesi	İmalatçı/üreticiler ve KOBİ’ler
Etki ve Odak Alanı	Dijital inovasyon ile bilgi ve iletişim teknolojileri sektörü, iş modellerinin ve üretilen ürün/hizmetlerin dönüşümü
Temel Etkenler	Araştırmacılarca fikir geliştirme, üretimde yenilik deneyimi, pro-aktif birliktelikler
Temel Sınırlar	Bilişim ve iletişim teknolojileri sektöründeki rekabet, işçi katılım düzeyi
Uygulama Stratejisi	Kapsamlı araştırma ve Endüstri 4.0 Platformu liderliğinde dijital dönüşüm iletişim ağı
Elde Edilen Sonuçlar	Sektörde ayrışmayı azaltma, araştırma gündemini pratiğe dökme, referans model geliştirme ve siyaset, iş ve bilim dünyası, birlikler ve sendikalarla ortak olmak üzere 150 organizasyondan 350 paydaş ile ortak bir platform oluşturma ve yürütme*
Benzersizlik Faktörü	Hızlı bir şekilde araştırma gündeminin pratiğe dönüşmesi, Endüstri 4.0 Platformunun en kapsamlı ve büyük küresel ağı olması
Politika Belirleyiciler İçin Katma Değer	Makine mühendisliği alanında teknolojik önderlik açısından birleştirici bir stratejik girişim olması ve politika belirleyiciler için her düzeyde ilerleme olanağı sunması
Beklenen Etki	Eylemler ve tavsiyeler sayesinde Almanya’nın üretim alanında rekabetçi konumunu koruyacak tutarlı ve güvenilir bir çerçeve sunması

Kaynak: Avrupa Komisyonu, Germany Industry 4.0, s.2.

*Endüstri 4.0 Platformu, Composition of the Plattform Industrie 4.0, s.2, Erişim:16.02.2022, https://www.plattform40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikationgesamt/zusammensetzung_plattform.pdf?__blob=publicationFile&v=10

2.2. Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri (ABD), dünyanın en büyük ekonomisi olup küresel millî gelirin yaklaşık 1/4'üne sahiptir. Dünya Bankası verilerine göre, 2020 yılı itibarıyla 331,5 milyonluk bir nüfusa sahip olan ABD'nin GSYH'si 20,9 trilyon dolar, kişi başına düşen geliri ise 63,2 bin dolardır.⁴⁶⁰ Millî gelir içerisinde hizmet sektörünün payı %80, sanayi sektörünün payı %18, tarım sektörünün payı ise %1'dir. Ülkede ihracatın GSYH'ye oranı %10 iken ithalatın GSYH'ye oranı %13 düzeyindedir.⁴⁶¹

ABD, serbest piyasa ekonomisinin dünya çapında en büyük örneği olup, üretim ve hizmetler sektörü büyük ölçüde özel sektörün elindedir. Ülke zengin doğal kaynakların yanı sıra nitelikli iş gücü potansiyeli açısından da öne çıkmaktadır. Özellikle iletişim ve bilgi teknolojileri alanında iş gücünü artırmak için eğitime önem vermekte ve "beyin göçü" olarak adlandırılan olguyla diğer ülkelerden gelen kalifiye iş gücüne de kucak açmaktadır.⁴⁶² Nitekim 2019 yılı Küresel Rekabetçilik Endeksi⁴⁶³ (*The Global Competitiveness Index*) sıralamasında ABD, 141 ülke arasında 2. sırada yer almıştır.⁴⁶⁴

Bu başlık altında öncelikle ABD'de Endüstri 4.0 altyapısı ve stratejisi ele alınmaktadır. Sonrasında, Endüstri 4.0'a ilişkin kurumsal yapının çerçevesi çizilerek bu alanda kamu ve özel sektör tarafından hayata geçirilen girişim ve ortaklıklar işlenmektedir. Son olarak da ABD'nin Endüstri 4.0 sürecinde dünyadaki konumunu gösteren çeşitli istatistiksel verilere yer verilmektedir.

⁴⁶⁰ Dünya Bankası, "United States", Erişim:30.06.2022, <https://data.worldbank.org/country/US>

⁴⁶¹ Dünya Bankası, "Country Profile:USA", Erişim:30.06.2022, https://databank.worldbank.org/views/reports/reportwidget.aspx?Report_Name=CountryProfile&Id=b450fd57&tbar=y&dd=y&inf=n&zm=n&country=USA; Dünya Bankası, "Services, value added -United States", Erişim:30.06.2022, <https://data.worldbank.org/indicator/NV.SRV.TOTL.ZS?locations=US>

⁴⁶² T.C. Ticaret Bakanlığı, ABD Ülke Profili, s.4, Erişim:01.07.2022, <https://ticaret.gov.tr/data/5efc52d313b876f898f3c285/ABD.pdf>

⁴⁶³ 2020 yılında COVID-19 salgınından dolayı ülke sıralaması yapılmamış olup 2019 yılı verisi en güncel veri durumundadır.

⁴⁶⁴ Dünya Ekonomik Forumu (WEF), The Global Competitiveness Report 2019, s.xiii., Erişim: 09.11.2020, http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf

2.2.1. ABD’de Endüstri 4.0 Altyapısı ve Stratejisi

ABD’de Dördüncü Sanayi Devrimi, temelde yeni ve ileri düzey üretim aşamasına adaptasyon isteği olarak kendini göstermektedir. Ülkede süregelen otomasyon ve üretimde dijitalleşme çabalarının yanı sıra yeni teknolojilerden sayılan nesnelerin interneti kullanımı ve akıllı fabrikalar yoluyla makinelerin birbirleriyle etkileşim içerisine girebilme yeteneğini yaygınlaştırma çalışmaları da gündemdedir. Zaman içinde ülkede sanal ve artırılmış gerçeklik teknolojileri ile si-ber-fiziksel entegrasyonunun tam olarak sağlanması hedeflenmektedir. Ülkede robotik teknoloji ve düşünen aygıtlar, makine öğrenmesi ile makinelerin karar alma ve faaliyete geçme gücü kazanması Endüstri 4.0 sürecinde kolaylaştırıcı unsurlar olarak görülmektedir. Hâlihazırda Kuzey Amerika 3B yazıcı pazarında lider konumdadır ve Kuzey Amerikalı şirketlerin yarından fazlası operasyonel anlamda verimliliklerini geliştirmek amacıyla büyük veri analitiğini benimsemiş durumdadır.⁴⁶⁵ ABD’de Boeing gibi dev şirketlerin varlığı ve bu şirketlerin ülke içerisinde uzun tedarik zincirlerine sahip olması da Endüstri 4.0 uyumunu artırıcı bir etki yapmıştır.⁴⁶⁶

ABD’de Endüstri 4.0, kavramın ortaya çıktığı Almanya’ya kıyasla daha geniş bir çerçeveye oturmuştur. Endüstri 4.0, üretim sektöründe sıklıkla üretim zinciri optimizasyonu ve teknolojik inovasyon gibi kavramlarla birlikte kullanılmakta ve nesnelerin interneti ve akıllı üretim gibi teknolojileri içine almaktadır. Teknolojik boyutunun yanı sıra, piyasa tarafından yönlendirilen yeni iş modellerinin kurulmasına dayalı bir sistem olarak da görülmektedir. Ülkede Endüstri 4.0 ağırlıklı olarak özel sektör öncülüğünde gelişmekte, Almanya ve Asya’daki sistemlerden farklı olarak kamu kurumları daha az rol üstlenmektedir. Farklı finansman modellerinin geliştirildiği Endüstri 4.0 uygulamalarında risk sermayesi yatırımları ön plana çıkmaktadır. Özellikle *start-up* türündeki şirketler risk sermayesi yatırımlarından önemli paylar alabilmektedir. Bu şirketler, yetenek ve fikir üretme

⁴⁶⁵ Essentra Components İnternet Sitesi, “A guide to Industry 4.0 in the US”, Erişim:21.06.2022, <https://www.essentracomponents.com/en-us/news/guides/a-guide-to-industry-40-in-the-us>

⁴⁶⁶ Essentra Components İnternet Sitesi, “A guide to Industry 4.0 in the US”.

süreçlerinin önemsendiği ülkede Endüstri 4.0'ın gelişmesine katkı sağlamaktadır. Bu anlamda özellikle yazılım ve nesnelerin interneti gibi alanlarda faaliyet gösteren *start-up*'lar ABD'de Endüstri 4.0 çözümleri sunmada büyük öneme sahiptir.⁴⁶⁷

ABD'de Endüstri 4.0, özellikle üretim zinciri optimizasyonu ve teknolojik yeniliklerin geliştirilmesi bağlamında, imalat şirketleri ile özdeşleştirilmektedir. İmalatın yeniden canlandırılması ABD'de önemli bir ulusal politika haline gelmiştir. Üretim ve teknolojisi ile lider ülkelerden birisi olan ABD, küresel tedarik zinciri ve dinamik pazarı sayesinde Endüstri 4.0 sürecinde önemli ülkelerden biri olarak değerlendirilmektedir.⁴⁶⁸ Endüstri 4.0 ve ilişkili uygulamalar ABD Hükûmeti tarafından rekabetçiliğin destekleyici unsurları olarak görülmektedir. Özel sektör Endüstri 4.0'ı daha çok, ihtiyaç duyduğu yeni üretim yaklaşımı ve mimarisini sağlaması ve birlikte çalışabilirliği artırması nedeniyle benimsemektedir.⁴⁶⁹ Endüstri 4.0'ın küresel piyasalarda rekabet, keşif, inovasyon kapasitesi gibi alanlara olumlu etkisinin yanı sıra nitelikli iş gücünün devamlılığı ve güvenlik gibi alanlarda da katkı sunacağı öngörülmektedir. Federal düzeyde desteklerle dönüştürücü gücü olan yeni teknolojilere yatırım, ortak altyapı destekleri, yeni metot ve yaklaşımlarla üretim sürecini geliştirmenin, ileri imalatın başarılmasına olanak sağlayacağı düşünülmektedir.⁴⁷⁰

ABD'nin imalat sektöründe küresel ölçekteki payını koruyabilmesi için Endüstri 4.0'ı takip etmek zorunda olduğu dile getirilmektedir. Endüstri 4.0 ABD özelinde imalat sanayiinde teknolojik gelişimi destekleme ve devam ettirme çabası şeklinde vücut bulmuştur. Ülkede Endüstri 4.0 uygulamaları ileri imalat (*advanced manufacturing*) adı altında kendini göstermektedir.⁴⁷¹ İleri imalat; bilgi, otomasyon, he-

⁴⁶⁷ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), Industry 4.0 in a Global Context, s.53,54,56.

⁴⁶⁸ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), Industrie 4.0 in a Global Context, s.58.

⁴⁶⁹ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), Industry 4.0 in a Global Context, s.54.

⁴⁷⁰ ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), The U.S. Advanced Manufacturing Initiative, Erişim:24.06.2022, https://www.nist.gov/system/files/documents/2017/04/28/Molnar_091211.pdf

⁴⁷¹ ABD Başkanlık Ofisi Bilim ve Teknoloji Danışmanları Konseyi, Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing, Haziran 2011, Erişim:10.08.2022, www.obamawhitehouse.archives.gov

saplama, yazılım, algılama ve ağ kurmanın kullanımına ve koordinasyonuna bağlı olan ve/veya nanoteknoloji, kimya ve biyoloji gibi fen bilimlerince desteklenen en yeni malzeme ve yeteneklerden istifade eden faaliyetler bütünü olarak tanımlanmıştır. Bu kavram mevcut ürünlerin farklı biçimlerde üretilmesi ile bağdaştırılabileceği gibi yeni teknolojiler kullanarak yeni ürünler üretmek şeklinde de kendini gösterebilmektedir. İleri imalatın ABD ekonomisi açısından büyük potansiyel taşıdığı düşünülmektedir. Ülkenin belirli şirketler ve sektörler üzerine odaklanan bir sanayi politikasından ziyade, ileri imalatla inovasyonu destekleyecek bütüncül bir sistem oluşturma hedefi bulunmaktadır.⁴⁷²Ayrıca bu alanda kamu-özel sektör ortak çalışma anlayışının etkili bir şekilde geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.⁴⁷³

Konu ile ilgili olarak ABD Başkanına bağlı Başkanlık Ofisi Bilim ve Teknoloji Danışmanları Konseyi, yerel istihdam fırsatları yaratmak ve imalatla rekabet gücünü yeniden oluşturmak için yerel, bölgesel ve federal düzeyde tüm paydaşların katılımıyla “İleri İmalatta Amerikan Liderliğinin Sağlanması” (*Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing*) başlıklı bir rapor hazırlamış ve ABD Başkanına sunmuştur. Söz konusu Raporda imalat sanayiinin millî gelir içerisindeki payının 1970’lerden itibaren azaldığı, Ar-Ge çalışmalarının imalat sektörü içerisindeki payının Japonya ve Almanya gibi diğer yüksek gelirli ülkelere kıyasla geride kaldığı, bu sebeple de ABD’nin imalatla liderliğinin risk altında olduğu sonucuna varılmıştır. Rapor, federal düzeyde gerekli tedbirlerin alınması ve çalışmaların başlatılması hususunda yol gösterici olmuştur.

Yapılan bir çalışmaya göre ileri imalat girişimi ile imalat sektöründe karşılaşılan sorunlara bilimsel ve teknik anlamda çözümler geliştirildiğinde ABD’li üreticiler için yıllık yaklaşık 100 milyar dolarlık bir tasarruf söz konusu olacaktır. Maliyet düşüşüne katkı sağlayacak en önemli iki alan 57 milyar dolar ile akıllı üretim, 40 milyar dolar ile robotlar ve otomasyon olarak belirlenmiştir.⁴⁷⁴ ABD’de 2025’te üretim alanında yaklaşık 3,5 milyon kişilik yeni iş gücü ihtiyacı doğacaktır.

⁴⁷² ABD Başkanlık Ofisi Bilim ve Teknoloji Danışmanları Konseyi, *Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing*, s.ii

⁴⁷³ ABD Başkanlık Ofisi, *Strategy for American Leadership In Advanced Manufacturing*, s.8, Erişim:24.06.2022, <https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2018/10/Advanced-Manufacturing-Strategic-Plan-2018.pdf>

⁴⁷⁴ ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), *The Economic Impact of Technology Infrastructure for Advanced Manufacturing: An Overview*, Ekim 2016, Erişim:24.06.2022, <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/eab/nist.eab.1.pdf>

Hâlihazırdaki iş gücü potansiyeline göre bu ihtiyacın 2 milyonun karşılamanmayacağı belirtilmektedir. Günümüzde imalat alanında birçok kalifiye iş gücünün klasik üretim koşullarından dolayı niteliklerine uygun işlerle eşleşmedikleri bilinmektedir.⁴⁷⁵

ABD’de Endüstri 4.0 ile ilgili ilk somut adım 2011 yılında hayata geçirilen “İleri İmalat Ortaklığı” (*Advanced Manufacturing Partnership-AMP*) ile atılmıştır. Ortaklık, Federal Hükûmet tarafından yüksek kaliteli imalat ürünleri ortaya koymak ve ABD’nin küresel rekabetçiliğini artırmak üzere yeni ortaya çıkan teknolojilerin belirlenmesi amacıyla sanayi sektörü, üniversiteler, Federal Hükûmet ve diğer paydaşları da bir araya getiren bir girişimdir. Ortaklık çerçevesinde paydaşlar üretim alanındaki yeni teknolojileri belirleme, geliştirme ve finansal destek sağlama gibi konularda inisiyatif almaktadır. Ortaklığın başlangıç sermayesi 500 milyon dolar olarak belirlenmiştir. ABD için kritik sayılabilecek alanlarda faaliyet gösteren bu girişimin başlıca amaçları;

- Ulusal güvenlik endüstrisinde kritik öneme sahip ürünlerin yerli üretimini teşvik etmek,
- İleri imalat kapsamındaki ara ürün ve nihai ürünlerin üretim süresini kısaltmak,
- Yeni nesil robotik sistemlerde ABD’yi lider ülke yapmak,
- Üretim süreçlerinde enerji verimliliğini artırmak,
- Ürünleri tasarlamak, inşa etmek ve test etmek için gereken zamanı önemli ölçüde azaltacak yeni teknolojiler geliştirmek olarak belirlenmiştir.⁴⁷⁶

AMP’nin yürütülmesine dönük olarak “AMP Yürütme Komitesi” kurulmuş olup Komite üç ana eksen altında aşağıdaki tabloda örneklerine yer verilen çeşitli eylemler önermiştir.

⁴⁷⁵ ABD Başkanlık Ofisi, *Strategy for American Leadership In Advanced Manufacturing*, s.18.

⁴⁷⁶ ABD Başkanlık Ofisi, “President Obama Launches Advanced Manufacturing Partnership”, Erişim:08.07.2022, <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2011/06/24/president-obama-launches-advanced-manufacturing-partnership>

Tablo 12: AMP Gelişme Eksenleri ve Eylemler

Gelişme Eksenleri	Eylemler
Etkinleştirici İnovasyon	- Ulusal düzeyde Amerikan İmalat İnovasyon Enstitüleri ağı ve bir pilot enstitü kurmak, - İleri imalat sanayilerine Ar-Ge yatırım desteği sağlamak,
İnsan Kaynakları Kapasitesini Canlı Tutmak	- Kariyer Fonuna 8 milyar dolarlık fon sağlamak, - Yüksek vasıflı kişilere lisans ve yetkilendirme hakkı tanımak ve istihdama katılımlarını teşvik etmek,
İş Ortamını Geliştirmek	- Yerli imalata yatırımı teşvik etmek için vergi kanununda reform yapmak, - Kaynakların güvenli ve sorumlu gelişimini teşvik etmek, - Firmalar ve çalışanlar için iş teşvikleri oluşturmak.

Kaynak: Kuo C.C., Shyu J.Z., Ding K., Industrial revitalization via industry 4.0 – A comparative policy analysis among China, Germany and the USA, s.6.

AMP eylemleri, özel sektör faaliyetlerine temel teşkil etmiş ve 2013 yılında söz konusu İleri İmalat Ortaklığı, AMP 2.0 olarak yeniden adlandırılarak ek eylem önerileri getirilmiştir. AMP 2.0, bilimsel, hedef odaklı ve hayata geçirilebilir tavsiyelerle ABD’de imalatla inovasyonu desteklemeyi amaçlamıştır.⁴⁷⁷

Tablo 13: AMP 2.0 Gelişme Eksenleri ve Eylemler

Gelişme Eksenleri	Eylemler
Etkinleştirici İnovasyon	- İmalat sanayiinde ABD’nin rekabetçiliğini garanti altına alacak bir strateji geliştirmek, - İleri üretim danışma kurulunu oluşturmak, - İleri üretim konusunda kamu-özel ortaklıkları ile Ar-Ge altyapısını güçlendirmek, - İmalat teknolojilerinin birlikte çalışabilirliğini sağlayacak standartlar ve süreçler geliştirmek. - İmalatta İnovasyon Ulusal Ağını kurmak,

⁴⁷⁷ ABD Başkanlık Ofisi Bilim ve Teknoloji Danışmanları Konseyi, Report to the President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing, s.15, Erişim:09.08.2022, https://www.manufacturing.gov/sites/default/files/2018-01/amp20_report_final.pdf

İnsan Kaynakları Kapasitesini Canlı Tutmak	• İmalat sektöründe kariyer fırsatlarını anlatan ulusal bir kampanya düzenlemek, • İşe alımlarda ve yükselmelerde referans teşkil edecek şekilde bir ulusal sertifikasyon düzenlemesi yapmak, • Federal desteklerle online eğitim ve akreditasyon programları düzenlemek, • AMP 2.0 bünyesindeki çıktıları erişilebilir kılmak,
İş Ortamını Geliştirmek	• Federal düzeyde, eyaletlerde, sektörde faaliyet gösteren aracı kurumları koordine etmek ve kapasitelerini güçlendirmek, • İleri imalatla ilgili riskleri azaltmak.

Kaynak: ABD Başkanlık Ofisi Bilim ve Teknoloji Danışmanları Konseyi, Report to the President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing, s.17-18.

2012 yılında ileri imalatı desteklemek üzere federal düzeydeki program ve eylemlere rehberlik etmek üzere “Ulusal İleri İmalat Stratejik Planı” kabul edilmiştir. Plan; ileri imalat teknolojilerine yatırımı hızlandırmayı, ileri imalat alanında çalışan nitelikli iş gücü sayısını artırmayı; kamu sektörü, sanayi, akademi arasında ortaklıklar oluşturmayı ve bu ortaklıkları desteklemeyi, Federal Hükûmetin imalat sektöründeki yatırımlarını optimize etmeyi ve Ar-Ge alanındaki yatırımlarını artırmayı amaç edinmiştir.⁴⁷⁸ Söz konusu Plan güçlü bir inovasyon politikası oluşturmak için önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Planın ardından aynı yıl AMP Yürütme Komitesi önderliğinde ABD Savunma Bakanlığı tarafından ileri imalat alanında finanse edilen ilk pilot İnovasyon Enstitüsü kurulmuştur.⁴⁷⁹

2014 yılında ABD’nin ileri imalat alanında önde gelen konumunu sürdürebilmek amacıyla kişileri, fikirleri ve teknolojiyi birbirine bağlayan bir program olarak nitelendirilen *Manufacturing USA* Programı kabul edilmiştir. İleri imalat küresel liderlik vizyonu üzerine kurulu Program ile iş dünyası, akademi ve diğer paydaşlara, bir araya gelerek yeni teknoloji uygulamalarını test edebilme, yeni ürünler geliştirebilme, maliyet ve riski azaltma, nitelikli iş gücünü geliştirme gibi

⁴⁷⁸ ABD Başkanlık Ofisi Bilim ve Teknoloji Danışmanları Konseyi, A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing, Şubat 2012,s.1, Erişim:08.08.2022, https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/nstc_feb2012.pdf

⁴⁷⁹ Kuo C.C., Shyu J.Z., Ding K., Industrial revitalization via industry 4.0 – A comparative policy analysis among China, Germany and the USA, s.6.

konularda ortak çalışma fırsatı sunulmuştur.⁴⁸⁰ Program bünyesinde kurulan enstitülere ilerde ayrıca yer verilmektedir. Programın amacı aşağıda özetlenmektedir:⁴⁸¹

- Ülkede imalat alanında rekabetçiliği artırmak,
- Yenilikçi teknolojilerin ölçeklenebilir, uygun maliyetli ve yüksek performanslı yurt içi imalat kapasitesine dönüşmelerini kolaylaştırmak,
- İleri imalat iş gücünün geliştirilmesini hızlandırmak,
- Enstitülerin istikrarlı ve sürdürülebilir hale gelmesine yardımcı olacak iş modellerini desteklemek.

2014 yılında ileri imalatın gelişimi için önemli bir başka adım atılarak "Amerikan İmalatını ve İnovasyonu Canlandırma Yasası" (*Revitalize American Manufacturing and Innovation Act-RAMI*) kabul edilmiştir. Yasa ile Ticaret Bakanlığı bünyesindeki Ulusal Teknoloji ve Standartlar Enstitüsü tarafından federal düzeyde "Üretim İnovasyon Programı" başlatılmış olup Program ile ileri üretim teknik ve teknolojileri de dâhil olmak üzere imalat sanayiinin dijitalleşmesinde kritik rolü olan teknolojilere odaklanılmıştır.⁴⁸² Ayrıca Yasa ile Bakanlığa imalat alanında ulusal bir inovasyon ağı kurma görevi verilmiştir.⁴⁸³ Enstitülerden meydana gelen güçlü bir ağ oluşturulması yoluyla, kamu ve özel sektör yatırımlarının koordinasyonu sağlanarak imalat sanayiinin rekabetçiliğini ve verimliliğini artırmak amaçlanmaktadır. 2020 yılında RAMI yasasında değişikliğe gidilerek kurulacak enstitülerin teknoloji odakları ve faaliyet alanları genişletilmiştir. Böylece farklı alanlarda yeni enstitülerin kurulmasının yolu açılmıştır.⁴⁸⁴

⁴⁸⁰ Manufacturing USA İnternet Sitesi, "About Us", Erişim: 09.08.2022, <https://www.manufacturingusa.com/about-us>

⁴⁸¹ ABD Ticaret Bakanlığı, Annual Report, 2016, s.3, Erişim: 08.08.2022, <https://www.manufacturingusa.com/sites/prod/files/Manufacturing%20USA-Annual%20Report-FY%202016-web.pdf>

⁴⁸² ABD Ticaret Bakanlığı, Annual Report, s.1.

⁴⁸³ Kuo C.C., Shyu J.Z., Ding K., Industrial revitalization via industry 4.0 – A comparative policy analysis among China, Germany and the USA, s.6.

⁴⁸⁴ ABD Kongresi Araştırma Servisi (CRS), Manufacturing USA: Advanced Manufacturing Institutes and Network, Mart 2021, s.i, Erişim:24.06.2022, <https://sgp.fas.org/crs/misc/R46703.pdf>

2.2.2. ABD’de Endüstri 4.0 Sürecine İlişkin Önemli Girişim ve Ortaklıklar

Politikaların başlangıç tarihi sayılan 2011 yılında, Başkanlık Ofisi Bilim ve Teknoloji Danışmanları Konseyi tarafından ulusal düzeyde bir üretim inovasyon ağı kurulması tavsiyesi verilmiştir. 2012 yılında Savunma Bakanlığı tarafından ilk adım olarak bir pilot girişim olan ve eklemeli üretim teknolojilerine odaklanan “Üretim Inovasyon Enstitüsü” kurulmuştur.⁴⁸⁵ 2013 yılında ise Ulusal Bilim ve Teknoloji Konseyi ulusal düzeyde bir üretim inovasyon ağı kurmak için ilk adımı atmıştır. RAMI yasasının 2020 yılında güncellenen son haline göre sektörlere göre inovasyon enstitüleri kurulmuş ve bu enstitüler farklı federal kurumlar tarafından finanse edilmeye başlanmıştır. Her bir enstitü kamu-özel sektör ortaklığı şeklinde yapılmış ve robotik, biyofarma gibi spesifik bir teknoloji alanına odaklanmıştır. Enstitüler genel olarak girişimlere erken dönem inovasyon ve ticarileşme aşamalarında Ar-Ge desteği sunmaktadır. Enstitülerin faaliyet alanları şu şekilde özetlenebilir.⁴⁸⁶

- Kavram kanıtlama; yeni teknolojileri ticari hayata geçirmenin risk, maliyet, süre gibi unsurlarını düşürme, Ar-Ge süreçleriyle mevcut teknolojileri, ürünleri, malzemeleri ve süreçleri geliştirme dâhil olmak üzere araştırma, geliştirme ve tatbikat faaliyetlerinde bulunma,
- Uygulamalı mühendislik bilimleri dâhil olmak üzere her kademede uygun eğitim ve öğretim programları düzenleyerek iş gücü ihtiyacına çözüm olabilecek eğitim, kurs, materyal geliştirme ve uygulama,
- Tedarik zinciri entegrasyonu ve zincirlerde yeni teknolojilerin benimsenmesi için inovatif yöntem bilimleri ve pratikler geliştirme,
- Büyük işletmelerin yanı sıra sosyal amaçlı girişimler ve KOBİ’lerle de birlikte çalışma,

⁴⁸⁵ ABD Sayıştay (GAO), Advanced Manufacturing, Aralık 2021, s.2, Erişim:24.06.2022, <https://www.gao.gov/assets/gao-22-103979.pdf>

⁴⁸⁶ ABD Kongresi Araştırma Servisi (CRS), Manufacturing USA: Advanced Manufacturing Institutes and Network, s.5.

- Diğer enstitülerdeki çalışmaları da göz önünde bulundurarak Enstitüde benimsenen teknoloji alanları için yol haritaları geliştirme.

Enstitülerin özel şirketler, kâr amacı gütmeyen kurumlar, akademik kurumlar ve kamu kurumları gibi farklı kurumsal yapılardan üyeleri bulunmakta olup söz konusu üyeler tarafından enstitülere ortak alan, ekipman ve fikrî mülkiyet haklarına erişim imkânı sunulmaktadır. Ekim 2021 tarihi itibarıyla ülkede federal düzeyde finanse edilen 16 adet enstitü vardır. Enstitülere sağlanan federal düzeydeki finansal destek toplam 1,7 milyar doları bulmuş olup diğer yardımlarla birlikte fonlama düzeyi 2,6 milyar dolar kadardır. En yeni enstitüler Biyoendüstriyel Üretim ve Dizayn Ekosistemi (*BioMADE*) ve Siber-güvenlik Üretim İnovasyon Enstitüsüdür (*CyMannII*).⁴⁸⁷

Enstitülerin federal düzeyde finansmanında bakanlıkların önemli bir rolü bulunmaktadır. Ticaret Bakanlığı, Enerji Bakanlığı ve Savunma Bakanlığı başta olmak üzere federal kurumlar kendi alanlarında Ar-Ge, eğitim ve iş gücünü geliştirme gibi konularda yatırımlar yapmaktadır. Amaçlar ve hedefler doğrultusunda kurumların ileri imalatteki rolleri Tablo 14'te özetlenmiştir.

⁴⁸⁷ ABD Sayıştayı (GAO), Advanced Manufacturing, s.3,4,13.

Tablo 14: Federal Kurumların İleri İmalattaki Roller

Amaç	Hedefler	Sorumlu Kurumlar
Yeni üretim teknolojileri geliştirmek ve dönüştürmek	Geleceğin akıllı üretim sistemlerini yakalamak	Savunma B., Enerji B., Ticaret B., NASA
	Dünyaca ünlü malzeme ve işleme teknolojileri geliştirmek	Savunma B. Enerji B., Ticaret B., UBV*, NASA
	Yerli üretim yoluyla medikal ürünlere erişimi garanti altına almak	Savunma B., Enerji B., SSYB*
	Elektronik, dizayn ve fabrikasyonda liderliği devam ettirmek	Savunma B., Enerji B., Ticaret B., UBV*, NASA
	Gıda ve tarımsal üretimde fırsatları artırmak	Savunma B., UBV*, Ticaret B., Tarım B.
İmalatta çalışan iş gücünü eğitmek ve devreye sokmak	Geleceğin imalat sektöründeki iş gücünü cazip kılmak ve büyütmek	Savunma B., Enerji B., Ticaret B., UBV*, NASA
	Teknik eğitim yolunda kariyer imkânlarını geliştirmek ve güncellemek	Savunma B., Enerji B., Ticaret B., UBV*, NASA, Çalışma B., Eğitim B.
	Çıracılığı teşvik etmek ve çıracılığa sanayi tarafından kabul gören bir kimlik kazandırmak	Savunma B., Enerji B., Ticaret B., UBV* NASA, Çalışma B., Eğitim B., Tarım B.
	Kalifiye çalışanları ihtiyaç duyulan endüstrilerle eşleştirmek	Savunma B., SSYB*, Çalışma B., Tarım B.
Yerel imalat tedarik zincirinin kapasitesini geliştirmek	KOBİ'lerin ileri imalattaki rolünü artırmak	Savunma B., Enerji B., Ticaret B., SSYB*, UBV* NASA, Çalışma B.
	Üretim inovasyon ekosistemini desteklemek	Savunma B., Enerji B., Ticaret B., SSYB*, NASA
	Savunma üretim sistemlerini güçlendirmek	Savunma B., Enerji B., Ticaret B., SSYB*, NASA
	Kırsal topluluklar için ileri imalatı güçlendirmek	Tarım B.

* UBV: Ulusal Bilim Vakfı, SSYB: Sağlık ve Sosyal Yardım Bakanlığı,

Kaynak: ABD Başkanlık Ofisi, *Strategy for American Leadership In Advanced Manufacturing*, s.2.

Enstitülerle birlikte RAMI yasasına dayanarak *Manufacturing USA* Programı çerçevesinde ABD Üretim Ağı (*Manufacturing USA Network*) kurulmuştur. Söz konusu Ağ, yukarıda anılan enstitüleri ve başvuruları üzerine Ticaret Bakanlığı tarafından belirlenen diğer enstitüleri de içine almaktadır. Ağın, ağ içi iş birlikleri oluşturmak, bilgi alışverişi sağlamak, gerektiğinde dış paydaşlarla da iş birliği içerisine girmek gibi amaçları bulunmaktadır. Ayrıca enstitülere amaçlarına ulaşma yönünde destek vermek de Ağın görevleri arasındadır.⁴⁸⁸

ABD’de özel sektör girişimiyle hayata geçirilen iş birlikleri de bulunmaktadır. Endüstri 4.0’ın piyasa odaklı gelişimi özel şirketler için bu alanı cazip kılmıştır. Ülkede birçok büyük ölçekli şirket Endüstri 4.0 veya endüstriyel nesnelerin interneti odaklı yazılım platformları geliştirme amacıyla çalışmaktadır. Hâlihazırdaki platformların birçoğu da tek bir büyük şirket tarafından hayata geçirilmiştir.⁴⁸⁹

Özel sektör iş birliklerinden en önemlisi, nesnelerin internetine dayalı akıllı cihazlar üretmek ve sistemlerin güvenli bir şekilde yaygınlaştırılmasını sağlamak amacıyla kurulan Endüstriyel İnternet Konsorsiyumudur (*Industrial Internet Consortium-IIC*). Başlangıçta ABD menşeli Cisco, General Electric, Intel, IBM ve AT&T şirketleri tarafından kurulan ve sektör paydaşlarını bir araya getirmek gibi bir görev üstlenmiş olan Konsorsiyuma büyük işletmelerin yanında; kamu kurumları, KOBİ’ler, üniversiteler ve sivil toplum kuruluşları da katılabilmektedir. 2021 yılında Nesnelerin İnterneti Endüstrisi Konsorsiyumu (*Industry IoT Consortium*) olarak yeniden adlandırılan Konsorsiyum, birlikte çalışabilirlik standartları ve ortak mimari kuralları geliştirerek bilgi paylaşımını en üst düzeye çıkarmak suretiyle endüstriyel internet uygulamalarından değer yaratma amacı taşımaktadır. Konsorsiyum ayrıca gerçek dünya koşullarında deneysel bir platform olan sinama ortamı (*testbed*), endüstriyel nesnelerin interneti teknolojisine dayanan testlerin planlandığı hizmetler (*test drive*) ve endüstriler arası kullanıma sunmak üzere mimari ve dizayn

⁴⁸⁸ ABD Kongresi Araştırma Servisi (CRS), *Manufacturing USA: Advanced Manufacturing Institutes and Network*, s.12.

⁴⁸⁹ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), *Industry 4.0 in a Global Context*, s.56.

örüntülerinin tasarlanması hizmetleri (*patterns*) gibi hizmetler sunmaktadır.⁴⁹⁰ ABD’de özellikle yeni standartların ve normların oluşması için sinama ortamlarının kullanımı önemsenmektedir.⁴⁹¹ Bunun yanında Konsorsiyumun diğeri bir çalışma alanı olan referans mimarisinin geliştirilmesi ve açık standartların oluşturulması, endüstriyel sistemlerin birlikte çalışabilirliğini mümkün kılmaktadır.⁴⁹² Bir nevi Alman Endüstri 4.0 Platformuna benzetilen Konsorsiyum; enerji, sağlık, üretim, madencilik, perakende, akıllı şehirler ve ulaştırma gibi sektörlerde hizmet vermekte olup en iyi uygulama örneklerini sunma ve standart geliştirme kuruluşları ile irtibat kurma gibi konularda aracılık görevi üstlenmektedir. Bünyesinde dijital dönüşüm, uç hesaplama, endüstri, irtibat, pazarlama ve inovasyon, güvenlik, özel gruplar, teknoloji gibi çalışma grupları barındırmaktadır.⁴⁹³ Konsorsiyumun ABD’li kuruluşların yanında Avrupa ve Asya’dan birçok şirket, üniversite veya araştırma kuruluşu düzeyinde üyesi bulunmaktadır.⁴⁹⁴ Konsorsiyumun yapısı Tablo 15’te özetlenmiştir.

Tablo 15: Nesnelerin İnterneti Endüstrisi Konsorsiyumunun Yapısı

Konsorsiyumun Bileşenleri	Bileşenlere İlişkin Açıklamalar
Paydaşlar	Çok uluslu şirketler Konsorsiyumun kurucu ve ana yürütücüleridir. Kâr amacı gütmeyen kuruluşlar fikir üretme ve sinama aşamasında katkı sunmaktadır. Akademi ve Hükümet katalizör görevi görmektedir.
Faaliyet Alanı	Üretim sürecinde endüstriyel nesnelerin interneti uygulamalarını benimsemiş, birlikte çalışabilirliği amaç edinmiştir. İyi uygulama örneklerinin paylaşılması, sinama ortamları ve standardizasyon ana faaliyetleridir.

⁴⁹⁰ ABD Nesnelerin İnterneti Endüstrisi Konsorsiyumu, “Initiatives”, Erişim:22.06.2022, <https://www.iiconsortium.org/patterns/>

⁴⁹¹ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), Industry 4.0 in a Global Context, s.32.

⁴⁹² Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), Industry 4.0 in a Global Context, s.53.

⁴⁹³ ABD Nesnelerin İnterneti Endüstrisi Konsorsiyumu, “Working Groups”, Erişim:22.06.2022, <https://www.iiconsortium.org/wc-bse/>

⁴⁹⁴ ABD Nesnelerin İnterneti Endüstrisi Konsorsiyumu, “Current Members”, Erişim:22.06.2022, <https://www.iiconsortium.org/members.htm>

Konsorsiyumun Bileşenleri	Bileşenlere İlişkin Açıklamalar
Sektörel Odak	Üretim sektörü
Optimizasyon Odağı	Dünya ölçeği
Optimizasyon Odağı	Aktif getiri oranı
Standardizasyon Odağı	Standart belirleme kurumlarına kılavuzluk etmek
İktisadi Yaklaşım	Üretim sistemlerinde şimdiki zamanı baz alma ve mevcutlara yönelme

Not: Tablo, kaynakta yer alan ilgili tablodan özetlenerek oluşturulmuştur.

Kaynak: Avrupa Parlamentosu, Industry 4.0, s.84.

“Akıllı Üretim Liderlik Konsorsiyumu” (*Smart Manufacturing Leadership Consortium-SMLC*) şirketler, üniversiteler, araştırma ve inovasyon laboratuvarları ve birliklerin bir araya gelerek oluşturduğu kâr amacı gütmeyen bir başka girişimdir. Üretim sistemleri ile tedarik zincirlerini geliştirmek için dijital dönüşüm teknolojilerinin benimsenmesini sağlama amacını taşımaktadır. SMLC akıllı üretimi; gerçek zamanlı anlama, gerekçelendirme, planlama ve yönetme bileşenlerinden oluşan bilgi ile ağ tabanlı veri entegrasyonu şeklinde tanımlamaktadır. Duyu tabanlı bilgi analitiği, gerçek zamanlı modelleme ve simülasyon akıllı üretimi kolaylaştırmaktadır.⁴⁹⁵ SMLC bünyesinde en iyi uygulama örneklerinin paylaşıldığı çalışma grupları oluşturulmakta, deneyimli paydaşlarla çalışma imkânı sunan proje ortaklıkları oluşturulmaktadır. Ayrıca bir ağ görevi gören Konsorsiyum, konu odaklı toplantılar yapmakta, yayınları ve destek hizmetleriyle de faaliyetlerini çeşitlendirmektedir. Özellikle endüstriyel üretimin geleceğine odaklanan bu Konsorsiyum ABD genelinde bir Ar-Ge platformu oluşturmak amacıyla çalışmaktadır. Bütün bu çalışmalar, Endüstri 4.0 çerçevesinde akıllı üretim sistemleri kurma nihai hedefine yöneliktir.⁴⁹⁶

Açık Bağlantı Vakfı (*Open Connectivity Foundation-OCF*), nesnelerin interneti ekosistemini yayma, tanımlamış olduğu OCF spesifikasyonlarını ve açık kaynak referans uygulamalarını geliştirme ve

⁴⁹⁵ Avrupa Parlamentosu, Industry 4.0, s.82,83.

⁴⁹⁶ ABD Akıllı Üretim Liderlik Konsorsiyumu (SMLC), “SMLC”, Erişim:22.06.2022, <https://smlconsortium.org/>

sanayi için bir sertifikasyon programı oluşturma amacıyla kurulmuş olan başka bir oluşumdur. Vakıf, Allseen Alliance isimli birlikte çalışabilirlik üzerine araştırmalar yapan ve endüstri standartları üretme amacını taşıyan başka bir oluşumla 2016 yılında birleşerek ortak çalışmaya başlamıştır.⁴⁹⁷ Vakfın nesnelerin internetinin tüm operasyonel potansiyelini kullanıp birbiriyle tamamen bağlantılı bir ekosistem kurma hedefi bulunmaktadır. Vakıf, tüm amaçlarını güvenli bir ortamda gerçekleştirme güvencesi vermektedir.⁴⁹⁸ OCF'nin yürüttüğü en önemli programlardan olan IoTivity, OCF spesifikasyonları için bir açık kaynak referans uygulamasıdır. Ayrıca Vakıf, OCF sertifikasyonuna sahip olmak için test ortamı sağlamaktadır.⁴⁹⁹ OCF zamanla üye sayısını artırarak nesnelerin interneti alanında önemli bir standart oluşturma kuruluşu haline gelmiştir. OCF spesifikasyonları, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından tescillenmektedir. Vakfın ürettiği standartlarla orta vadede Endüstri 4.0 çözümleri üreteceği düşünülmektedir.⁵⁰⁰ Yönetim kurulu büyük şirketlerin yöneticilerinden oluşan Vakıf, zamanla üye sayısının artmasıyla genişleyerek uluslararası bir oluşum haline gelmiştir. Hâlihazırda üyelerin %30'unu Kuzey Amerika, %54'ünü Asyalı şirketler oluşturmaktadır.⁵⁰¹ OCF'nin 500'ün üzerinde üyesi olup üyelerinin büyük bir kısmı Data Access, A&E, HDA gibi birçok OCF destekli teknoloji geliştirmiştir.⁵⁰²

Üreticiler Birliği (*Manufacturers Alliance*), 1930'larda kurulan ve üretim şirketlerine çeşitli alanlarda bireysel destek sağlayan, kâr amacı gütmeyen bir kuruluştur. Üretim alanında çalışan yöneticilerin

⁴⁹⁷ Açık Bağlantı Vakfı (OCF), "Allseen Alliance Merges With Open Connectivity Foundation", Erişim:23.06.2022, <https://openconnectivity.org/allseen-alliance-merges-open-connectivity-foundation-accelerate-internet-things/>

⁴⁹⁸ Açık Bağlantı Vakfı (OCF), "About Open Connectivity Foundation", Erişim: 23.06.2022, <https://openconnectivity.org/foundation/>

⁴⁹⁹ Açık Bağlantı Vakfı (OCF), "OCF Developer Program", Erişim: 23.06.2022, <https://openconnectivity.org/technology/developer-program/>

⁵⁰⁰ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), Industry 4.0 in a Global Context, s.54.

⁵⁰¹ Açık Bağlantı Vakfı (OCF), "Membership List", Erişim: 23.06.2022, <https://openconnectivity.org/foundation/membership-list/>

⁵⁰² Pain T., Understanding OPC, s.2, Erişim:24.06.2022, <https://www.novotek.com/wp-content/uploads/sites/9/NovotekBenelux/SOLUTIONIDUSTRIELECOMMUNICATIE/Uitleg-over-OPC-in-een-e-book.pdf>

kişisel olarak dâhil olduğu bir ağ görevi gören Birlik, bünyesinde farklı konu alanlarına dönük topluluklar barındırmaktadır. Bunlardan birisi otomasyon, siber, Ar-Ge ve akıllı fabrikalar gibi alanlarda bilgi ve deneyim paylaşımı yapmanın mümkün olduğu topluluktur.⁵⁰³ Topluluk bünyesinde, çeşitli alt başlıklardan oluşan konularda araştırma, analiz ve örnek olay şeklinde tecrübe paylaşımlarının yanında konu bazlı konsey toplantıları da yapılmaktadır. Örneğin mühendislik ve Ar-Ge konseyi bünyesinde; robot otomasyonundaki gelişmeler, Endüstri 4.0 stratejisi, yalın üretim yoluyla inovasyon, yetenek kazanımı ve muhafazası gibi alanlarda çalışmalar yapılmaktadır.⁵⁰⁴

2.2.3. Endüstri 4.0 Sürecinde ABD'nin Dünyadaki Konumu ve Bazı İstatistiksel Veriler

Endüstri 4.0 sürecinde ABD'nin dünyadaki konumuna ilişkin istatistiksel veriler genel olarak incelendiğinde bu ülkenin özellikle Ar-Ge faaliyetlerine ve harcamalarına büyük önem verdiği görülmektedir. ABD, nesnelerin interneti ve yapay zekâ gibi Endüstri 4.0'ın teknolojileri açısından dünyadaki teknoloji piyasalarına öncülük etmekte ve imalat sanayiinde endüstriyel robot kullanımını sürekli artırmaktadır. Bu alt bölümde ABD'nin endüstriyel robotlar, nesnelerin interneti, yapay zekâ endüstrisi, Ar-Ge harcamaları, 3B yazıcı endüstrisi, orta ve yüksek teknoloji ürünlerinin ihracatı ve 2020 yılı Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksindeki (*International Digital Economy and Society Index 2020*) yerine ilişkin çeşitli istatistiksel veriler sunulmaktadır.

ABD'de her yıl yeni endüstriyel robot kurulumları yapılmakta, böylelikle sanayi üretiminde otomasyon artırılmaktadır. Nitekim 2020 yılında yaklaşık 30 bin 800 yeni endüstriyel robot kurulumu yapılmıştır. Bu miktar, 2020'de dünya genelinde gerçekleşen yeni endüstriyel robot kurulumlarının %8'ine tekabül etmektedir.⁵⁰⁵ ABD,

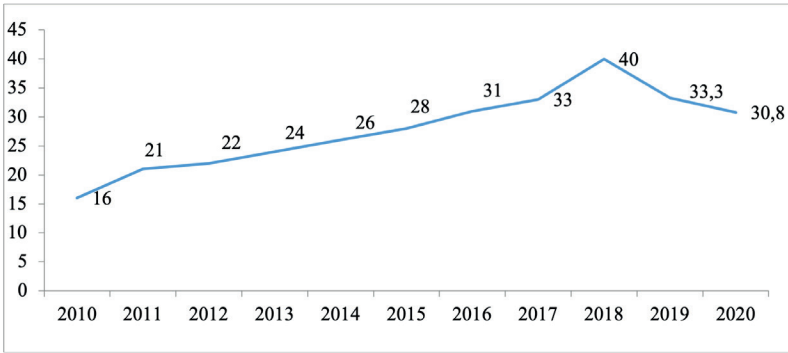
⁵⁰³ ABD Üreticiler Birliği, "Our History and Vision", Erişim:23.06.2022, <https://www.manufacturersalliance.org/about/manufacturers-alliance/our-history-vision>

⁵⁰⁴ ABD Üreticiler Birliği, "Engineering, Research & Development Council", Erişim:23.06.2022, <https://www.manufacturersalliance.org/communities/operations/engineering-research-development>

⁵⁰⁵ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "Executive Summary World Robotics 2021 Industrial Robots", s.13.

2020 yılında yıllık endüstriyel robot kurulum miktarı açısından dünyada Çin ve Japonya'dan sonra 3. sırada yer almaktadır. Endüstriyel robot kurulumlarının %41'i otomotiv sektöründe, %14'ü elektrik ve elektronik sektöründe, %8'i plastik ve kimyasal sanayii sektöründe, %7'si gıda sektöründe, %30'u ise diğer sektörlerde yapılmıştır.⁵⁰⁶ Şekil 19'da görüldüğü üzere yıllık endüstriyel robot kurulumu sayısı 2010 ve 2018 yılları arasında sürekli artarken 2018 yılından itibaren düşüşe geçmiştir. Yıllık endüstriyel robot kurulumu sayısı 2020 yılında bir önceki yıla göre %8 oranında azalmıştır. Bununla birlikte her yıl yeni endüstriyel robot kurulumu yapıldığından ABD'nin endüstriyel robot stoku 2019 ve 2020 yıllarında da artmaya devam etmiştir.

Şekil 19: ABD'de 2010-2020 Yılları Arasında Gerçekleştirilen Yıllık Endüstriyel Robot Kurulumu Sayısı (bin adet)



Kaynak: Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), World Robotics 2021, s.21.

İmalat sanayiindeki robot yoğunluğu 2015 yılında 176 iken 2017'de 200'e, 2019'da 228'e, 2020 yılında ise 255'e yükselmiştir.⁵⁰⁷ 2015-2020 yılları arasında robot yoğunluğu %45 oranında artmıştır. ABD 2020 yılı itibarıyla dünya ortalamasının yaklaşık 2 katı kadar bir

⁵⁰⁶ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "World Robotics 2021", s.20.

⁵⁰⁷ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "World Robotics 2019 Preview", s.10, Erişim:30.06.2022, https://ifr.org/downloads/press2018/IFR_World_Robotics_Outlook_2019_-_Chicago.pdf;

Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "World Robotics Report 2019 Presentation", s.13, Erişim:30.06.2022, <https://ifr.org/downloads/press2018/IFR%20World%20Robotics%20Presentation%20-%2018%20Sept%202019.pdf> ;

Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "World Robotics Report 2021 Presentation", s.25.

robot yoğunluğuna sahiptir. ABD'nin endüstriyel robot stoku 2019 yılında 293 bin⁵⁰⁸ iken 2020 yılında %6 oranında artarak 310 bin 700'e yükselmiştir.⁵⁰⁹ Dünyadaki endüstriyel robot stokunun yaklaşık %10'u ABD'de bulunmaktadır. ABD'deki endüstriyel robotların çoğu Japonya, Güney Kore ve Avrupa'dan ithal edilmektedir.⁵¹⁰

İmalat sektöründe robot kullanım miktarı ile birlikte nesnelerin interneti uygulaması da ABD için Endüstri 4.0 sürecinde önemli bir yere sahiptir. Nesnelerin interneti teknolojisi akıllı telefonlar, fitness takip cihazları, taşınabilir kablosuz hoparlörler, internet özellikli TV'ler, akıllı evler ve akıllı binalar gibi pek çok cihazda ve yerde kullanıldığından ABD'deki nesnelerin interneti pazarı her yıl çok hızlı bir büyüme göstermektedir.⁵¹¹ Bu sebeple nesnelerin interneti bağlantısı yapılan cihaz sayısı da hızla artmaktadır. 2019 yılında nesnelerin interneti teknolojisi kullanılarak akıllı cihazlar arasında 2,8 milyar adet bağlantı yapılmış olup bu bağlantı sayısının 2025 yılına kadar 5,4 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir.⁵¹² ABD dünyadaki en büyük nesnelerin interneti pazarlarından birine sahiptir. Google, Cisco, Amazon ve IBM ABD'nin nesnelerin interneti pazarında önde gelen şirketler arasında yer almaktadır. Amazon Alexa ve Google Asistan gibi akıllı hoparlör ürünleri, ABD'de evlerdeki akıllı uygulama sayısını artırdığı için akıllı evlerin popülaritesini artırmıştır.⁵¹³

⁵⁰⁸ Uluslararası Robotik Federasyonu, "World Robotics Report 2020 North American Market Press Release", s.1, Erişim:28.06.2022, https://ifr.org/downloads/press2018/2020-09-24__Record_293%2C000_Robots_In_United_States%E2%80%9999_Factories_IFR_press_release_WR.pdf

⁵⁰⁹ Uluslararası Robotik Federasyonu, "World Robotics Report 2021 North American Market Press Release", s.1., https://ifr.org/downloads/press2018/USA-NAFTA-2021-OCT-IFR_press_release_industrial_robots.pdf

⁵¹⁰ Uluslararası Robotik Federasyonu, "World Robotics Report 2021 North American Market Press Release", s.1.

⁵¹¹ Statista İnternet Sitesi, "IoT connections North America 2018, 2019 and 2025", Erişim:01.07.2022, <https://www.statista.com/statistics/933099/iot-connections-north-america/>

⁵¹² Statista İnternet Sitesi, "Internet of Things in the U.S.-Statistics & Facts", Erişim:01.07.2022, https://www.statista.com/topics/5236/internet-of-things-iot-in-the-us/#topicHeader_wrapper

⁵¹³ Statista İnternet Sitesi, "Internet of Things in the U.S.-Statistics & Facts".

Görsel 9: Amazon Alexa Ürünü

ABD’de özel şirketler, iş süreçlerini kolaylaştırmak ve verimliliği artırmak için nesnelerin interneti tabanlı teknolojilerden yararlanmaktadır. 2021 yılında ABD’deki şirketlerin yaklaşık %29’u iş operasyonlarında nesnelerin interneti teknolojisini kullanmıştır.⁵¹⁴ 2022 yılı içerisinde nesnelerin interneti teknolojisini kullanan şirketlerin toplam şirketler içindeki payının %39’a çıkacağı tahmin edilmektedir. ABD’de nesnelerin interneti en çok hizmet sektöründe sonra sırasıyla imalat, enerji, finans ve perakende sektörlerinde kullanılmaktadır. Çalışan sayısı 1000’den fazla olan büyük şirketler, küçük şirketlere kıyasla nesnelerin interneti teknolojisini daha yaygın bir şekilde kullanmaktadır.⁵¹⁵

Endüstri 4.0’ın bir başka teknolojisi olan yapay zekâ alanında ise başta Intel Capital, 500 Startups ve Y Combinator olmak üzere ABD’li şirketler büyük yatırımlar yapmaktadır.⁵¹⁶ Nitekim 2020 yılında ABD’de yapay zekâya yapılan özel yatırımların toplam tutarı 23,6

⁵¹⁴ Statista İnternet Sitesi, “Internet of Things in the U.S.-Statistics & Facts”.

⁵¹⁵ Sawicka, M.M., Paliszkievicz J., Nassir, A. vd., “The Internet of Things Challenges – Country And Industry Analyses”, Issues in Information Systems Dergisi, C:21, S:4, Ocak 2020, s.28-29, Erişim:03.07.2022, https://www.researchgate.net/publication/344417463_THE_INTERNET_OF_THINGS_CHALLENGES_-COUNTRY_AND_INDUSTRY_ANALYSES.

⁵¹⁶ Statista İnternet Sitesi, “Artificial Intelligence Market Revenue North America 2017-2028”, Erişim:03.07.2022, <https://www.statista.com/statistics/721748/north-america-artificial-intelligence-market/>

milyar dolara ulaşmıştır.⁵¹⁷ 2020’de yapay zekâya yapılan yatırım tutarının Çin’de 9,9 milyar dolar, AB’de 2 milyar dolar olduğu dikkate alındığında ABD’nin yapay zekâ yatırımlarında dünyaya liderlik ettiği anlaşılmaktadır.⁵¹⁸ 2022 yılı sonunda Kuzey Amerika’daki yapay zekâ pazarının değerinin 24,9 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir.⁵¹⁹ Son yıllarda özellikle sağlık sektöründe yapılan yapay zekâ yatırımlarındaki artış dikkat çekmektedir. Nitekim moleküler tıp, ilaç keşfi, tanı taraması ve kanser tedavisi alanlarında yapılan yapay zekâ yatırımları 2020 yılında bir önceki yıla göre 4,5 kat artarak 13,8 milyar dolara ulaşmıştır.⁵²⁰ Bu itibarla 2020 yılında ABD’deki yapay zekâya yapılan özel yatırımların %58’i sağlık sektöründe gerçekleşmiştir.

2019 yılında yapay zekâyla ilgili 144 bin iş ilanı verilmesine karşın iş alanlarına sadece 26 bin yapay zekâ geliştirici ve uzmanı başvurmuştur.⁵²¹ Bu sebeple yapay zekâ piyasasında çalışan kişilere yüksek maaşlar ödenmekte ve yurt dışı kökenli pek çok yapay zekâ araştırmacısı ABD’de çalışmaktadır. ABD’deki üst düzey yapay zekâ araştırmacılarının %33’ünü Amerikalılar, %27’sini Çinliler, %11’ini ise Hintliler oluşturmaktadır.⁵²²

ABD’de sanayi ürünlerinin daha düşük maliyetle ve hızlı bir şekilde üretilmesini sağlayan 3B yazıcı teknolojisinden etkin bir şekilde faydalanılmaktadır. 2020 yılında küresel 3B yazıcı endüstrisindeki toplam gelirin %35’i ABD’deki 3B yazıcı pazarı tarafından elde edilmiştir.⁵²³ Bu itibarla ABD, dünyanın en büyük 3B yazıcı pazarına

⁵¹⁷ Statista İnternet Sitesi, “Private Investments in AI by Geographical Area 2020”, Erişim:03.07.2022, s.31,

<https://www.statista.com/statistics/1226538/ai-private-investments-by-area/>

⁵¹⁸ ABD Kongresi Araştırma Servisi (CRS), Artificial Intelligence: Background, Selected Issues, and Policy Considerations, s.8, Erişim:04.07.2022, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46795>

⁵¹⁹ Statista İnternet Sitesi, “Artificial Intelligence Market Revenue North America 2017-2028”.

⁵²⁰ ABD Kongresi Araştırma Servisi (CRS), Artificial Intelligence: Background, Selected Issues, and Policy Considerations, s.8.

⁵²¹ ABD Kongresi Araştırma Servisi (CRS), Artificial Intelligence: Background, Selected Issues, and Policy Considerations, s.31.

⁵²² Statista İnternet Sitesi, “Countries/Regions Where Top U.S. AI Researchers Received Their Undergraduate Degree”, Erişim:03.07.2022, <https://www.statista.com/statistics/1231832/us-distribution-top-ai-researchers-degree-country-region/>

⁵²³ Grabcad İnternet Sitesi, “Countries That are Leading the Way in 3D Printing”, Erişim:02.07.2022, <https://blog.grabcad.com/blog/2021/07/21/countries-that-are-leading-the-way-in-3d-printing/>

sahiptir. ABD'deki 3B yazıcı endüstrisi, diğer ülkelerdeki 3B yazıcı sektörlerine de öncülük etmektedir. Otomobillerden, spor ayakkabılarına hatta NASA roket motoruna kadar pek çok ürün ABD'deki 3B yazıcı endüstrisi tarafından üretilebilmektedir.⁵²⁴ 2019 yılında yapılan bir araştırmaya göre imalat sanayiinde faaliyet gösteren ABD'li şirketlerin %54'ü 3B yazıcı teknolojisini kullanmaktadır.⁵²⁵ ABD'li şirketlerin %22'si de 3B yazıcı teknolojisini gelecekte kullanmayı planlamaktadır.⁵²⁶ General Electric ABD'de en fazla 3B yazıcı patentine sahip olan şirkettir ve 3B teknolojisini kullanarak pek çok nitelikli ürün üretmektedir. Örneğin Şirketin, ticari uçak motorları için 3B teknolojisi ile üretmiş olduğu yakıt nozülü,⁵²⁷ 20 ayrı bileşen yerine tek bir bileşenle yapılabilmekte, böylece %30 maliyet tasarrufu sağlanmakta; eski nozüle göre %25 oranında daha az ağırlığa sahip olmakta ve 5 kat daha fazla dayanıklı malzemeden oluşmaktadır.⁵²⁸

Endüstri 4.0 sürecinin bir başka önemli göstergesi olan Ar-Ge harcamalarına bakıldığında ise OECD verilerine göre 2015 yılında ABD'nin GSYH'sinin %2,79'u Ar-Ge harcamalarına ayrılmış iken 2020 yılında bu oran %3,45'e yükselmiştir.⁵²⁹ Ülkede bin kişi çalışan başına düşen araştırmacı sayısı 2015 yılında 9,07 iken 2019 yılında bu oran 9,93'e yükselmiştir. ABD Ar-Ge harcamalarının GSYH'ye oranı ve bin kişi çalışan başına düşen araştırmacı sayısı OECD ülkelerinin sözkonusu göstergelere ilişkin ortalamasından daha yüksektir.

⁵²⁴ Grabcad İnternet Sitesi, "Countries That are Leading the Way in 3D Printing".

⁵²⁵ Statista İnternet Sitesi, "Application of Additive Manufacturing Technology by Country 2019", Erişim:26.06.2022, <https://www.statista.com/statistics/1268735/experience-of-countries-with-additive-manufacturing-technology/>

⁵²⁶ Statista İnternet Sitesi, "Application of Additive Manufacturing Technology by Country 2019".

⁵²⁷ Nozül, su veya benzin gibi sıvı bir maddenin bir borudan veya mekanizmadan basınçlı şekilde püskürtülmesini sağlayan bir ekipmandır.

⁵²⁸ ABD Başkanlık Ofisi, "Using Additive Manufacturing to Improve Supply Chain Resilience and Bolster Small and Mid-Size Firms", Erişim:02.07.2022, <https://www.whitehouse.gov/cea/written-materials/2022/05/09/using-additive-manufacturing-to-improve-supply-chain-resilience-and-bolster-small-and-mid-size-firms/>

⁵²⁹ OECD, "Innovation and Technology", Erişim:30.06.2022, <https://data.oecd.org/innovation-and-technology.htm>

Tablo 16: ABD’de Ar-Ge’ye İlişkin Bazı Veriler

Gösterge Adı	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ar-Ge Harcamalarının GSYH’ye Oranı (%)	2,79	2,85	2,91	3,01	3,18	3,45
Bin Çalışan Başına Düşen Araştırmacı Sayısı	9,07	8,94	9,22	9,84	9,93	-

Kaynak: OECD, “Innovation and Technology”.

OECD verilerine göre ABD’de 2020 yılında Ar-Ge faaliyetlerine yaklaşık 721 milyar dolar harcanmıştır. ABD bu tutar ile dünyada Ar-Ge faaliyetlerine en çok harcama yapan ülke durumundadır.

Tablo 17’de gösterildiği üzere ABD’de, orta ve yüksek teknoloji sanayinin toplam sanayi içindeki payı 2019 yılında %47,1 iken düşük teknoloji sanayinin toplam sanayi içindeki payı %52,9’dur. Teknolojik özelliklerine göre sanayi ürünlerinin ihracatı değerlendirildiğinde ise orta ve yüksek teknoloji sanayi ürünlerinin düşük teknoloji sanayi ürünlerine kıyasla ihracata yaklaşık 2 kat daha fazla katkı sağladığı anlaşılmaktadır. Zira orta ve yüksek teknoloji sanayi ürünlerinin toplam sanayi ürünleri içindeki payı, düşük teknoloji sanayi ürünlerine kıyasla daha az iken ihraç edilen sanayi ürünleri içindeki payı daha fazladır. Bu durum sanayi ürünlerinin teknolojik düzeyleri yükseldikçe yurt dışı piyasalara ihraç edilebilme olanaklarının daha da arttığını göstermektedir. Diğer taraftan 2014-2019 yılları arasında orta ve yüksek teknoloji sanayinin toplam sanayi içindeki payı incelendiğinde bu oranın söz konusu yıllarda genel olarak fazla bir değişiklik göstermediği ve yatay bir seyir izlediği görülmektedir. Benzer durum 2014-2019 yılları arasında düşük teknoloji sanayinin toplam sanayi içindeki payı açısından da geçerlidir.

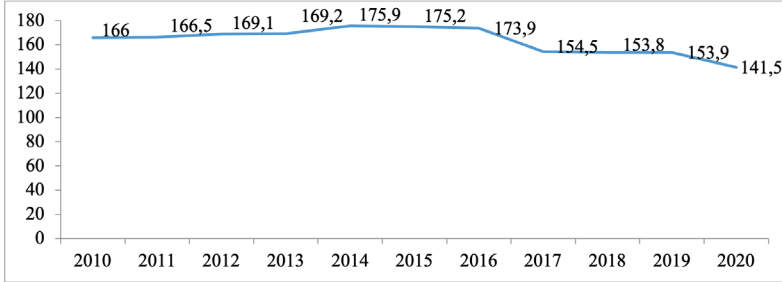
Tablo 17: ABD’de Teknoloji Seviyelerine Göre Sanayi Ürün Gruplarının Sanayi Üretimi ve Sanayi İhracatı İçindeki Payları (%)

Ekonomik Gösterge	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Ortalama
Orta ve Yüksek Teknolojili Sanayinin Toplam Sanayi İçindeki Payı	48,7	48,3	47,9	48,3	47,8	47,1	48,0
Düşük Teknolojili Sanayinin Toplam Sanayi İçindeki Payı	51,3	51,7	52,1	51,7	52,2	52,9	52,0
Yüksek Teknolojili Sanayi Ürünlerinin İhraç Edilen Sanayi Ürünleri İçindeki Payı	20,5	21,4	22,4	19,3	18,5	18,7	20,1
Orta Teknolojili Sanayi Ürünlerinin İhraç Edilen Sanayi Ürünleri İçindeki Payı	41,9	43,9	43,3	44,3	43,8	44,9	43,7
Orta ve Yüksek Teknolojili Sanayi Ürünlerinin İhraç Edilen Sanayi Ürünleri İçindeki Payı	62,4	65,3	65,7	63,6	62,3	63,6	63,8
Düşük Teknolojili Sanayi Ürünlerinin İhraç Edilen Sanayi Ürünleri İçindeki Payı	37,6	34,7	34,3	36,4	37,7	36,4	36,2

Kaynak: Dünya Bankası, "United States", Erişim:03.07.2022, <https://api.worldbank.org/v2/en/country/USA?downloadformat=excel>

2010-2020 yılları arasında ABD’den ihraç edilen yüksek teknolojili sanayi ürünlerinin toplam ihracatında ise dalgalı bir seyir görülmektedir. Şekil 20’de gösterildiği üzere yüksek teknolojili sanayi ürünlerinin toplam ihracat tutarı, 2010 yılında 166 milyar dolar iken 2014 yılında 9,9 milyar dolar artarak 175,9 milyar dolara ulaşmış ancak sonraki yıllarda azalma trendi içine girmiştir. Yüksek teknolojili sanayi ürünlerinin toplam ihracatı 2015 yılında 175,2 milyar dolar iken 2020 yılında 33,7 milyar dolar azalarak 141,5 milyar dolar olmuştur.

Şekil 20: ABD'nin Yüksek Teknolojili Sanayi Ürünleri İhracatı (milyar dolar)



Kaynak: Dünya Bankası, "United States"

Avrupa Komisyonunun, ülkelerin 2018 yılı performanslarına göre hazırladığı 2020 yılı Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksinde ABD, AB üyesi olmayan İzlanda, Norveç, İsviçre, İsrail, Güney Kore, Çin, Meksika, Rusya, Japonya gibi 18 ülke arasında İzlanda ve Norveç'ten sonra 3. sırada yer almıştır.⁵³⁰ ABD 61,5 endeks puanıyla, 47,6 olan AB ülkeleri ortalama endeks puanından daha yüksek bir değere sahip olmuştur. 2020 Yılı Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi, kendi içerisinde çeşitli alt endekslere ayrılmakta olup bu alt endekslerden biri de İşletmelerin Dijital Teknolojiye Entegrasyonu Endeksidir. Bu endekste işletmelerin dijitalleşmeye uyumu, e-ticaret ve internet üzerinden satış performansına göre AB ülkeleri ile AB üyesi olmayan 18 ülkedeki genel durum 80 puan üzerinden değerlendirilmeye tabi tutulmuştur. ABD 73,4 puanla, bu endekste AB üyesi olmayan ülkeler arasında İsviçre ve İsrail'den sonra 3. sırada yer almıştır.⁵³¹ Endeks sonuçları ABD'li şirketlerin diğer ülkelerdeki şirketlere kıyasla dijitalleşmeye uyum, e-ticaret ve internet üzerinden satış konularında daha başarılı bir performans sergilediklerini göstermektedir.

⁵³⁰ Avrupa Komisyonu, International Digital Economy and Society Index (DESI) 2020, s.18, Erişim:14.06.2022, https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=72352

⁵³¹ Avrupa Komisyonu, International Digital Economy and Society Index (DESI) 2020, s.29.

2.3. Çin

Çin, 9,6 milyon km² yüzölçümü ile coğrafi büyüklük açısından dünyanın üçüncü, 1 milyar 411 milyon (2021) nüfusu ile nüfus sıralaması açısından dünyanın birinci, 14 trilyon 723 milyar dolar GSYH'siyle (2020) ekonomik büyüklük açısından dünyanın ikinci büyük ülkesidir.⁵³² Dünya Bankası verilerine göre, Çin'in 2020 yılında kişi başına millî geliri 10,4 bin dolardır. Millî gelir içinde hizmet sektörünün payı %54,5, sanayi sektörünün payı %37,8 ve tarım sektörünün payı %7,7'dir. Çin, son otuz yıl içerisinde yıllık ortalama %9,25'lik büyüme göstermiştir.⁵³³ Ülke, göstermiş olduğu bu yüksek büyüme oranına bağlı olarak hızla sanayileşmiş ve küresel imalat pazarında da önemli bir yere sahip olmuştur. Nitekim Çin'in sanayi sektörü 2020 yılı itibarıyla dünyadaki;

- Otomobil üretiminin %33'ünü,⁵³⁴
- Gemi yapımının %40'ını,⁵³⁵
- Bilgisayar ihracatının %45'ini,⁵³⁶
- Motosiklet ihracatının %28'ini,⁵³⁷
- Ayakkabı üretiminin %62'sini,⁵³⁸
- Klima ihracatının %35'ini,⁵³⁹

⁵³² Dünya Bankası, "GDP" Erişim:20.05.2022, <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?view=chart>

⁵³³ Dünya Bankası, "China", Erişim:01.07.2022, <http://api.worldbank.org/v2/en/country/CHN?downloadformat=excel>

⁵³⁴ Uluslararası Motorlu Araç İmalatçıları Örgütü (OICA), "2020 Production Statistics", Erişim:25.06.2022

<https://www.oica.net/category/production-statistics/2020-statistics/>

⁵³⁵ Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (UNCTAD), "Ships Built by Country of Building, Annual", Erişim:25.06.2022, <https://unctadstat.unctad.org/wds/TableView/tableView.aspx?ReportId=89493>

⁵³⁶ World's Top Exports İnternet Sitesi, "Computer Device Exports by Country", Erişim:25.06.2022, <https://www.worldstopexports.com/computer-device-exports-country/>

⁵³⁷ World's Top Exports İnternet Sitesi, "Motorcycle Export by Country", Erişim:25.06.2022, <https://www.worldstopexports.com/motorcycles-exports-country/>

⁵³⁸ Statista İnternet Sitesi, "Leading 10 Footwear Producers Worldwide from 2013 to 2020, by Country (in Million Pairs)", Erişim:25.06.2022, <https://www.statista.com/statistics/227256/leading-10-global-footwear-producers-by-country/>

⁵³⁹ World's Top Exports İnternet Sitesi, "Air Conditioners Exports by Country", Erişim:25.06.2022, <https://www.worldstopexports.com/air-conditioners-exports-country/>

- Cep telefonu ihracatının %40'ını,⁵⁴⁰
- Buzdolabı ve derin dondurucu ihracatının %27'sini,⁵⁴¹
- Çelik üretiminin %56'sını,⁵⁴²

gerçekleştirmektedir.

Aşağıdaki alt başlıklarda Çin'in Endüstri 4.0 stratejisi genel hatlarıyla açıklanmış, Endüstri 4.0 sürecine ilişkin önemli girişim ve projelerden örnekler verilmiş ve çeşitli istatistiklerle Çin'in Endüstri 4.0 sürecinde dünyadaki yeri ele alınmıştır.

2.3.1. Çin'in Endüstri 4.0 Stratejisi

Çin'in son otuz yılda bu kadar hızlı bir büyüme ve gelişme göstermesinin en önemli nedeni dünyanın en büyük iş gücüne sahip olması ve bu devasa iş gücünü diğer ülkelere kıyasla daha düşük maliyetli üretim açısından etkin bir şekilde kullanabilmesi olmuştur. Bununla birlikte Çin ekonomisi, Endüstri 4.0 olgusu nedeniyle düşük maliyetli üretimdeki bu üstünlüğünü kaybetme riski ile karşı karşıya kalmıştır. Çin, bu riskten korunabilmek için Endüstri 4.0 stratejisine yönelmiş ve böylece kendisine risk oluşturan bir alanı tam tersine, yani bir fırsat alanına dönüştürme çabası içine girmiştir. Çin, devasa insan gücüne rağmen imalat ürünleri pazarındaki liderliğini koruyabilmek için Endüstri 4.0'a odaklanmıştır.⁵⁴³

Öte yandan Çin'in Endüstri 4.0 uygulamalarına yönelmesinin bir başka önemli nedeni, iş gücü verimliliğinin ABD ve Almanya gibi ülkelere kıyasla daha düşük olmasıdır. İş gücü verimliliği, iş gücü birimi başına düşen çıktı miktarını ifade etmekte olup GSYH'nin, çalışan kişi sayısına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Şekil 21'de görüleceği üzere Çin'in iş gücü verimliliği, ABD, Almanya, Japonya ve Güney Kore'nin gerisindedir. Endüstri 4.0 uygulamaları ile Çin'de GSYH'nin gelecek yıllarda daha yüksek oranlarda büyümesi ve bu sayede iş

⁵⁴⁰ Observatory of Economic Complexity (OEC), "Telephones", Erişim:25.06.2022, <https://oec.world/en/profile/hs/telephones>

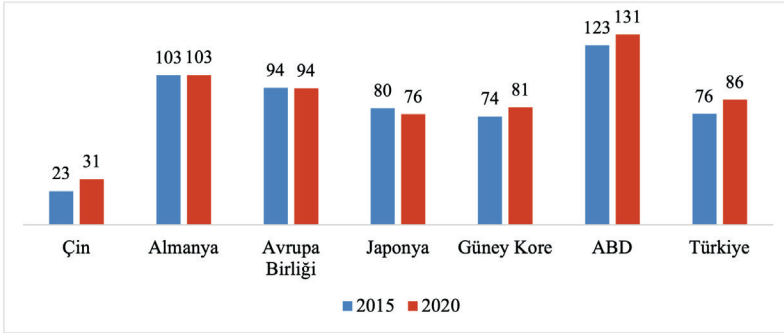
⁵⁴¹ World's Top Exports Internet Sitesi, "Refrigerator and Freezer", Erişim:25.06.2022, <https://www.worldstopexports.com/refrigerators-exports-country/>

⁵⁴² World Population Review Internet Sitesi, "Steel Production by Country", Erişim:25.06.2022, <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/steel-production-by-country>

⁵⁴³ Yıldız A., "Endüstri 4.0 ve Akıllı Fabrikalar", s.554.

gücü verimliliğinin yükselmesi öngörülmektedir. İş gücü verimliliğinin artması ile birlikte Çin'in rekabet gücünün de artması beklenmektedir. Nitekim pek çok Çinli firma, üretimde daha fazla otomasyona yönelmekte⁵⁴⁴ ve rekabet güçlerini artırmaya çalışmaktadır.

Şekil 21: 2015 ve 2020 Yıllarında Bazı Ülkelerdeki İş Gücü Verimliliği (bin dolar)



Kaynak: Dünya Bankası, "GDP per person employed", Erişim:10.11.2020, <https://api.worldbank.org/v2/en/indicator/SL.GDP.PCAP.EM.KD?downloadformat=excel>

Çin'i Endüstri 4.0 uygulamalarına yönelten üçüncü bir neden ise Çin'deki bir kısım fabrikanın, daha ucuz iş gücü maliyetine sahip olması nedeniyle Güneydoğu Asya'daki komşu ülkelere (Vietnam, Endonezya, Malezya, Tayland vb.) taşınma olasılığıdır.⁵⁴⁵ Çin böyle bir olasılığın gerçekleşmesini önlemek amacıyla Endüstri 4.0 uygulamalarına yönelmekte ve Endüstri 4.0 stratejisi kapsamında yer alan otomasyon ve akıllı fabrika uygulamalarıyla iş gücü maliyetini düşürmeyi ve komşu ülkeler karşısında düşük maliyetli üretim avantajını korumayı amaçlamaktadır.

Çin'in Endüstri 4.0 stratejisinde özellikle 10 adet stratejik sektörde akıllı üretime geçilmesi hedeflenmiştir. Bu sektörler aşağıda belirtilmiştir:⁵⁴⁶

- Yeni nesil bilgi teknolojisi,

⁵⁴⁴ Mercator Çin Araştırmaları Enstitüsü (MERICS), Made in China 2025, Aralık 2016, s.15, Erişim:20.03.2022, <https://merics.org/sites/default/files/2020-04/Made%20in%20China%202025.pdf>

⁵⁴⁵ Mercator Çin Araştırmaları Enstitüsü (MERICS), Made in China 2025, s.17.

⁵⁴⁶ Mercator Çin Araştırmaları Enstitüsü (MERICS), Made in China 2025, s.19.

- Üst düzey bilgisayarlı makineler ve robotlar,
- Uzak ve havacılık,
- Denizcilik donanımları ve yüksek teknolojili gemiler,
- Gelişmiş demiryolu taşıma donanımları,
- Yeni enerji ve enerji tasarruflu araçlar,
- Enerji donanımları,
- Tarım makineleri,
- Yeni elektronik malzemeler,
- Biyolojik ve yüksek teknoloji ürünü tıbbi cihazlar.

Bu sektörlere ilişkin olarak uygulanan Endüstri 4.0 stratejisinde gerçekleştirilmesi amaçlanan bazı hedefler ise şu şekildedir:⁵⁴⁷

- Üretim sistemlerinde ve üretilen ürünlerde karşılaşılan kusur oranının 2025 yılına kadar %50 oranında azaltılması,
- Üretimde kullanılan temel bileşen ve malzemelerin yurt içinde üretim oranının yükseltilmesine yönelik olarak 2025 yılı için hedefler konması (örneğin yüksek teknolojili gemi parçalarının yurt içindeki üretim oranının 2025 yılına kadar %80'e yükseltilmesi),
- İşletme maliyetlerinin 2025'e kadar %50 oranında azaltılması,
- Yeni inovasyon merkezlerinin kurulması ve inovasyon merkezi sayısının 2025 yılına kadar 40'a yükseltilmesi.

Çin'in merkezi hükûmeti ve yerel hükûmetleri, bu hedeflerin gerçekleştirilmesi amacıyla bahsi geçen sektörlerde faaliyet gösteren şirketlere ve girişimcilere çeşitli sübvansiyonlar ve fonlar aracılığıyla yüz milyarlarca avro destek sağlayacaklarını duyurmuşlardır.⁵⁴⁸

Ayrıca stratejik sektörlerle ilişkin hedeflere ulaşılması sürecinde yararlanılacak 10 temel politika aracı şu şekilde belirlenmiştir:⁵⁴⁹

⁵⁴⁷ Avrupa Birliği Çin Ticaret Odası, China Manufacturing 2025, s.9. Erişim:01.06.2022, http://docs.dpaq.de/12007-european_chamber_cm2025-en.pdf

⁵⁴⁸ Avrupa Birliği Çin Ticaret Odası, China Manufacturing 2025, s.1.

⁵⁴⁹ Avrupa Birliği Çin Ticaret Odası, China Manufacturing 2025, s.15-16.

- Yabancı şirketlerin Çin pazarına erişimi karşılığında teknoloji transferi yapmalarının zorunlu tutulması,
- Bazı alanlarda yerli girişimcilerin ve yatırımcıların desteklenmesi amacıyla yabancı yatırımcı ve girişimcilere pazara erişimlerinde ve kamu ihalelerine katılmalarında kısıtlamalar getirilmesi,
- Hedeflere yönelik standartlar konulması,
- Sübvansiyonlar sağlanması,
- Hedeflere uygun bir mali politikanın uygulanması,
- Devlet destekli yatırım fonlarının oluşturulması,
- Yerel hükûmetler tarafından destek sağlanması,
- Yeni teknolojilerin öğrenilmesini sağlayacak yurt dışı yatırımlarının yapılması,
- Kamu iktisadi teşebbüslerinin stratejik hedeflere erişim sürecine katılmaları,
- Hedeflere erişimi sağlamak amacıyla kamu-özel ortaklıklarının kurulması.

2.3.2. Çin’de Endüstri 4.0 Sürecine İlişkin Önemli Girişim ve Projeler

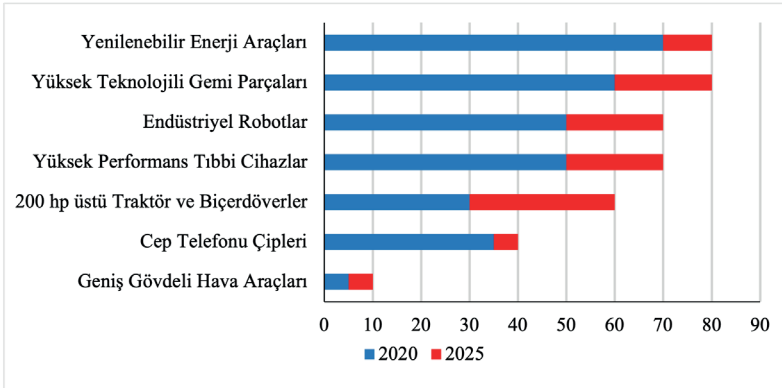
Çin’deki Endüstri 4.0 sürecine ilişkin en temel ve en kapsayıcı girişim “*Made in China 2025*” (*MIC 2025*) adlı girişim olup bu girişim 2015 yılında Başbakan Li Keqiang tarafından başlatılmıştır. *MIC 2025*, Çin’in Endüstri 4.0 stratejisine yönelik en önemli itici girişimi ve aynı zamanda stratejik planıdır. *MIC 2025* Planı ile Çin’in endüstriyel kapasitesinin modernize edilmesi amaçlanmaktadır.⁵⁵⁰ *MIC 2025*’in uzun vadedeki hedefi 2049 yılı itibarıyla, (Çin Halk Cumhuriyeti’nin 100. Kuruluş yıl dönümünde) Çin’i dünyanın üretim gücü lideri yapmaktır. *MIC 2025*, 10 yıllık kapsamlı bir plan olup Çin Hükûmetinin Endüstri 4.0 stratejisi kapsamında odaklanmış olduğu stratejik sektörler bu Plan ile belirlenmiştir.

⁵⁵⁰ Institute for Security & Development Policy (ISDP), *Made in China 2025*, Haziran 2018, s.1, Erişim:12.05.2022, <http://isdp.eu/content/uploads/2018/06/Made-in-China-Background.pdf>

MIC 2025, Çin'in robotik, havacılık ve yeni enerji araçları gibi yüksek teknoloji endüstrilerinde küresel güç merkezi olma konumunu korumasını hedeflemekte ve bu Plan Çin Sanayi ve Bilgi Teknolojileri Bakanlığı tarafından yürütülmektedir. Çin Hükûmeti, *MIC 2025*'i, Çin'in gelişmiş bir ekonomiye dönüşürken gelecek on yıllar içinde sürdürülebilir büyümesini ve rekabet gücünü destekleyen kritik bir plan olarak görmektedir. Ayrıca *MIC 2025*, Çinli üreticilerin, Vietnam gibi gelişmekte olan düşük maliyetli üreticilerle rekabet edebilmesini sağlayacak önemli bir görevi üstlenmektedir.⁵⁵¹

Öte yandan *MIC 2025*, Çin'in yabancı teknoloji ithalatına olan bağımlılığını kendi yenilikleriyle azaltmayı ve hem yurt içinde hem de küresel alanda rekabet edebilecek yeni Çinli şirketlerin faaliyet göstermesini hedeflemektedir. Bu nedenle, *MIC 2025*'te teknolojik açıdan gelişmiş yerli üretim sürecine güçlü bir vurgu yapılmaktadır. Nitekim *MIC 2025* Planında Çin'deki endüstriyel robot pazarında Çinli şirketlerin pazar payının 2020 yılına kadar %50'ye, 2025 yılına kadar %70'e çıkarılması öngörülmektedir. Şekil 22'de görüldüğü üzere yerli şirketlerin, yenilenebilir enerji araçları pazarındaki paylarının 2020 yılına kadar %70'e, 2025 yılına kadar %75'e çıkarılması hedeflenmiştir.

Şekil 22: MIC Yerli Üretimin Ulusal Pazar Payı Hedefleri (%)



Kaynak: Institute for Security & Development Policy, Made in China 2025, s.4.

⁵⁵¹ Institute for Security & Development Policy (ISDP), Made in China 2025, Haziran 2018, s.2.

MIC 2025'in başarılı bir şekilde hayata geçmesi halinde Çin'in katma değer zincirini güçlendirmesi, sadece düşük maliyetli bir üretici olma konumundan çıkması ve en nihayetinde Güney Kore, Japonya ve Almanya gibi Endüstri 4.0'ı etkin kullanan ülkelere karşı daha fazla rekabet edebilir bir yapıya sahip olması öngörülmektedir. Ayrıca Çin, *MIC 2025* ile birkaç yıl içinde, teknolojik endüstri açısından en iyi durumda olan ülkeler arasında olmayı hedeflemektedir.⁵⁵² Bu sebeple *MIC 2025*, Çin Hükûmeti tarafından küresel üretim zincirine tam entegre olma ve sanayileşmiş ekonomilerle daha etkin bir iş birliği fırsatı olarak görülmektedir. Ayrıca ABD ile Çin arasındaki ticaret savaşları ve ABD'nin Çin malları üzerine koyduğu gümrük tarifeleri nedeniyle de Çin, *MIC 2025* girişimine daha çok odaklanmaktadır.⁵⁵³

Öte yandan *MIC 2025* Strateji Planı hazırlanırken Almanya'nın "Endüstri 4.0"ından esinlenilmiştir. Bu sebeple *MIC 2025*, Almanların ekonomik kalkınma ve inovasyon konusundaki yaklaşımlarına genel olarak benzer bir stratejidir. Çin, Endüstri 4.0 konusunda Almanya ile iş birliği projeleri yürütmektedir. Çin yürüttüğü bu projelerle, gelişmiş ülkelerin modern teknolojilerle gerçekleştirdiği üretimle rekabet etmeyi amaçlamaktadır.

Çin devlet bankaları, *MIC 2025* Planında yer alan hedeflerin gerçekleşmesi için özellikle KOBİ'leri sübvansiyonlar ve düşük faizli krediler yoluyla desteklemektedir. Ayrıca *MIC 2025*'te yer alan hedeflere yönelik projelerin finansal açıdan desteklenmesi amacıyla Gelişmiş Üretim Fonu ve Ulusal Entegre Devre Fonu adıyla iki farklı fon kurulmuştur. Örneğin 2018 yılında hedef sektörlerde faaliyette bulunan şirketlerin kullanmakta oldukları teknolojilerin yükseltilmesine yönelik projelerin finansmanı amacıyla Gelişmiş Üretim Fonuna 3 milyar dolar, Ulusal Entegre Devre Fonuna ise 21 milyar dolar kaynak ayrılmıştır.⁵⁵⁴

Çin Hükûmeti, *MIC 2025* Planı ile Çin'deki akıllı üretim patlamasının arkasındaki ana itici güç olmuştur. Çin'in siyasi liderleri, sanayi sektörünü ulusal ekonominin temel direği olarak görmekte ve bu kapsamda akıllı üretime geçişi ve inovasyona dayalı büyüme mo-

⁵⁵² Fırat S., Fırat O., "Endüstri 4.0 Yolculuğunda Trendler ve Robotlar", İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, C:46, S:2, Kasım 2017, s.219, Erişim:20.05.2022, https://www.academia.edu/36790931/End%C3%BCstri_4.0_Yolculu%C4%9Funda_Trendler_ve_Robotlar

⁵⁵³ Institute for Security & Development Policy (ISDP), Made in China 2025, s.1

⁵⁵⁴ Institute for Security & Development Policy (ISDP), Made in China 2025, s.5.

delini yoğun bir şekilde desteklemektedirler. Ayrıca Çin Hükûmeti Endüstri 4.0 sürecini Çin'in orta gelir tuzağından uzaklaşması için kritik bir araç olarak görmektedir.⁵⁵⁵ Çin Hükûmeti, ekonomik sistemde önemli bir değişiklik olmaması ve endüstride modernizasyonun yapılmaması halinde, Çin'in gelişmekte olan ülkeler arasında sıkışıp kalma ve orta gelir tuzağına düşme riskinin ortaya çıkacağını düşünmektedir. Bu itibarla Çin Hükûmeti, *MIC 2025 Planı* çerçevesinde Çin'in dünyanın bir "Üretim Süper Gücü" ve "İnternet Süper Gücü" olması gerektiğini, bu şekilde Çin'in orta gelir tuzağından korunabileceğini öngörmekte ve nihayetinde Çin'in Almanya ve Japonya'ya benzer bir ekonomik yapıya sahip olmasını hedeflemektedir. Öte yandan Çin Hükûmeti, Endüstri 4.0 stratejisi ile sanayide otomasyona geçmeyi, sanayi sektörünü dijitalleştirmeyi ve bu yolla tekstil gibi sektörlerde düşük üretim maliyetine sahip olma avantajını korumayı istemektedir.⁵⁵⁶ Çin, gelişmiş sanayi ülkelerindeki otomasyon ve akıllı fabrika uygulamaları (örneğin Adidas firmasının Almanya'da yüksek otomasyonlu ayakkabı fabrikası kurması gibi yeni akıllı fabrikaların açılması⁵⁵⁷) karşısında kendi rekabet gücünü yükseltecek ve düşük maliyetli üretim yapısını koruyacak Endüstri 4.0 uygulamalarını gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda Çin, "Akıllı Fabrika 1.0" projesi ile üretim süreçlerinin dijitalleşmesi ve üretimde otomasyonun sağlanması konusunda yeni uygulamalar geliştirmiştir.⁵⁵⁸

Öte yandan Çin Hükûmeti, 2006 yılından itibaren yeni nesil bilgi teknolojilerini kendisine öncelik olarak belirleyen "Gelişmekte Olan Stratejik Endüstriler" (*Strategic Emerging Industries-SEI*) girişimini yürütmektedir.⁵⁵⁹ SEI girişiminin öncelik verdiği bu stratejik endüstriler; yapay zekâ, siber güvenlik hizmetleri, entegre devreler ve ağ ekipmanı ve yazılımı, biyoteknoloji, enerji verimliliği, yüksek çevresel teknolojiler ve üst düzey ekipman imalatı olarak belirtilmektedir.⁵⁶⁰ SEI girişiminde Çin Devleti, stratejik endüstrilere doğrudan yatırım yapan yabancı şirketleri Çinli şirketlerle birleşmeleri, iş ortaklıkları kurmaları veya teknolojik bilgi paylaşımı içeren anlaşmalar yapmaları konusunda teşvik etmekte, böylelikle Çinli şirketlerin yeni

⁵⁵⁵ Institute for Security & Development Policy (ISDP), *Made in China 2025*, s.16.

⁵⁵⁶ Institute for Security & Development Policy (ISDP), *Made in China 2025*, s.17.

⁵⁵⁷ Mercator Çin Araştırmaları Enstitüsü (MERICS), *Made in China 2025*, s.17.

⁵⁵⁸ Yıldız A., "Endüstri 4.0 ve Akıllı Fabrikalar", s.554.

⁵⁵⁹ Institute for Security & Development Policy (ISDP), *Made in China 2025*, s.2.

⁵⁶⁰ Institute for Security & Development Policy (ISDP), *Made in China 2025*, s.3.

nesil teknolojilere ilişkin fikrî mülkiyet haklarını elde etmeleri amaçlanmaktadır. SEI girişimi, *MIC 2025 Planı*ndan önce ve ondan ayrı başlatılan bir devlet girişimi olmakla birlikte bu girişimin sonuçları *MIC 2025 Planı*nda öngörülen hedeflere ulaşılmasına önemli bir katkı sağlamaktadır.

Çin, Endüstri 4.0 olgusunun oldukça önemli unsurlarından biri olan yapay zekâ konusunda da dünyada güçlü bir konuma sahiptir. Nitekim yapay zekâyı kendi iş alanlarında etkili bir şekilde kullanan Çinli büyük şirketler bulunmaktadır. Örneğin bir teknoloji devi olan Alibaba şirketi, büyük veriyi, yapay zekâyı ve nesnelerin internetini etkili bir şekilde kullanmaktadır. Alibaba şirketi bu sayede otonom otomobiller için akıllı çipler geliştirmiştir.⁵⁶¹ Dünyanın en büyük telekomünikasyon ekipmanı üreticisi olan Çinli Huawei şirketi de yapay zekâdan faydalanmakta ve yüksek yapay zekâ teknolojisine sahip özel çipler üzerinde çalışmaktadır.⁵⁶²

Çin yapay zekâ konusunda ABD ile rekabet içerisinde ve bu konuda dünya lideri olmayı istemektedir. Ancak Çin bu hedefini gerçekleştirme konusunda zorlanmaktadır. Zira Çin, dünyanın toplam yapay zekâ yetenek havuzunun yaklaşık %8,9'una sahipken, ABD için bu oran %13,9'dur.⁵⁶³ Dolayısıyla Çin yapay zekâ konusunda araştırma yapacak daha çok yetenekli insana ihtiyaç duymaktadır. Nitekim Çin Yapay Zekâ Derneği Başkan Yardımcısı Huang Heyan, Çin yapay zekâ endüstrisinde yetenek arz ve talebi arasında büyük bir fark bulunduğunu ifade etmiştir.⁵⁶⁴ Bu sebeple Çin Hükûmeti ülkede yapay zekâ konusunda daha çok yetenekli insanın yetişmesi için çeşitli projeler yürütmektedir. Örneğin Çin Eğitim Bakanlığı 2014 yılında, Çin üniversiteleri ile Çinli Huawei, Tencent ve Baidu gibi önde gelen teknoloji şirketleri arasında yapay zekâ odaklı bir iş birliği programı başlatmıştır.⁵⁶⁵ Dört yıldan fazla süren bu program

⁵⁶¹ Küresel Üretim ve Sanayileşme Zirvesi (GMIS), The Future of Manufacturing - China, Shenzen, Mart 2019, s.16, Erişim:20.12.2019, https://gmisummit.com/wp-content/uploads/2019/04/PwC-and-GMIS-Report-on-The-Future-of-Manufacturing-in-China_17.pdf

⁵⁶² Küresel Üretim ve Sanayileşme Zirvesi (GMIS), The Future of Manufacturing - China, s.21

⁵⁶³ Küresel Üretim ve Sanayileşme Zirvesi (GMIS), The Future of Manufacturing - China, s.21

⁵⁶⁴ Küresel Üretim ve Sanayileşme Zirvesi (GMIS), The Future of Manufacturing - China, s.21

⁵⁶⁵ Küresel Üretim ve Sanayileşme Zirvesi (GMIS), The Future of Manufacturing - China, s.21.

neticesinde yaklaşık 600 adet yapay zekâ araştırma projesi gerçekleştirilmiş ve teknoloji şirketleri bu projelere 130 milyon Çin yuanı değerinde destek sağlamıştır. 2018 yılında 489 adet Çin üniversitesi, yapay zekâ ile ilgili üniversite bölümlerini bir önceki yıla göre %244 oranında artırmıştır.⁵⁶⁶

Çin Hükûmetinin Çinli firmaları Endüstri 4.0 uygulamalarına daha fazla yöneltmek için başlattığı bir başka girişim ise 2015 yılından beri uygulanan İnternet Artı (*Internet Plus*) girişimidir. İnternet Artı girişimi, interneti ve bilgi teknolojisini Çinli imalat firmalarına entegre ederek geleneksel endüstrileri güçlendirmeyi ve Çin menşeli internet tabanlı şirketlerin uluslararası piyasalardaki varlığını artırmayı hedeflemektedir.⁵⁶⁷ İnternet Artı girişiminde mobil internet, bulut bilişim, büyük veri ve nesnelerin interneti gibi Endüstri 4.0 uygulamaları ülkedeki endüstriyel üretim, e-ticaret ve finans ile birleştirilmekte ve endüstriyel üretimin rekabet gücünün ve büyüme potansiyelinin artırılması amaçlanmaktadır.

Çin Hükûmeti akıllı üretim ve modernize edilmiş bir endüstri tabanının oluşturulması için 3B yazıcı sektörüne önem vermekte ve bu kapsamda plan ve projeler açıklamaktadır. Nitekim Çin Hükûmeti, 2017 yılında tıp, kültür, eğitim ve teknoloji sektörleri de dâhil olmak üzere 10 ana sektörde 3B yazıcılarının kullanımını artırmayı amaçlayan ve bu kapsamda 100'den fazla projenin uygulanmasını öngören "3B Yazıcı Sektörünü Geliştirme Eylem Planını" kamuoyuna açıklamıştır.⁵⁶⁸ Bu Eylem Planı kapsamında Çin'in Guangzhou şehrinde dünyanın ilk 3B Yazıcı Teknolojisi Üniversitesi kurulmuştur.⁵⁶⁹ Çin'de ayrıca 400 binden fazla okulda 3B yazıcıların kurulması planlanmış böylelikle insanların genç yaştan itibaren 3B teknolojisine ilgi duymaları amaçlanmıştır.

Çin Hükûmeti, nesnelerin interneti alanında ise yeni teknolojilere, ağlara ve altyapıya büyük yatırımlar yapmakta, ayrıca nesnelerin interneti teknolojisi üreten şirketlere tercihli vergi indirimleri sunmaktadır.⁵⁷⁰ Nesnelerin internetine yapılan bu yatırımların imalat

⁵⁶⁶ Küresel Üretim ve Sanayileşme Zirvesi (GMIS), The Future of Manufacturing - China, s.21.

⁵⁶⁷ Küresel Üretim ve Sanayileşme Zirvesi (GMIS), The Future of Manufacturing - China, s.10.

⁵⁶⁸ Grabcad İnternet Sitesi, "Countries That are Leading the Way in 3D Printing".

⁵⁶⁹ Grabcad İnternet Sitesi, "Countries That are Leading the Way in 3D Printing".

⁵⁷⁰ Xinhua İnternet Sitesi, "China to Become World's Largest IoT Market in 2024 Report", Ocak 2021, Erişim.17.02.2022, http://www.xinhuanet.com/english/2021-01/16/c_139673275.htm

sanayiindeki dijitalleşmeyi ve imalat değer zincirini güçlendirmesi beklenmektedir. Zira nesnelerin interneti, üretim süreçlerini internet bağlantısı aracılığıyla kolaylaştırıp otomatikleştirerek üretkenliği ve verimliliği artırmaktadır. Ayrıca firmalar nesnelerin interneti vasıtasıyla gerçek zamanlı veriler elde etmekte ve bu veriler sayesinde talep tahmini ve üretim planlamalarını iyileştirmektedirler.

2.3.3. Endüstri 4.0 Sürecinde Çin'in Dünyadaki Konumu ve Bazı İstatistiksel Veriler

Çin, Endüstri 4.0 sürecinde en çok endüstriyel robot kurulumu konusuna odaklanmakta ve diğer alanlara kıyasla endüstriyel robot kurulumuna daha fazla öncelik vermektedir.⁵⁷¹ Zira Çin için en temel konu diğer ülkelere kıyasla sahip olduğu düşük üretim maliyeti avantajını korumak olup Çin Hükûmeti bu avantajını fabrikalarındaki endüstriyel robot kurulumu sayısını daha çok artırarak koruyabileceğine inanmaktadır. Bu sebeple Çin, Endüstri 4.0 kapsamındaki diğer konulara kıyasla endüstriyel robot kurulumu konusuna daha çok önem vermiş ve bu konuda büyük mesafe almıştır. Çin açısından endüstriyel robot kurulumunun ayrıcalıklı bir konu olması nedeniyle bu konu bu bölümde geçen diğer konulara kıyasla daha geniş bir şekilde ele alınmıştır. Bu bölümde ayrıca Çin'in yapay zekâ endüstrisi, nesnelerin interneti, Ar-Ge harcamaları, patent üretimi, 3B yazıcı endüstrisi, orta ve yüksek teknolojlili ürünlerin ihracatı ve Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksindeki yerine ilişkin çeşitli istatistiksel veriler sunulmuştur.

2020 yılı itibarıyla Çin, dünyada yıl bazında en çok endüstriyel robot kurulumu yapan ve en çok endüstriyel robot stokuna sahip olan ülke durumundadır. Nitekim Çin'deki fabrikalarda üretimde kullanılmakta olan endüstriyel robot sayısı 2020'de bir önceki yıla göre %20 oranında artarak yaklaşık 943 bine ulaşmıştır.⁵⁷² Dünyadaki bütün endüstriyel robotların yaklaşık %31'i Çin'de bulunmaktadır.

⁵⁷¹ Macquarie İnternet Sitesi, "Why China is focused on a robotic future", Erişim:17.05.2022, Mayıs 2022, <https://www.macquarie.com/au/en/perspectives/why-china-is-focused-on-a-robotic-future.html>

⁵⁷² Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "IFR Presents World Robotics Report 2020", Erişim:15.03.2022, <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/record-2.7-million-robots-work-in-factories-around-the-globe>

Görsel 10: Robot Festivalinde Fotoğraf Çektikten Sonra İnsan Silüetleri Çizen Endüstriyel Bir Robot

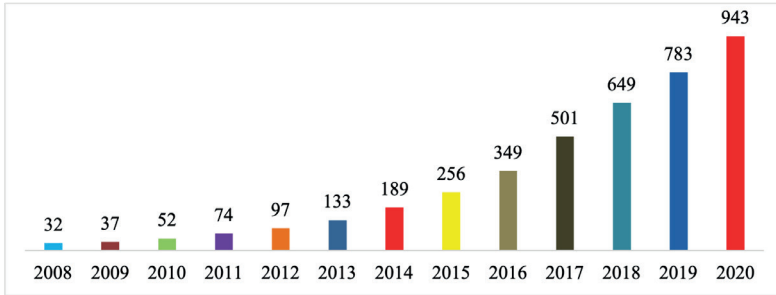


2008 ile 2020 yılları arasında Çin'in endüstriyel robot stokunda her yıl istikrarlı ve yüksek oranlı artışlar gerçekleşmiştir. Nitekim endüstriyel robot stoku 2008 yılında 32.000 iken 2019 yılında stok miktarı yaklaşık 24 kat artarak 783.000'e ulaşmıştır.⁵⁷³ 2020 yılında ise endüstriyel robot stoku 160.000 adet artmıştır. Bir önceki yıla kıyasla endüstriyel robot stokundaki artış 2015'te %35, 2016'da %36, 2017'de %44, 2018'de %30, 2019'da %21 ve 2020'de %20 oranında gerçekleşmiştir. 2018 ve 2019 yıllarında endüstriyel robot stoku artmaya devam etmekle birlikte artış hızında önceki yıllara kıyasla yavaşlama görülmüştür. Artış hızındaki bu yavaşlamada endüstriyel robotların yoğun olarak kullanıldığı otomotiv ve elektronik sanayilerini olumsuz etkileyen Çin ve ABD arasında yaşanan ticaret savaşının etkili olduğu değerlendirilmektedir.⁵⁷⁴ 2008-2020 yılları arasında Çin'in endüstriyel robot stokunun artışına ilişkin bilgiler Şekil 23'te gösterilmiştir.

⁵⁷³ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "IFR Presents World Robotics Report 2020".

⁵⁷⁴ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), Executive Summary World Robotics 2020 Industrial Robots, s.13.

Şekil 23: 2008-2020 Yılları Arasında Çin’de Endüstriyel Robot Stokuna İlişkin Bilgiler (bin adet)



Kaynak: Uluslararası Robotik Federasyonu, "World Robotics Report 2019 Presentation", s.21; Uluslararası Robotik Federasyonu, "Press Release World Market", s.2, Erişim:15.03.2022, https://ifr.org/downloads/press2018/2020-09-24_IFR_press_release_WR_industrial_robots.pdf; Uluslararası Robotik Federasyonu, "IFR Presents World Robotics 2021 Reports".

Çin’de 2020 yılında 168.400⁵⁷⁵ adet yeni endüstriyel robot kurulumu gerçekleştirilmiştir. 2020 yılında dünya genelinde 383.500 adet yeni endüstriyel robot kurulumu gerçekleştirildiği dikkate alındığında söz konusu yılda dünya genelinde yapılan yeni robot kurulumlarının yaklaşık %44’ünün Çin’de gerçekleştiği anlaşılmaktadır.⁵⁷⁶ COVID-19 salgınına rağmen endüstriyel robot kurulumundaki yıllık artış miktarı, 2020 yılında bir önceki yıla kıyasla 28.000 adet daha fazla olmuştur.⁵⁷⁷ Aynı yıl endüstriyel robot stoku ise %20 oranında artmıştır.⁵⁷⁸ Bu durum COVID-19 salgınının Çin’deki endüstriyel robot sektörü üzerindeki olumsuz etkilerinin oldukça sınırlı düzeyde olduğunu ve sektörün salgına rağmen büyümeye devam ettiğini göstermektedir. 2010 yılı ile 2020 yılı verileri karşılaştırıldığında ise yeni endüstriyel robot kurulumunun 11 kat arttığı görülmektedir. Şekil 24’te Çin’de 2010 ve 2020 yılları arasında yıllık endüstriyel robot kurulum sayıları gösterilmiştir.

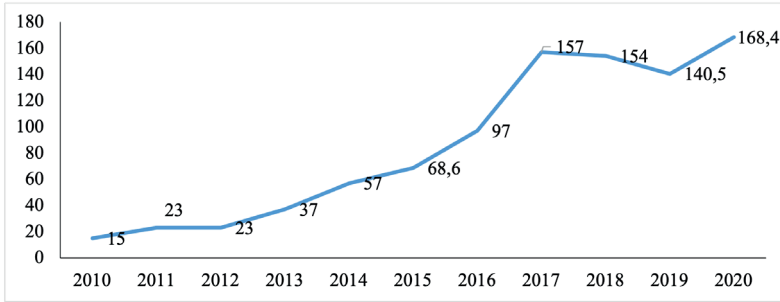
⁵⁷⁵ Geçmiş yıllarda kurulumu yapılmış olan 8.400 adet endüstriyel robot 2020 yılında kullanım dışı bırakılmıştır. Bu sebeple 2020 yılında 168.400 adet yeni endüstriyel robot kurulumu yapılmakla birlikte ülkedeki toplam endüstriyel robot stoku net 160.000 adet artmıştır.

⁵⁷⁶ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), World Robotics 2021, s.7, 13.

⁵⁷⁷ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), World Robotics 2021, s.15.

⁵⁷⁸ Uluslararası Robot Federasyonu (IFR), "IFR Presents World Robotics 2021 Reports".

Şekil 24: Çin’de 2010 ve 2020 Yılları Arasında Yıllık Endüstriyel Robot Kurulumu (bin adet)



Kaynak: Uluslararası Robotik Federasyonu, 2015-2020 Yıllarına ait Dünya Endüstriyel Robot Raporları

Çin’de, 2020 yılında kurulumu yapılan robotların %73’ü, yabancı tedarikçiler tarafından Çin’e gönderilmiştir. Çinli tedarikçiler (Çin’de endüstriyel robot üretip bu robotları kullanılmak üzere ülkedeki sektörlere teslim eden Çinli şirketler), iç pazara hitap edecek şekilde üretim yapmakta ve bu pazara her yıl bir önceki yıla kıyasla daha fazla miktarda endüstriyel robot tedarik etmektedir. Nitekim Çinli endüstriyel robot tedarikçileri, 2014 yılında 16.000 adet endüstriyel robot tedarik etmişken bu rakam 2020 yılında 2,5 kat artarak 45.000’e ulaşmıştır. Bununla birlikte Çinli endüstriyel robot tedarikçilerinin ülkedeki toplam robot tedarikindeki payı 2020 yılı için sadece %27 oranında kalmış olup robot tedarikinin büyük bir kısmı yabancı firmalardan sağlanmıştır.

2019 yılında yabancı tedarikçiler, toplam tedariklerinin yaklaşık %29’unu otomotiv endüstrisine teslim ederken, Çinli tedarikçiler endüstriyel robot tedariklerinin yaklaşık %12’sini otomotiv endüstrisine teslim etmişlerdir. Bu nedenle, 2019 yılında yabancı tedarikçiler Çin otomotiv endüstrisindeki üretim düşüşünden yerli tedarikçilere göre daha fazla etkilenmişlerdir.⁵⁷⁹

⁵⁷⁹ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), “IFR Presents World Robotics Report 2020”.

Görsel 11: Otomotiv Sektöründe Kullanılan Endüstriyel Robotlar

Diğer taraftan Çin'in otomotiv endüstrisindeki robot yoğunluğu (yani 10.000 çalışan başına düşen endüstriyel robot sayısı) 2007'den bu yana önemli ölçüde artmıştır. Bununla birlikte Güney Kore, Almanya ve ABD gibi ülkelerle karşılaştırıldığında Çin'deki otomotiv endüstrisindeki robot yoğunluğunun düşük düzeyde olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni, diğer ülkelere kıyasla Çin'in otomotiv sektöründe çalışan kişi sayısının çok fazla olmasıdır. Zira 2014 yılında otomotiv endüstrisinde (otomotiv parçaları dâhil) yaklaşık 3,5 milyon kişi çalışmıştır. Ayrıca 2014 yılında otomotiv endüstrisinde çalışan kişi sayısı 2013 yılına kıyasla toplam 100.000 kişi artmıştır. Otomotiv sektörü bu üretim gücü ile 2015 yılında yaklaşık 21 milyon otomobil üretmiştir.⁵⁸⁰ Çin, bu üretim miktarı ile 2015 yılındaki küresel otomobil üretiminin yaklaşık %28'ini tek başına gerçekleştirmiştir. 2020 yılında ise Çin'in küresel otomobil üretimi içindeki payı %33'e yükselmiştir.⁵⁸¹ Modernizasyon ve kapasite artırma ihtiyacı nedeniyle, Çin'in otomotiv sektöründeki yeni endüstriyel robot kurulumlarını gelecek yıllarda daha da artırması beklenmektedir.

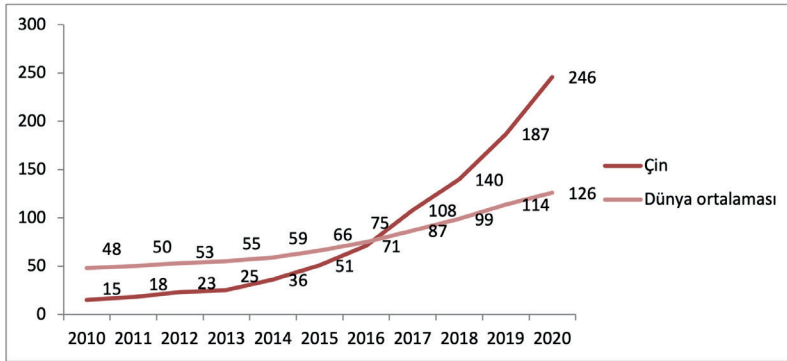
⁵⁸⁰ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), Executive Summary World Robotics 2016 Industrial Robots, s.15, Erişim: 15.03.2020, https://ifr.org/img/uploads/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_20161.pdf

⁵⁸¹ Uluslararası Motorlu Araç İmalatçıları Örgütü (OICA), "2020 Production Statistics".

2010 ve 2020 yılları arasında Çin’de imalat sanayiindeki robot yoğunluğu verileri incelendiğinde robot yoğunluğunda her yıl istikrarlı ve yüksek oranlı artışlar gerçekleştiği görülmektedir. Nitekim Çin’de imalat sektöründeki robot yoğunluğu, 2010 yılında 15 iken, bu sayı her yıl artmış, 2017 yılında 108’e, 2019 yılında 187’ye ve 2020 yılında ise 246’ya ulaşmıştır. Çin bu rakam ile robot yoğunluğu sıralamasında 2020 yılında dünyada 9. sırada yer almaktadır.

2017 yılına kadar Çin’deki robot yoğunluğu, dünya robot yoğunluğu ortalamasının altında iken 2017 yılından itibaren dünya ortalamasının üzerine çıkmıştır. 2010 ve 2020 yılları arasında Çin’de imalat sektöründe robot yoğunluğuna ilişkin bilgiler Şekil 25’te sunulmuştur.

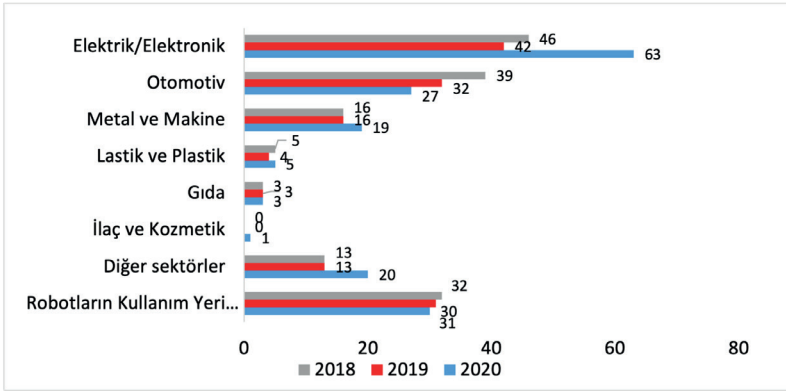
Şekil 25: Çin’de 2010 ve 2018 Yılları Arasında İmalat Sektöründe Robot Yoğunluğu (adet)



Kaynak: Uluslararası Robotik Federasyonu, Dünya Endüstriyel Robot Raporları

Çin’de endüstriyel robot kurulumları, en çok elektrik-elektronik ve otomotiv sanayiinde görülmektedir. Bu sektörleri sırasıyla metal ve makine sanayi, lastik ve plastik sanayi, gıda sanayi ve ilaç/kozmetik sanayi izlemektedir. Diğer sanayi dallarında da endüstriyel robot kurulumlarının 2019-2020 yılları arasında arttığı gözlenmektedir.

Şekil 26: Çin’de Endüstriyel Robot Kurulumlarının Sektörlere Göre Dağılımı (bin adet)



Kaynak: Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), World Robotics 2021, s.18.

Çin’de endüstriyel robotlar en çok ambalajlama ve kaynak işlemlerinde kullanılmak amacıyla tedarik edilmektedir. Bu iş süreçlerini endüstriyel robotların kullanım sıklığına göre birleştirme, dağıtma, temizleme ve işleme süreçleri izlemektedir.

Çin’in endüstriyel robot pazarı açısından konumuna genel olarak bakıldığında; Çin 2013 yılından itibaren dünyadaki en büyük endüstriyel robot pazarına sahip ülke durumunda olup bu konumunu açık farkla devam ettirmektedir. Çin’in endüstriyel robot pazarı aynı zamanda dünya çapında en hızlı büyüyen endüstriyel robot pazarıdır. Bu hızdaki bir gelişmenin, robot tarihinde bir benzeri bulunmamaktadır. Bununla birlikte MIC 2025 Planında endüstriyel robot tedarikinde 2020 yılına kadar yerleşme (yani Çin menşeli firmalardan endüstriyel robot tedarik etme) hedefi %50 olarak belirlenmiş olmasına karşın bu oran 2020 yılı için sadece %27 oranında kalmıştır. Bununla birlikte Çin menşeli firmaların her yıl tedarik ettikleri endüstriyel robot sayısında istikrarlı artışın devam ettiği görülmektedir.

Çin Hükûmeti Endüstri 4.0 sürecinin temel teknolojileri arasında yer alan yapay zekâ ve nesnelerin interneti alanlarında da önemli yatırımlar yapmaktadır. Nitekim Çin Hükûmeti ve özel şirketler 2019 yılında yapay zekâ alanında toplam 13,5 milyar dolar tutarında yatırım

yapmışlardır.⁵⁸² Bu yatırım tutarının 2025 yılında 48,6 milyar dolara yükselmesi beklenmektedir.⁵⁸³ Nesnelerin internetine yapılan yatırımların ise gelecek 15 yıl içinde imalat endüstrilerinde birikimli olarak Çin'in GSYH'sini 196 milyar dolar artıracacağı öngörülmektedir.⁵⁸⁴ Diğer taraftan Çin'de nesnelerin interneti pazarı, GSYH'nin yıllık büyüme oranından daha yüksek bir oranda büyümektedir. Nitekim Çin'in nesnelerin interneti pazarının her yıl ortalama %13 oranında büyüyeceği ve 2024 yılına kadar yaklaşık 300 milyar dolara ulaşacağı öngörülmektedir.⁵⁸⁵ Böylelikle Çin'in 2024 yılında dünyadaki toplam nesnelerin interneti pazarının %26,7'sine sahip olması ve bu oran ile ABD'yi geçerek dünyadaki en büyük nesnelerin interneti pazarı haline gelmesi beklenmektedir.⁵⁸⁶

Endüstri 4.0 sürecinin bir başka önemli göstergesi olan Ar-Ge harcamalarına bakıldığında ise OECD verilerine göre Çin'in Ar-Ge harcamalarının GSYH'ye oranı 2015 yılında %2,06 iken 2020 yılında 2,40'a yükselmiştir.⁵⁸⁷ Ülkede bin kişi çalışan başına düşen araştırmacı sayısı ise 2015 yılında 2,09 iken 2020 yılında bu oran 3,04'e yükselmiştir. Üçlü (*triadic*) patent⁵⁸⁸ sayısı ise 2015 yılında 3.251 iken 2019 yılında 5.596'ya yükselmiştir.

Öte yandan Çin, 2015-2019 yılları arasında patent üretiminde istikrarlı bir artış göstermekle birlikte bu konuda ABD ve Japonya'nın oldukça gerisinde bulunmaktadır. Örneğin OECD verilerine göre 2019 yılında Japon araştırmacılar 17.702 adet üçlü patent, ABD'li araştırmacılar ise 12.881 adet üçlü patent başvurusunda

⁵⁸² Uber M.R., China's Artificial Intelligence Ecosystem, s.18, Erişim:17.02.2022, https://ni-u.edu/wp/wp-content/uploads/2021/08/Uber_Monograph_DNI2021_02261.pdf

⁵⁸³ Uber M.R., China's Artificial Intelligence Ecosystem, s.18.

⁵⁸⁴ Küresel Üretim ve Sanayileşme Zirvesi (GMIS), The Future of Manufacturing - China, s.11.

⁵⁸⁵ Xinhua İnternet Sitesi, "China to Become World's Largest IoT Market in 2024 Report".

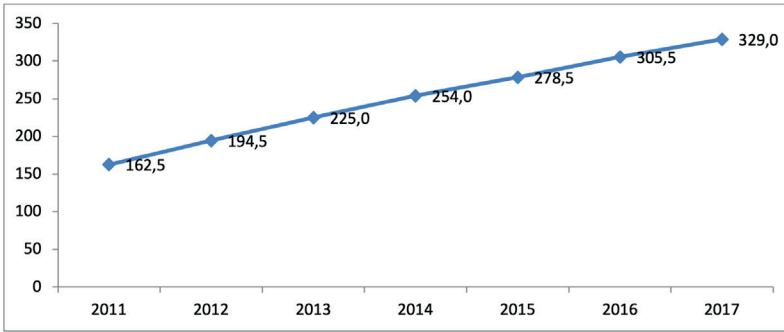
⁵⁸⁶ Xinhua İnternet Sitesi, "China to Become World's Largest IoT Market in 2024 Report".

⁵⁸⁷ OECD, "China-Innovation and Technology", Erişim:26.06.2022, <https://data.oecd.org/china-people-s-republic-of.htm#profile-innovationandtechnology>

⁵⁸⁸ Üçlü patentler, üç patent ofisi tarafından, yani Avrupa Patent Ofisi, ABD Patent ve Ticari Marka Ofisi ile Japonya Patent Ofisi (JPO) tarafından onaylanan patentlerdir. Bu üç ofisin üçünün de bir patent başvurusunu onaylanması oldukça pahalıdır ve bu sebeple üçlü patent sayıları, fikri mülkiyetin, yani patent konusu fikrin veya tasarımın potansiyel değeri konusunda doğru bilgi veren en uygun sayısal gösterge olarak kabul edilmektedir.

bulunmuştur.⁵⁸⁹ Çinli araştırmacıların 2019 yılında başvuruda bulundukları üçlü patent sayısı, Japon araştırmacılarının yaklaşık üçte biri, ABD’li araştırmacılarının yaklaşık yarısı kadardır. Bu durum Çin’in, Endüstri 4.0’ın Ar-Ge ve patent ayağında ABD ve Japonya’nın gerisinde kaldığını göstermektedir. Bununla birlikte Çin, imalat sanayiine oldukça yüksek ve her yıl artan oranlarda Ar-Ge harcaması yapmaktadır. OECD verilerine göre Çin’de 2011 yılında imalat sektöründe 162,5 milyar dolar Ar-Ge harcaması yapılmış, bu tutar her yıl artmış, 2017 yılında ise Şekil 27’de görüldüğü üzere 329 milyar dolara ulaşmıştır.⁵⁹⁰

Şekil 27: Çin’de İmalat Sektörüne Yapılan Ar-Ge Harcamaları
(milyar dolar)



Kaynak: OECD, OECD Research and Development Expenditure in Industry 2020, s.98.

Diğer ülkelerle karşılaştırıldığında Çin, 2017 yılı itibarıyla imalat sanayiine en çok Ar-Ge harcaması yapan ülke durumundadır. İmalat sanayiine yapılan Ar-Ge harcaması bakımından Çin’i 257 milyar dolar ile ABD ve 113,7 milyar dolar ile Japonya takip etmektedir.⁵⁹¹

Endüstri 4.0 sürecinde adı sıkça geçen 3B yazıcılar açısından Çin’in konumu ele alındığında ise Çin’de 3B yazıcıların sanayide

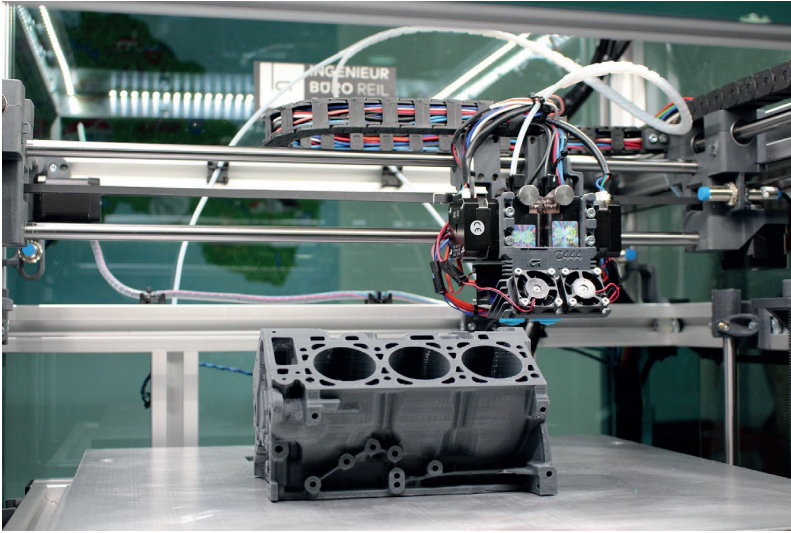
⁵⁸⁹ OECD, “China- Innovation and Technology”.

⁵⁹⁰ OECD tarafından “OECD Research and Development Expenditure in Industry 2020” raporundan sonra henüz yeni bir rapor hazırlanmadığı için bu bölümde 2020 yılı raporunda yer alan bilgilerden faydalanılmıştır. Bu raporda Çin’in imalat sektöründeki Ar-Ge harcamalarıyla ilgili olarak en son 2017 yılına ilişkin verileri açıklanmıştır.

⁵⁹¹ OECD, “OECD Research and Development Expenditure in Industry 2020”, s.52, 88, Erişim:26.06.2022, https://read.oecd-ilibrary.org/industry-and-services/oecd-research-and-development-expenditure-in-industry-2020_c86631b8-en#-page90.

kullanımının yedek parça, özel parça ve prototiplerin üretimi ile sınırlı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte 3B yazıcılar, ağ bağlantılı üretimde, endüstriyel üretimde ve tıp gibi diğer pek çok alanda devrim yaratma potansiyeline sahip, nitelikli bir teknoloji olarak görüldüğünden, Çin’de 3B yazıcı teknolojisine artan bir ilgi bulunmaktadır.⁵⁹² Nitekim 3B yazıcı pazarının büyüklüğü 2014 yılında 500 milyon dolar iken 2018 yılında 2 milyar dolara yükselmiştir.⁵⁹³ Çin’in 3B yazıcı pazarı, her yıl oldukça yüksek oranda büyüme göstermektedir. Nitekim Çin’in 3B yazıcı pazarının büyüklüğünün 2023 yılında 11,3 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir.⁵⁹⁴

Görsel 12: 3B Yazıcı Kullanılarak Parça Üretimi



Çin, Endüstri 4.0 stratejisi çerçevesinde daha fazla orta ve yüksek teknolojili sanayi ürünü üretmek suretiyle ihracatı artırmayı amaçlamaktadır. Nitekim Dünya Bankası verilerine göre Çin’de orta ve yüksek teknolojili sanayi ürünlerinin, ihraç edilen toplam sanayi ürünleri içindeki payı, 2014’te %57,3 iken 2019 yılında %60,3’e yükselmiştir. 2014-2019 yılları arasında orta ve yüksek teknolojili sanayi ürünle-

⁵⁹² Mercator Çin Araştırmaları Enstitüsü (MERICS), Made in China 2025, s.48.

⁵⁹³ EAC International Consulting İnternet Sitesi, Additive Manufacturing In China, s.2, Erişim:26.06.2022, https://eac-consulting.de/wp-content/uploads/2021/03/Article_Additive-Manufacturing-in-China_Update-2021.pdf

⁵⁹⁴ EAC International Consulting İnternet Sitesi, Additive Manufacturing In China, s.2.

rinin ihraç edilen sanayi ürünleri içindeki ortalama payı ise %59,3 olarak gerçekleşmiştir. Orta ve yüksek teknoloji sanayinin toplam sanayi içindeki oranı %41,5'tir ve bu oran 2014 ve 2019 yılları arasında değişmemiştir. 2014-2019 yılları arasında düşük teknoloji sanayii ürünlerinin toplam sanayi ürünleri içindeki payı %58,5 iken, ihraç edilen toplam sanayi ürünleri içindeki ortalama payı %41,5 olmuştur. Bu itibarla orta ve yüksek teknoloji bir sanayi işletmesi ile düşük teknoloji bir sanayi işletmesi karşılaştırıldığında orta ve yüksek teknoloji bir sanayi işletmesinin, düşük teknoloji bir sanayi işletmesine kıyasla ihracata yaklaşık 2 kat daha fazla katkı sağladığı anlaşılmaktadır.

2014 ile 2019 yılları arasında orta ve yüksek teknoloji sanayi ürünleri ile düşük teknoloji sanayi ürünlerinin, Çin'in toplam sanayi ürünleri üretimi ve ihracatı içindeki oranları Tablo 18'de gösterilmiştir.

Tablo 18: Çin'de Teknolojik Özelliklerine Göre Sanayi Ürünlerinin İhracat ve Üretimdeki Payı (%)

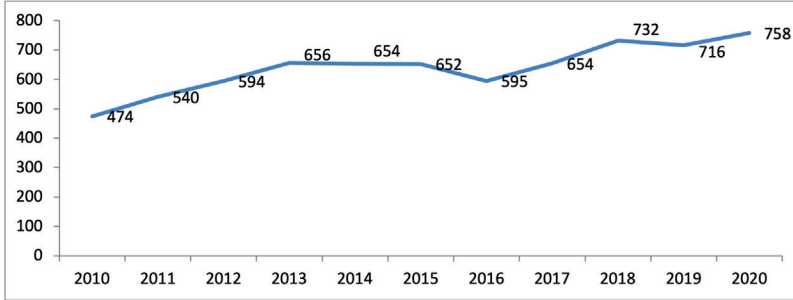
Ekonomik Gösterge	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Ortalama
Orta ve Yüksek Teknoloji Sanayi Ürünlerinin Sanayi Ürünleri İhracatındaki Payı	57,3	58,7	59,1	60,0	60,5	60,3	59,3
Düşük Teknoloji Sanayi Ürünlerinin Sanayi Ürünleri İhracatındaki Payı	42,7	41,3	40,9	40,0	39,5	40,7	40,9
Orta ve Yüksek Teknoloji Sanayinin Toplam Sanayi İçindeki Payı	41,5	41,5	41,5	41,5	41,5	41,5	41,5
Düşük Teknoloji Sanayinin Toplam Sanayi İçindeki Payı	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5

Kaynak: Dünya Bankası, "China"

2010-2020 yılları arasında Çin'den ihraç edilen yüksek teknoloji sanayi ürünlerinin toplam ihracat tutarı önemli ölçüde artmıştır. Nitekim Şekil 28'de görüldüğü üzere yüksek teknoloji sanayi ürünleri-

nin toplam ihracat tutarı, 2010 yılında 474 milyar dolar iken bu tutar 284 milyar dolar artarak 2020 yılında 758 milyar dolara ulaşmıştır.

Şekil 28: Çin'in Yüksek Teknolojili Sanayi Ürünleri İhracatı
(milyar dolar)



Kaynak: Dünya Bankası, "China"

Öte yandan Dünya Ekonomik Forumu tarafından küresel ölçekte ülkelerin geleceğe ilişkin üretim durumlarını araştırmak amacıyla hazırlanan "Üretimin Geleceği İçin Hazırlık Değerlendirmesi 2018 Raporu"nda (*Readiness for the Future of Production Assessment 2018 Report*) Çin, raporda geçen üretim yapısı (*structure of production*) kriterine göre dünyada 5. sırada, üretim dinamikleri (*drivers of production*) kriterine göre ise 25. sırada yer almaktadır.⁵⁹⁵ Çin'in, bu sonuçlar ile lider ülkeler grubunda yer aldığı belirtilmektedir.⁵⁹⁶

Çin'in imalat sanayiinin katma değeri (*manufacturing value added*) sürekli artmaktadır. İmalat sanayiinin katma değeri; imalat sektöründe faaliyet gösteren firmaların bir yıl içinde ürettikleri malların değerinden, diğer sektörlerden "girdi" olarak alıp imalat sürecinde kullandıkları malların değeri düşüldükten sonra kalan değer şeklinde hesaplanmaktadır. Başka bir ifadeyle imalat sanayiinin katma değeri, imalat sanayiinin bir yıl içinde ülkedeki ekonomik üretime yaptığı net katkısı ifade etmektedir. Dünya Bankası verilerine göre göre Çin'in imalat katma değeri 2010 yılında 1 trilyon 924 milyar

⁵⁹⁵ Dünya Ekonomik Forumu (WEF), *Readiness for the Future of Production Report* 2018, s.12.

⁵⁹⁶ Dünya Ekonomik Forumu tarafından 2018 yılı raporundan sonra henüz yeni bir rapor hazırlanmadığı için bu bölümde 2018 yılı raporunda yer alan bilgilerden faydalanılmıştır.

dolara ulaşmak suretiyle ABD'yi geçmiştir.⁵⁹⁷ Çin'in imalat katma değeri 2020 yılında ise 3 trilyon 853 milyar dolara ulaşmıştır.⁵⁹⁸ Çin bu tutar ile dünyadaki toplam imalat katma değerinin yaklaşık dörtte birini gerçekleştirmektedir.⁵⁹⁹

2.4. Güney Kore

Günümüzde dünyanın en büyük endüstriyel ekonomileri arasında yer alan Güney Kore,⁶⁰⁰ 1960'lardan bu yana göstermiş olduğu başarılı ekonomik kalkınma süreciyle önemli bir dönüşüm yaşamış ve gelişmekte olan ülke konumundan gelişmiş ülke konumuna yükselmiştir. Yaklaşık 52 milyonluk nüfusa sahip Güney Kore'de 2020 yılı için GSYH 1,6 trilyon dolar⁶⁰¹ ve kişi başına düşen millî gelir 31,6 bin dolardır.⁶⁰² Millî gelir içinde hizmetler sektörünün payı %57,1, sanayi sektörünün payı %32,6 ve tarım sektörünün payı %1,8'dir.⁶⁰³ Ülkede, söz konusu kalkınma sürecinin başarısı büyük ölçüde Ar-Ge ve inovasyon süreçlerinin gelişimine ve ileri teknoloji üretimine bağlanmaktadır. Bunun yanı sıra insan kaynaklarının niteliğine büyük önem veren Güney Kore'de eğitim ve beceri geliştirme alanlarına da önemli yatırımlar yapılmıştır. Güney Kore'nin Ar-Ge ve inovasyon süreçlerini üç temel başlık altında toplamak mümkündür: İmitasyon süreci (1960-1970'ler), transformasyon süreci (1980'ler) ve inovasyon süreci (1990'lar ve sonrası). Süreçlerin ilk aşaması olan imitasyon döneminde, emek yoğun bir piyasa hâkim olmuş; ülkeye doğrudan teknoloji ve yatırım transferi yapılarak endüstrileşme sağlanmaya çalışılmıştır. Transformasyon sürecinde; yalnızca teknoloji transferlerinin ve kamu tarafından yapılan araştırma çalışmalarının yeterli

⁵⁹⁷ Dünya Ekonomik Forumu (WEF), Readiness for the Future of Production Report 2018, s.14; Dünya Bankası, "China".

⁵⁹⁸ Dünya Bankası, "China".

⁵⁹⁹ Global Economy internet Sitesi, "China: Share of Manufacturing", Erişim:14.06.2022, https://www.theglobaleconomy.com/China/Share_of_manufacturing/

⁶⁰⁰ Uluslararası çalışmalarda ülkenin resmî adı olan Kore Cumhuriyeti kullanılmakla birlikte Türkiye'de daha çok Güney Kore olarak geçtiğinden, çalışmada da bu adla anılmıştır.

⁶⁰¹ Dünya Bankası, "GDP – Korea Republic", Erişim:10.02.2021, <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=KR>

⁶⁰² Dünya Bankası, "GDP per capita – Korea Republic", Erişim:10.02.2021, <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?locations=KR>

⁶⁰³ Dünya Bankası, "World Development Indicators: Structure of Output", Erişim:13.06.2022, <http://wdi.worldbank.org/table/4.2>

görülmeyişi, bunun yerine Ar-Ge çalışmalarının özel sektör tarafından yürütülmesinin teşvik edildiği gözlemlenmiştir. İnovasyon sürecine gelindiğinde ise; teknoloji ve inovasyon politikalarının, büyük şirketlerin yanı sıra daha esnek, dinamik ve yenilikçi olan KOBİ'ler aracılığıyla da yürütülmesinin desteklendiği bir dönemle karşılaşmaktadır.⁶⁰⁴ Tüm bu süreçleri tamamlayan, günümüzde yüksek gelir grubunda sınıflandırılan ve Dünya Bankası tarafından gelişimi "mucize" olarak nitelendirilen Güney Kore'de sıradaki aşama kendilerinin adlandırdığı şekilde "Dördüncü Sanayi Devrimi"dir.

Çalışmanın bu kısmında öncelikle Güney Kore'nin Endüstri 4.0 yaklaşımını dayandırdığı plan, program ve stratejilerden bahsedilmekte, ardından Endüstri 4.0 alanında kamu ve özel sektör tarafından atılan adımlara değinilmektedir. Son olarak Güney Kore'nin Endüstri 4.0 bileşenleri ve teknolojilerine dair birtakım istatistiklere yer verilmektedir.

2.4.1. Güney Kore'de Endüstri 4.0 Stratejisi

Güney Kore, Dördüncü Sanayi Devrimi, diğer bir deyişle Endüstri 4.0 yarışında önde gelen ülkelerden biridir ve son derece önemli üstünlüklere sahiptir. Bunlardan en önemlileri şu şekilde özetlenebilir: i) Ar-Ge alanına yüksek oranda yatırım yapılması, ii) Eğitimli ve kalifiye iş gücüne sahip olunması, iii) Bilgi ve iletişim teknolojileri dâhil ileri teknolojilerin yaygın kullanımı ve iv) Küresel alanda rekabet edebilen firmalarının bulunması. Ayrıca Güney Kore Devletinin inovasyona dayalı büyüme politikası ve bu alana yönelik teşvik programlarının çokluğu ülkenin en önemli avantajlarındanıdır.⁶⁰⁵

Güney Kore Hükûmeti, 2013 yılında "Yaratıcı Ekonomi Eylem Planı" (*The Creative Economy Action Plan*) adıyla ekonomiye ve özellikle endüstriye ilişkin temel politikasını/stratejisini ortaya koymuştur ve günümüzde de Endüstri 4.0 süreci bu temel Plan çerçevesinde

⁶⁰⁴ Arslanhan S., Kurtal Y., Güney Kore inovasyondaki başarısını nelere borçlu? Türkiye için çıkarımlar, Türkiye Ekonomi Politikaları Araştırma Vakfı Politika Notu, Eylül 2010, s.2, Erişim:17.11.2020, https://www.tepav.org.tr/upload/files/1285828695-5.Guney_Kore_Inovasyondaki_Basarisini_Nelere_Borclu_Turkiye_icin_Cikarimlar.pdf

⁶⁰⁵ OECD, Industry and Technology Policies in Korea, Mayıs 2014, s.16, Erişim:17.11.2020, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264213227-en.pdf?expires=1578316378&id=id&accname=oid021501&checksum=C95C7004485A0AACD9CEA7A04E1CCC1A>

ele alınmaktadır. Plan, hayal gücünü ve yaratıcılığı bilim ve teknolojiye entegre ederek yeni endüstriler yaratma ve aynı metotla mevcut endüstrileri geliştirme amacını ortaya koymaktadır.⁶⁰⁶ Böylece sektör bazlı endüstri politikasının risklerinin ortadan kaldırılması öngörülmektedir. Söz konusu Planda devletin kolaylaştırıcı ve koordine edici rolüne de özellikle vurgu yapılmıştır.⁶⁰⁷

Temel prensipleri 2013 yılında oluşturulan bu politika belgesine ilişkin olarak 2013 yılından günümüze kadar çok sayıda program yayımlanmıştır. Bu programların temelinde yatan hedefler şu şekildedir: i) İnovasyon ve yaratıcılık kullanılarak yeni meslekler ve pazarlar oluşturulması, ii) oluşan yaratıcı ekonomi sayesinde küresel ölçekte güç kazanılması, iii) yaratıcılığın desteklendiği bir toplumun oluşturulması. Bu programların uygulanmasında kamu sektörüne ağırlık verilmesi yerine hem büyük firmaların hem de KOBİ'lerin yer aldığı bir kompozisyonla özel sektörün de varlığına ihtiyaç duyulmuştur. Kamu-özel iş birliğini güçlendirmek adına, içinde kamu sektörünün ve her seviyeden özel sektör firmalarının yer aldığı "Yaratıcı Ekonomi Ortak Görev Grubu" (*Creative Economy Joint Task Force*) kurulmuştur.⁶⁰⁸

Yaratıcı Ekonomi Eylem Planının bir alt bileşeni olarak hayata geçirilen "İmalat Sanayi İnovasyonu 3.0" (*Manufacturing Industry Innovation 3.0-MII 3.0*) stratejisi ise ülkedeki Endüstri 4.0 yaklaşımının temelini oluşturmaktadır. MII 3.0 Strateji Belgesi, en yeni inovasyon uygulamalarını teşvik etmeyi ve yüksek katma değerli hizmetler sunarak bilgiye dayalı ekonomiyi güçlendirmeyi amaçlayan geniş kapsamlı bir dizi önlem içermektedir.⁶⁰⁹ Bu strateji çerçevesinde, ülkenin imalat sanayiinde dijital teknoloji kullanımının teşvik edilmesi ve otomasyon, nesnelerin interneti, büyük veri gibi teknolojilerin sürece giderek daha fazla dâhil edilmesi hedeflenmiştir.⁶¹⁰ Resmî

⁶⁰⁶ Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (UNCTAD), Strengthening The Creative Industries for Development in the Republic of Korea, 2017, s.6, Erişim:17.11.2020, https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/ditcted2017d4_en.pdf

⁶⁰⁷ OECD, Industry and Technology Policies in Korea, s.14.

⁶⁰⁸ Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (UNCTAD), Strengthening the Creative Industries for Development in the Republic of Korea, s.7-8.

⁶⁰⁹ OECD, Industry and Technology Policies in Korea, s.16.

⁶¹⁰ Suk-ye J., "Innovation in Manufacturing 3.0 Strategy Needs Better Focus with Clearer Direction", Business Korea Haber Portalı, 19 Kasım 2015, Erişim:23.11.2020, <http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=13060>

olarak Haziran 2014'te tanıtılan bu çerçeve program, doğrudan Al-manya'nın Endüstri 4.0 yaklaşımından ilham alınarak kurgulanmıştır. MII 3.0'ın amacı, akıllı üretimle bağlantılı teknolojiler geliştirerek ve akıllı fabrikaların kullanımını yaygınlaştırarak üretim sürecinde yenilik yapmak ve imalat sanayiini güçlendirmektir.⁶¹¹

Güney Kore'nin Endüstri 4.0 sürecinin temel belgesi niteliğindeki MII 3.0'ın odaklandığı asıl noktaları şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Yazılım ve donanım teknolojilerindeki yakınsamayı kolaylaştırmak adına 2020 yılına kadar 10 bin akıllı fabrika kurulması ve bu alandaki yatırımların 972 milyon dolara çıkarılması, (fabrika sayısı 2016 sonlarına doğru 2.800'e ulaşmıştır ve 2017 yılında 2025 yılı için 30 bin fabrikaya çıkarma hedefi açıklanmıştır)
- 40 binden fazla vasıflı çalışanın akıllı fabrikalarda çalıştırılmak üzere eğitilmesi,
- İmalatta gelişmiş otomasyon kullanımı hedefinin de ötesine geçilerek inovasyon kapasitesinin artırılması ve yaygınlaştırılması.⁶¹²

Söz konusu odak noktalarından da anlaşılacağı üzere, Güney Kore için Endüstri 4.0 sürecinin temel unsuru sanayide yaşanan dijital dönüşümdür. Bahse konu dönüşümün tamamlanmasıyla birlikte siber-fiziksel sistemlere sahip araçlarla donatılmış "akıllı fabrika"ların ortaya çıkması beklenmektedir. Güney Kore'nin MII 3.0 Belgesinde akıllı fabrika; planlama, tasarım, üretim, dağıtım, satış gibi tüm iş süreçlerinin otomatikleştirilmiş, birbiriyle bağlanmış ve birçok bilgi ve iletişim teknolojileriyle bütünleşmiş olduğu bir üretim sistemi olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemde müşteriler için kişiselleştirilmiş ürünler, en uygun zaman ve maliyetle ve tatmin edici kalitede üretilmektedir.⁶¹³

⁶¹¹ Wiktorsson M., Noh S.D., Bellgran M. vd, Smart Factories: South Korean and Swedish examples on manufacturing settings, Sekizinci İsveç Üretim Sempozyumu, Mayıs 2018, s.472, Erişim:23.11.2020, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1319885/FULLTEXT01.pdf>

⁶¹² Wiktorsson M., Noh S.D., Bellgran M. vd., Smart Factories: South Korean and Swedish examples on manufacturing settings, s.473.

⁶¹³ Wiktorsson M., Noh S.D., Bellgran M. vd., Smart Factories: South Korean and Swedish examples on manufacturing settings, s.473.

MII 3.0'a göre Güney Kore'de akıllı fabrikalara yönelik olarak Ar-Ge odaklı 8 adet ana teknoloji tanımlanmıştır. Bunlar; akıllı sensörler, nesnelerin interneti, bulut sistemi, büyük veri, 3B yazıcılar, siber-fiziksel sistemler, hologram ve enerji tasarrufudur. Bunlara ek olarak akıllı fabrikalar için aşağıda yer verilen 4 temel hareket planı belirlenmiştir:

- Akıllı fabrikaların sayısının artırılmasına yönelik programları içeren akıllı üretim süreçlerinin yaygınlaştırılması, yazılım gücünü artıran çekirdek teknolojilerin geliştirilmesi, 2020 yılına kadar bu alandaki Ar-Ge faaliyetlerine yapılan yatırımların teşvik edilmesi amacıyla 189,3 milyon dolar destek harcaması yapılması,
- Akıllı fabrikalar için oluşan imkânların erken görsellerini içeren yeni örnek endüstriler oluşturulması, akıllı materyal ve bileşenlerin geliştirilmesi ve ticarileştirilmesi, özel sektörün bu alandaki yatırım ve Ar-Ge çalışmalarının desteklenmesi,
- Bölgesel imalat endüstrisinde akıllı inovasyon sistemlerinin detaylı planlarıyla birlikte devreye sokulması, stratejik öneme sahip noktaların belirlenerek akıllı sanayi bölgesi olarak kullanılması ve akıllı endüstri kavramının bölgesel endüstriyel güçlere göre geliştirilmesi,
- İnovasyon altyapısının kurulması ve özel sektör firmalarının bu doğrultuda yeniden yapılandırılması, yeni teknolojilere ilişkin düzenlemelerin ve sistemlerin iyileştirilmesi, akıllı fabrikalardaki insan kaynağının yetiştirilmesi.⁶¹⁴

Bunların yanı sıra nesnelerin interneti, Güney Kore'nin Endüstri 4.0 sürecinde son derece önem atfettiği ve Devletin pek çok düzenleme yaptığı bir alan olmuştur. Nesnelerin internetinin hem kamu hizmetlerinin sunumunun geliştirilmesinde hem de sanayide üretim ve verimin artırılmasında, böylece toplamda tüm hayat kalitesinin yükseltilmesinde rol oynadığı düşünülmektedir. Bu doğrultuda, Güney Kore XXI. yüzyılın önemli bir altyapı bileşeni olan geniş bant kullanılabilirliği ve hızında lider konumdadır. Güney Kore, toplam sabit

⁶¹⁴ Wiktorsson M., Noh S.D., Bellgran M. vd., Smart Factories: South Korean and Swedish examples on manufacturing settings, s.473.

geniş bant yaygınlığı açısından ise OECD ülkeleri arasında beşinci sırada yer almaktadır.⁶¹⁵

2017 yılında Bilim ve Bilişim-İletişim Teknolojileri Bakanlığı tarafından hazırlanıp uygulamaya konulan “İnovasyon Büyüme Motoru” (*Innovation Growth Engine*) Programı bir hükümet programı olarak kamuoyu ile paylaşılmıştır. Bu Programda 13 temel sektöre vurgu yapılmış ve bu sektörlerin geliştirilmesi yoluyla sürdürülebilir büyüme ve uluslararası arenada rekabet edebilir ülke olma hedeflerine ulaşmanın amaçlandığı açıklanmıştır. Söz konusu sektörler şunlardır: Büyük veri, yeni nesil iletişim, yapay zekâ, sürücüsüz araçlar, dronlar, akıllı şehirler, sanal gerçeklik, kişiselleştirilmiş sağlık hizmetleri, akıllı robotlar, inovatif ilaçlar, yeni ve yenilenebilir enerji, akıllı yarı iletkenler ve gelişmiş malzemeler.⁶¹⁶

2.4.2. Güney Kore’de Endüstri 4.0 Sürecine İlişkin Kamu ve Özel Sektör Girişimleri ile Devlet Destekleri

Güney Kore’nin Endüstri 4.0 stratejilerinin yürütülmesinde rol alan başlıca kamu ve özel sektör paydaşları şunlardır: Ticaret, Sanayi ve Enerji Bakanlığı; Bilim ve Bilişim-İletişim Teknolojileri Bakanlığı, Güney Kore Endüstriyel Teknoloji Enstitüsü, Elektronik ve Telekomünikasyon Araştırma Enstitüsü, Güney Kore Elektronik Teknolojileri Enstitüsü, Güney Kore Malzeme ve Makine Enstitüsü, Akıllı Üretim İnovasyon Merkezi, Bölgesel Yaratıcı Ekonomi Kompleks Merkezi, LG CNS - Akıllı Fabrika Çözümleri, Samsung SDS - Akıllı Üretim, Posco ICT - Akıllı Mühendislik/Akıllı Bütünleşme.

Ülkede Endüstri 4.0 yaklaşımına yönelik başlıca strateji ve uygulamalar ise şu şekildedir:

- İmalat Sanayi İnovasyon 3.0 Stratejisi (MII 3.0): Ticaret, Sanayi ve Enerji Bakanlığı tarafından başlatılan bir projedir. KOBİ’leri farklı teknoloji seviyelerindeki akıllı üretim teknolojileriyle donatıp birer akıllı işletmeye dönüştürme stratejisidir.

⁶¹⁵ OECD, Better Policies Series - Korea: Policy priorities for a dynamic, inclusive and creative economy, Ekim 2015, s.9, Erişim:23.11.2020, <https://www.oecd.org/korea/korea-policy-priorities-for-a-dynamic-inclusive-and-creative-economy-EN.pdf>

⁶¹⁶ Kim S.S., Choi Y.S., “The Innovative Platform Programme in South Korea: Economic Policies in Innovation-Driven Growth”, Foresight and STI Governance, 2019, C:13, S:3, s.17, Erişim:23.11.2020, <https://foresight-journal.hse.ru/data/2019/10/06/1540153470/2-Kim-13-22.pdf>

- İnternet Bağlantılı Akıllı Fabrikalar (*Connected Smart Factory-CSF*): Bilim ve Bilişim-İletişim Teknolojileri Bakanlığı tarafından yürütülen bir çalışmadır. Birbiriyle bağlantılı akıllı fabrikaların test edildiği ve akıllı teknolojilerin değerlendirildiği bir platformdur.
- LG CNS-Akıllı Fabrika Çözümleri: Akıllı fabrika çözümleri, akıllı üretim imkânları aracılığıyla üretimin sürdürülebilir şekilde gelişiminin sağlanması amacıyla fabrikanın tasarımı, standardizasyonu ve bütünleşmesini içermektedir.
- Samsung-SDS Akıllı Üretim: Dünya çapındaki tüm tesisleri, otomasyon ve analize dayalı tek bir fabrikaymışçasına yönetmek ve kontrol etmek prensibine dayanmaktadır. Aynı zamanda bu süreçte çalışanların güvenliği ve verimlilik üzerine çözümler üreten yazılımların geliştirilmesi hedeflenmektedir.
- Posco ICT-Akıllı Üretim (*Pospia 3.0*): Nesnelerin internetinin endüstriyel süreçte uygulanması ve üretimde büyük veri çözümlerinin kullanılması ile firmanın dünyadaki tüm fabrikalarının bütünleşmiş yönetim sistemleri ile yönetilmesidir.
- Yaratıcı Ekonomi Vitamin Projesi: Proje yerel düzeyde yeni sektörlerin oluşturulması amacıyla "Yaratıcı Ekonomi Merkezlerinin" kurulmasını içermektedir. Sürdürülebilir yerel büyümenin gerçekleştirilmesi için kurulan her bir yerel işletmenin bir büyük firma tarafından desteklenmesi öngörülmekte ve böylece bilgi teknolojilerinin bütünleştirildiği yeni sektörlerin ortaya çıkması hedeflenmektedir.⁶¹⁷

Endüstri 4.0 bağlamında, Güney Kore'de endüstriyel teknolojinin geliştirilmesine ve ticarileştirilmesine son derece önem verilmektedir. Bu amaca yönelik olarak 1991 yılında "Teknoloji Geliştirme Kanunu" yürürlüğe girmiştir. Kanun ile Ar-Ge çalışmaları yapan firmalara tanınan vergi muafiyetleri, gümrük vergi indirimleri, Ar-Ge personeli için tanınan birtakım muafiyetler gibi teşvikler belirlenmiş ve bu teşvikler, Ar-Ge merkezi sayısının hızla artmasını sağlamıştır.⁶¹⁸

⁶¹⁷ Uluslararası Inbenzhap Endüstri 4.0 Platformu, Country Profile Korea, Benchmark-Bericht, Aralık 2015, s.3, Erişim:23.11.2020, https://www.inbenzhap.de/International/QR05_Laenderprofil_Suedkorea.pdf

⁶¹⁸ Güney Kore Endüstriyel Teknoloji Kurumu, "KOITA & Industrial R&D", Erişim:23.11.2020, <http://eng.koita.or.kr/RDIndicatorsLibrary/R&D%20Indicators/koitarnd.asp>

Böylece endüstriyel teknolojiyi temel alan politikaların özel sektöre yansımaları olarak ülkede bu alanda çalışan kamu-özel iş birliğine dayalı pek çok etkin kurum ve kuruluş ortaya çıkmıştır. Bunlardan başlıcaları şunlardır: Güney Kore Makine Endüstrisi Kuruluşu, Güney Kore Endüstriyel Teknoloji Kuruluşu, Güney Kore Teknoloji Geliştirme Enstitüsü, Güney Kore Akıllı Endüstrileşme Kuruluşu, Güney Kore Robot Endüstrisi Kuruluşu ve Güney Kore Robot Endüstrisinin Geliştirilmesi Enstitüsü. Bunlara ek olarak, uluslararası eğilimlere ve faaliyetlere etkili bir biçimde yanıt vermek ve yerelde geliştirilmiş düzenlemeleri standardize etmek amacıyla özel sektörde Akıllı Fabrika Standart Araştırma Konseyi kurulmuştur.⁶¹⁹ Bütün bunlar Güney Kore'nin Endüstri 4.0 atılımını kolaylaştıran gelişmelerdir. Ayrıca özel sektör tarafına bakılacak olursa, Samsung, Hyundai ve SK Telekom'u da içeren 7 büyük kuruluşun bir araya gelerek Yapay Zekâ Araştırma Enstitüsünü kurmuş olması önemli bir gelişmedir. Şirketlerin her biri yaklaşık 300 milyon dolar yatırım yapmış ve Devletin de destek vereceği bu Enstitü himayesinde AlphaGo'nun⁶²⁰ Güney Kore sürümünü geliştirmeyi amaçladıklarını açıklamışlardır.⁶²¹

Endüstride akıllı üretim süreçlerini başarıyla tamamlayan Güney Kore'de, Endüstri 4.0 bağlamında imalat sanayiinde inovasyon, temel olarak özel sektörün aktif rol aldığı ancak kamunun da önemli yönlendirmelerde bulunduğu uygulama odaklı bir yaklaşımdır. Devlet yönlendirmesinin odak noktasında KOBİ'lerin akıllı üretim teknolojilerini benimsemeleri yatmaktadır. Ülkedeki *chaebol*⁶²² denilen

⁶¹⁹ ABD Ticaret Bakanlığı Uluslararası Ticaret İdaresi, "Manufacturing Technology - Smart Factory".

⁶²⁰ Kökeni üç bin yıl öncesine kadar giden "Go" adlı oyunu oynayabilen ve profesyonel bir insan Go oyuncusunu, bir dünya Go şampiyonunu (Ekim 2015) yenen yapay zekâ temelli ilk bilgisayar programıdır. Program, Google DeepMind tarafından geliştirilmiştir. "Go" oyununun yanı sıra AlphaGo satranç ve shogi oynamayı da öğrenmiştir. (Kaynak: DeepMind İnternet Sitesi, "AlphaGo", Erişim:22.06.2022, <https://www.deepmind.com/research/highlighted-research/alphago>)

⁶²¹ Davutoğlu N.A., "Sanayi 4.0 Uygulamalarının Dünyadaki Ve Türkiye'deki Sektörler Açısından Detaylı Analizi", Uluslararası Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırma Dergisi, C:8, S:67, 2021, s.801, Erişim:29.06.2022, http://jshsr.org/Makaleler/528582653_23-8-67.2368-795-811.pdf

⁶²² Güney Kore'de, kalkınma sürecinde bazı aile şirketlerinin küresel marka olabilmesi ve ihracat yapan büyük şirketlere dönüşmesi için çeşitli teşvikler verilmiş, örneğin piyasadan daha düşük faizli kredi imkânı sunulmuş, şirketlerin büyümesine devlet tarafından katkı sağlanmıştır. Söz konusu şirketlere teşvik verilmesine 1970'lerin ortasında başlanmıştır. Bu şirketlere "chaebol" adı verilmiştir. Chaebol grubundaki şirketlerin belli başlılarının sayısı planlı kalkınma döneminde 40'ı geçmiştir. 2000'lere gelindiğinde bu şirketlerin en büyükleri LG, Samsung, Daewoo ve Hyundai olmuştur.

büyük firmalar hâlihazırda otomasyonda en üst düzeydedir. KOBİ'ler ise oldukça geri ve heterojen teknolojik donanımlara sahiptir. Söz konusu büyük firmaların otomasyon ve akıllı üretim teknolojilerini KOBİ'lere aktarmasına yönelik yoğun bir teşvik söz konusudur. Diğer bir deyişle Endüstri 4.0, yoğun olarak büyük firmaların yürüttüğü bir süreçtir ancak Devlet tarafından büyük firmalar da kullanılarak KOBİ'ler arasında yaygınlaştırmaya çalışılmaktadır. Amaç daha verimli ve daha güvenli bir üretime sahip olmaktır. Bu bağlamda üretimi daha verimli ve güçlü kılmak için, dijital ekonomi araçlarından faydalanarak firmaların sabit giderlerinin ve dış kaynak kullanımlarının düşürülmesinden geçmektedir.⁶²³

Bilgi teknolojisi, sensörler ve nano malzemelerdeki hızlı ilerlemelerin yanı sıra siber-fiziksel sistemlerin uygulanması, öncü üretim süreçlerinin maliyetlerini önemli ölçüde düşürmekte ve performansı artırmaktadır. Güney Kore'de Devlettten fon alarak akıllı fabrika işleten şirketler verimliliklerinin %25 arttığını, kusur oranlarının ise %27 azaldığını belirtmişlerdir.⁶²⁴ Bir örnek vermek gerekirse, Güney Koreli telekom firması KT tarafından geliştirilen akıllı fabrika robotu *Cobot*, Haziran 2020 itibarıyla yerel bir otomobil parça üreticisi olan Parkwon'un fabrikasında otomatik çözümler sunmaya başlamıştır. *Cobot*, fiziksel olarak zorlayıcı olan ve genellikle yaralanmalara neden olan yükleme, paketleme ve diğer tekrarlayan iş prosedürlerinin gerçekleştirilmesinde rol oynamaktadır. Böylece hurda ve kusur oranlarını da azaltmaktadır. *Cobot*'un devreye girmesinden sonra, Parkwon'un fabrikasında %39 daha fazla ürün işlenebilmesi söz konusudur. Bununla birlikte, *Cobot*'un üretim sürecinde elde ettiği verileri fabrika çalışanlarının uzaktan izlemesi ve kontrol etmesini sağlayan beşinci nesil internet ağı tüm fabrika boyunca hizmete açılmıştır.⁶²⁵

Güney Kore'nin Endüstri 4.0 stratejilerinin başında bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımını artırmak ve özellikle KOBİ'ler arasında yaygınlaştırmak gelmektedir. KOBİ'ler ve yeni kurulmuş firmalar endüstrideki dönüşüm için temel itici güç olarak görülmektedir.

⁶²³ Uluslararası İnbenzhap Endüstri 4.0 Platformu, Country Profile Korea, s.2.

⁶²⁴ ABD Ticaret Bakanlığı Uluslararası Ticaret İdaresi, "Manufacturing Technology - Smart Factory", Eylül 2019, Erişim:23.11.2020, <https://2016.export.gov/southkorea/doingbusinessinskorea/leadingsectorsforusexportsinvestment/manufacturingtechnology/index.asp>

⁶²⁵ The Korea Herald, "KT introduces smart factory robotic solution", 30 Haziran 2020, Erişim:21.10.2022, <https://www.koreaherald.com/view.php?ud=20200630000674>

Yeni girişimlerin finansman imkânlarının kolaylaştırılması yoluyla teşvik edilmesinin KOBİ'leri ve dolayısıyla tüm endüstri ekonomisini güçlendireceği öngörülmektedir. Devletin bu bağlamda KOBİ'lerin inovatif kapasitelerini artırmasına yönelik birçok düzenleyici reform girişimi olmuştur. MII 3.0 Stratejisi ile KOBİ'lerin ve yeni firmaların bu dönüşümdeki rolünün ve böylece ülkedeki toplam sanayi üretim potansiyelinin artırılması amaçlanmaktadır.⁶²⁶ Söz konusu amaca yönelik olarak Güney Kore'de etkin bir Ar-Ge teşvik sistemi uygulanmaktadır. Ar-Ge teşvikleri "Ar-Ge vergi kredisi"⁶²⁷ uygulaması üzerinden yürütülmektedir. Ar-Ge vergi teşviklerini de düzenleyen "Vergi Teşvikleri Sınırlandırma Kanunu" 1 Ocak 1999'da yürürlüğe konmuştur. Dolayısıyla vergi kredisi ülkede uzun yıllardır başarılı bir şekilde kullanılan bir araçtır.⁶²⁸ Ayrıca vergi kredi sistemindeki oranlar, alt/üst limit miktarları gibi uygulamalara yönelik düzenlemeler ihtiyaç halinde güncellenmektedir. En güncel reform 2021 yılında gerçekleştirilmiş ve vergi kredisinin kapsamı Güney Kore'nin "Yeni Düzen Ekonomi Programına" uygun şekilde artırılmıştır.⁶²⁹

Güney Kore'de teşvik sisteminin yanı sıra bir de mevcut Ar-Ge sisteminin kalitesinin ve verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu doğrultuda 2005 yılında "Ar-Ge Programlarının Performansının Değerlendirilmesi ve Yönetilmesi Hakkında Kanun" yürürlüğe girmiştir. Söz konusu Kanun, programların değerlendirilmesine odaklanmaktadır.⁶³⁰ Güney Kore'de, Ar-Ge projelerine ilişkin uygulama öncesi ve sonrasında iki ayrı kademede değerlendirme süreçleri bulunmaktadır. Kanunla belirlenmiş olan değerlendirme süreçleri şu şekildedir: i) Öz-değerlendirme (*self-evaluation*): Program hedeflerinin uygunluğu, program yönetim sisteminin kalitesi, performans ve başarı ile sonuçların değerlendirilmesi, ii) meta-de-

⁶²⁶ OECD, Better Policies Series - Korea: Policy priorities for a dynamic, inclusive and creative economy, s.5-7.

⁶²⁷ Vergi kredisi, yatırım yapan işletmenin, Ar-Ge harcamalarının belirli bir miktarının ödenecek olan vergi borcundan indirilmesi anlamına gelmektedir.

⁶²⁸ Ernst & Young, Worldwide R&D Incentives Reference Guide 2020, Temmuz 2020, s.312-316, Erişim:22.12.2020, https://www.ey.com/en_gl/tax-guides/worldwide-r-and-d-incentives-reference-guide-2020

⁶²⁹ OECD, Better Policies For Better Lives – Korea: R&D Tax Incentives, 2020, s.2, Erişim:15.02.2022, <https://www.oecd.org/sti/rd-tax-stats-korea.pdf>

⁶³⁰ Çağlar E., Toplam Faktör Verimliliğine Yönelik Politika ve Kurumsal Çerçevelerin Değerlendirilmesi: Almanya ve Güney Kore Vaka Analizleri, Mayıs 2017, s.34, Erişim:22.12.2020, <http://www.tr.undp.org/content/dam/turkey/UNDP-TR-TFP-CA-SE-REPORT.pdf>

ğerlendirme (meta-evaluation): Bütçe ve kaynak tahsis kararlarının değerlendirilmesi; öz-değerlendirmenin sonuçları; veri, kalite, yöntem açısından değerlendirilmesi, iii) bütçesi büyük programlar için spesifik, derinlemesine değerlendirmeler.⁶³¹ Bu değerlendirme süreçleri mevcut projelerin daha sağlıklı ilerlemesi ve gelecekteki projelerin daha iyi planlanmasını sağlamaktadır. Söz konusu süreçte Ar-Ge projelerinin finanse edilebilirliği, zamana yayılması, sunulan kamu desteğinin genel etkinliği gibi birçok nokta değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Bahse konu projelerin sahibi olan firmalar ve kurumlar bu konuda sorumlu olan Güney Kore Endüstriyel Teknoloji Değerlendirme Enstitüsü ile yakın bir ilişki içindedir.⁶³²

Tablo 19: Güney Kore İnovatif Platform Programının Çerçevesi, 2018

Temel Başlıklar	İçerikler
Dört Politika Talimatı	• Sosyal Sistemin İnovasyonu • Bilim ve Teknolojinin İnovasyonu • İnsan Kaynaklarının İnovasyonu • Endüstrilerin İnovasyonu
Üç Stratejik Yatırım Alanı	• Veri Ekonomisi (Blokzincir ve Paylaşım Ekonomisi) • Yapay Zekâ • Hidrojen Ekonomisi⁶³³
Sekiz Temel Endüstri Alanı	• Akıllı Fabrika • Akıllı Çiftlik • Akıllı Şehir • Geleceğin Araçları • Finans Teknolojisi • Yeni Enerjiler • Sağlık Sektöründe Biyoteknoloji • Dron

Kaynak: Kim S.S., Choi Y.S., "The Innovative Platform Programme in South Korea: Economic Policies in Innovation-Driven Growth", s.15.

⁶³¹ Çağlar E., Toplam Faktör Verimliliğine Yönelik Politika ve Kurumsal Çerçevelerin Değerlendirilmesi: Almanya ve Güney Kore Vaka Analizleri, s.34.

⁶³² OECD, Industry and Technology Policies in Korea, s.21-43.

⁶³³ "Hidrojen Ekonomisi", taşıtların ve elektrik dağıtım şebekesinin dengelenmesi için ihtiyaç duyulan enerjinin, hidrojen olarak depolandığı, varsayılan bir gelecek ekonomisidir. Hidrojenin elde edilmesi ve kullanılmasının yanı sıra ve daha önemli olarak ambalajlama, depolama, dağıtım ve taşıma konularını da içermektedir.

Giderek dijitalleşen dünyada, Güney Kore Devleti ekonomi politikalarını bilgi ve iletişim teknolojileri açısından küresel bir merkez olma amacına uygun olarak şekillendirmektedir. Bu doğrultuda, inovasyon odaklı büyüme politikalarının uygulanması için hükûmet, "İnovatif Platform Programı" (*Innovative Platform Programme*) adı altında bir çerçeve program benimsemiştir. Söz konusu Programda Endüstri 4.0 sürecine ilişkin öncelikli alanlar yer almakta ve yeni büyüme alanları yaratılarak Endüstri 4.0 sürecinin başarıyla takip edilmesi hedeflenmektedir.⁶³⁴ Tablo 19'da söz konusu programın temel çerçevesi verilmiştir.

Güney Kore Hükûmeti Ağustos 2018'de "İnovasyonla Büyümek" başlığını taşıyan bir yatırım planı açıklamıştır. Plana göre, inovasyon odaklı sekiz pilot projenin gerçekleştirilmesi ve platform ekonomisinin kurulması için 2019 yılında bir önceki yıla göre 2 trilyonluk artışla toplam 5 trilyon Kore wonunun harcanması öngörülmüştür. Bu tutarın 3,5 trilyonluk kısmı yukarıdaki tabloda yer alan sekiz adet pilot projeye ve 1,5 trilyonluk kısmı platform ekonomisine ayrılmıştır. Ayrıca, Hükûmetin 2020-2024 yılları için platform ekonomisine toplam 9-10 trilyon won yatırım yapması öngörülmüştür. Platform ekonomisinin oluşturulması dört temel proje ile somutlaştırılmıştır:

- Büyük veri platformunun oluşturulması: Hükûmetin büyük veri ve yapay zekâyı tanıtmaya, veri yönetimi güvenliğini sağlamak için blokzincir teknolojisini geliştirmeye ve paylaşım ekonomisini artırmaya odaklanması,
- Büyük Veride İşletmeler Arası Eşitsizliğin Azaltılması: Hükûmetin küçük işletmeleri büyük veri kullanmaya teşvik etmek ve ihracatçılar için dijital ticaret platformlarının geliştirilmesini desteklemek için mali destek sağlaması,
- Üretim, depolama, nakliye ve kullanıma kadar olan tüm süreçleri içeren bir hidrojen yakıt hücresi tedarik zinciri oluşturulması,
- Beş yıl içinde 10 bin kadar nitelikli iş gücü sağlayacak bir eğitim programının geliştirilmesi.⁶³⁵

⁶³⁴ Kim S.S., Choi Y.S., "The Innovative Platform Programme in South Korea: Economic Policies in Innovation-Driven Growth", s.13.

⁶³⁵ Güney Kore Ekonomi ve Finans Bakanlığı, "Growth through Innovation Investment Plan", 13 Ağustos 2018 Basın Bülteni, Erişim:23.11.2020, <http://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=4532>

Günümüzde tüm dünya ekonomisinde yoğun etki gösteren COVID-19 salgını Güney Kore ekonomi politikalarının şekillenmesinde de önemli değişikliklere yol açmıştır. Hükûmet tarafından Kore'nin Yeni Düzeni (*Korean New Deal*) isimli yeni bir ekonomik program açıklanmıştır. Söz konusu Program, COVID-19 salgınının toplumlarda ve dolayısıyla hükûmetlerde yaratmış olduğu düşünme ve yaşam biçimi değişiklikleri üzerinden şekillendirilmiştir. Uzaktan hizmet sunma modellerinin sıradanlaştığı ve internet üzerinden hizmet veren büyük şirketlerin yükselişe geçtiği salgın günlerinde ortaya çıkan bu ekonomik programda, daha çok dijital ekonomiye yatırım yapılmasına odaklanılmıştır. Programda ayrıca önemle vurgulanan diğer iki konu başlığı ise çevreye duyarlı politikaların benimsenmesi ile daha güçlü güvenlik alanlarının oluşturulmasıdır. Program kapsamında 2025 yılına kadar toplam 160,0 trilyon won yatırım yapılması ve 1,9 milyon istihdam yaratılması öngörülmektedir.⁶³⁶ Yeni Düzen Programının 3 ana başlığından biri olan ve Endüstri 4.0 süreciyle ilgili "Dijital Yeni Düzen" kapsamında 2020-2025 yılları arasında 58,2 trilyon won yatırım yapılması ve 903 bin yeni istihdam yaratılması hedeflenmektedir. Dijital yeni düzenin temel projeleri ise şu şekildedir:

- Ekonomi genelinde büyük veri ağları oluşturulması, hem endüstrinin hem de devlet yönetiminin 5G ve yapay zekâya dayalı hale getirilmesi,
- Eğitim altyapısının tamamen dijital hale getirilmesi,
- Uzaktan sağlık hizmetleri sunulması amacıyla 18 adet akıllı hastane kurulması ve KOBİ'lere uzaktan hizmet sunma konusunda gerekli desteğin sağlanması,
- Akıllı şehirler ve akıllı endüstriyel kompleksler kurulması,
- Siber güvenlik alanlarında dijital yönetim sistemlerinin tanıtılması,
- Lojistik hizmetlerinin dijital hale getirilmesi, akıllı lojistik merkezlerinin kurulması.

Güney Kore Hükûmeti söz konusu ekonomi programını duyurmasından 1 yıl sonra birtakım yeni düzenlemeler ve güncellemeler ile

⁶³⁶ Güney Kore Ekonomi ve Finans Bakanlığı, "Government Announces Overview of Korean New Deal", 14 Temmuz 2020 Basın Bülteni, Erişim:23.11.2020, <https://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=4940>

“Yeni Düzen 2.0” (*New Deal 2.0*) isimli yeni bir ekonomi programı açıklamıştır. İlk olarak 2025 yılına kadar yapılması planlanan yatırım miktarı 160 trilyon wondan 220 trilyona çıkarılmıştır. Ayrıca 2022 yılı için bu Programa ilişkin ek bütçe talebinde bulunulmuştur. Bununla birlikte blokzincir, bulut programlama, metaverse (sanal evren) gibi teknolojileri içeren “Dijital Yeni Düzen”’in ve düşük karbon salımını destekleyen “Yeşil Yeni Düzen”’in kapsamı genişletilmiştir. Ayrıca insan kaynaklarına yapılan yatırımları ve sosyal güvenlik programlarını geliştirmeyi hedefleyen “İnsan Kaynakları Yeni Düzeni” ve yerel yönetimleri güçlendirmeyi planlayan “Yerel Yeni Düzen” isimli yeni başlıklar eklenmiştir.⁶³⁷

Yeni Düzen Programlarından da anlaşılacağı üzere Güney Kore Hükûmeti, önceliğini COVID-19 salgınının kontrolüne ve hızlı ekonomik toparlanmaya kaydırmak zorunda olmasına rağmen, endüstriyel inovasyonu takip etmekten vazgeçmemiş ve bu süreçte söz konusu alanı destekleyici pek çok karara imza atmıştır.

Ayrıca, Ülkede Endüstri 4.0 sürecine verilen önemi değerlendirmek açısından hükûmetin bütçe kanun tekliflerinde belirlediği harcama hedeflerine bakmak anlamlı olacaktır. 2020 yılı Bütçe Kanun teklifinde belirlenen 5 anahtar politikanın birincisi inovasyonu güçlendirmek ve Ar-Ge bütçesini bir önceki yılın 20,5 trilyon won seviyesinden 24,2 trilyon wona çıkarmaktır. Söz konusu teklif ile inovasyonu güçlendirmek amacıyla büyük veri, ağlar ve yapay zekâ sektörlerinin altyapıları ile çip teknolojisi, biyosağlık ve geleceğin arabaları sektörlerine 4,7 trilyon won yatırım yapılması hedeflenmiştir. Bununla birlikte geleceğin endüstrilerinde istihdam edilmek üzere kalifiye iş gücü yaratılmasına da 0,6 trilyon won ayrılması söz konusudur. 2022 yılına kadar ulaşılacak 30 bin akıllı fabrika hedefi için akıllı fabrikalara 0,4 trilyon won yatırım yapılması, akıllı üretim için veri merkezleri kurulması ve 2 akıllı üretim kompleksi daha kurularak toplam 4 adet akıllı üretim kompleksine kavuşulması Bütçe Teklifinin diğer önemli hedeflerindendir.⁶³⁸ 2021 yılı Bütçe Kanun teklifinin ise

⁶³⁷ Güney Kore Ekonomi ve Finans Bakanlığı, “Government Announces Korean New Deal 2.0”, 14 Temmuz 2021 Basın Bülteni, Erişim:27.02.2022, <https://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=5173>

⁶³⁸ Güney Kore Ekonomi ve Finans Bakanlığı “2020 Budget Proposal”, 30 Ağustos 2019 Basın Bülteni, Erişim:23.02.2022, <http://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=4745>

salgın koşullarında hazırlandığı göz önünde bulundurulmalıdır. Buna rağmen, bu teklifte de inovasyon odaklı endüstrileşme sürecine verilen önemi görmek mümkündür. Teklife göre 555,8 trilyon won ekonomik toparlanma ve Güney Kore'nin Yeni Düzen Programı için ayrılmış bulunmaktadır. Ar-Ge harcamaları açısından bakılacak olursa, %12,3'lük bir artış gösteren söz konusu harcamaların 24,2 trilyon wondan 27,2 trilyon wona yükseltilmesi öngörülmüştür. 2021 bütçesi için öngörülen altı adet temel politika içinde yer alan "geleceğin büyüme motorlarının geliştirilmesi" hedefi aynı zamanda Endüstri 4.0 sürecine hizmet eden adımlar içermektedir ve bu alana 7,1 trilyon won ayrılması söz konusudur. Bu hedefin önemli adımlarından bazıları yapay zekâ ve büyük veri gibi yüksek teknoloji alanlarda yatırımların artırılması; çip teknolojisi, geleceğin araçları ve biyosafalık sektörlerinden oluşan BIG3 isimli projenin desteklenmesi ve 5G kullanımının teşvik edilmesi şeklindedir.⁶³⁹ Son olarak 2022 yılı Bütçe Kanun teklifine bakıldığında yine Endüstri 4.0 sürecini güçlendirici adımlar içeren hedefler konulduğu görülmektedir. Öncelikle Ar-Ge harcamalarına ayrılan miktar %8,8 artırılarak 29,8 trilyon wona çıkarılmaktadır. Bunun yanı sıra Teklifte; Güney Kore'nin Yeni Düzen 2.0 Programına 33,7 trilyon won ayrılması, bu miktarın 9,3 trilyonluk kısmının metaverse vb. teknolojilere; 13,3 trilyonluk kısmının akıllı ve yeşil şehirlere ve 11 trilyonluk kısmının insan kaynaklarının gelişimine harcanması öngörülmektedir. Ayrıca yaklaşık 2 trilyon won da yapay zekâ, uzay araştırmaları, çip teknolojisi vb. 20 adet yeni teknoloji alanındaki eğitime ayrılmış durumdadır.⁶⁴⁰

Tablo 20: Güney Kore'de Ar-Ge Bütçesi (trilyon Kore wonu)

2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
13,7	18,9	19,1	19,5	19,7	20,5	24,2	27,2	29,8

Not: Tablodaki tutarlara fonlar da dâhildir.

Kaynak: Güney Kore Bilim ve Teknoloji Bakanlığı Ulusal Bilim ve Teknoloji Bilgi Merkezi, "R&D Budget (Gov't)", Erişim: 25.02.2022, <https://www.ntis.go.kr/en/GpExpenditureGov.do>.

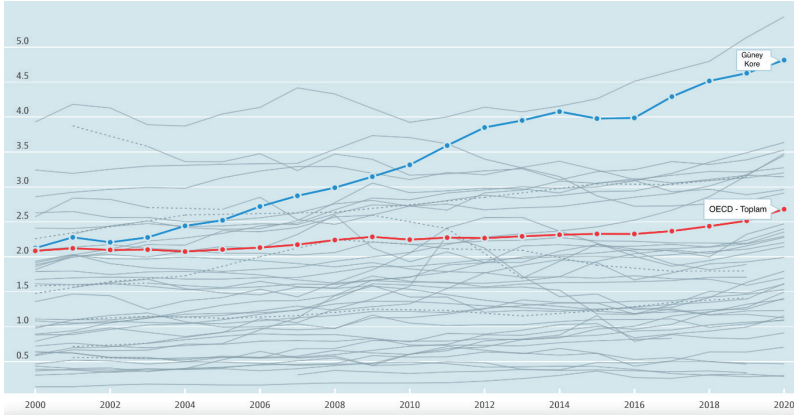
⁶³⁹ Güney Kore Ekonomi ve Finans Bakanlığı, "2021 Budget Proposal", 1 Eylül 2020 Basın Bülteni, Erişim:23.02.2022, <https://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=4967>

⁶⁴⁰ Güney Kore Ekonomi ve Finans Bakanlığı, "2022 Budget Proposal", 31 Ağustos 2021 Basın Bülteni, Erişim:27.02.2022, <https://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=5200>

2.4.3. Endüstri 4.0 Sürecinde Güney Kore'nin Dünyadaki Konumu ve Bazı İstatistiksel Veriler

Güney Kore'de Yaratıcı Ekonomi Girişimi çerçevesinde, mevcut endüstrilerin gelişimini hızlandırmak için bilim, teknoloji ve bilişim teknolojilerinin bir araya getirilmesi ile yazılım ve internete dayalı yeni endüstriler geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Her iki durumda da Ar-Ge çalışmalarına ağırlık verilmesi gerektiği açıktır.⁶⁴¹ Sonuç olarak Ar-Ge, firmalarda yeni üretim süreçlerinin ve ürünlerin ortaya çıkması için çaba gösterilen yenilikçi ve sistematik çalışmalardır. OECD ülkeleri arasında bütçesinden Ar-Ge harcamalarına en yüksek pay ayıran ülkelerden biri Güney Kore'dir. Öyle ki OECD'nin 2020 yılı verilerine göre Ar-Ge harcamalarının GSYH'ye oranına bakıldığında Güney Kore %4,8'lik oranla ikinci sırada yer almaktadır. Söz konusu oranın OECD ortalaması %2,7'dir. Aşağıdaki şekilde de görülebileceği üzere, bundan daha dikkat çekici olan şey ise Güney Kore'nin bu oranı son yıllarda hiçbir ülkede görülmemiş bir hızla yükseltmiş olmasıdır. Nitekim 2020 yılında söz konusu oran %4,8 olmuştur.⁶⁴²

Şekil 29: OECD Ülkelerinde Ar-Ge Harcamalarının GSYH İçindeki Payı, 2000-2020 (%)



Kaynak: OECD, "Gross domestic spending on R&D".

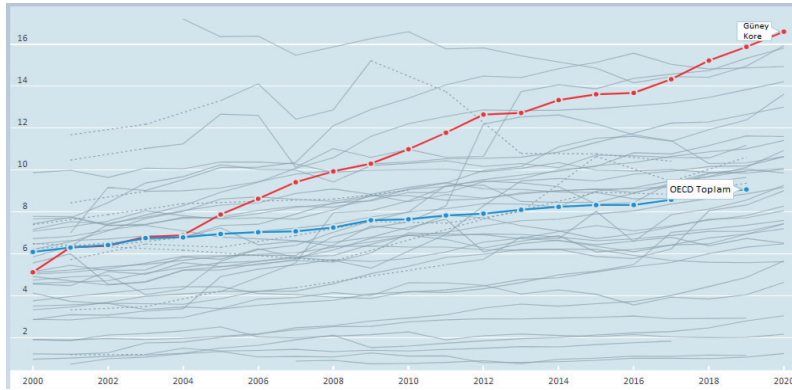
⁶⁴¹ OECD, Better Policies Series - Korea: Policy priorities for a dynamic, inclusive and creative economy, s.7.

⁶⁴² OECD, "Gross domestic spending on R&D", Erişim:29.06.2022, <https://data.oecd.org/rd/gross-domestic-spending-on-r-d.htm>

Güney Kore’de Devletin politikaları 1980’lerden itibaren ciddi ölçüde Ar-Ge ve inovasyon stratejisine yoğunlaşmıştır. Bu noktada yalnızca kamu sektörünün Ar-Ge’ye yönelik harcamalar yapmasıyla sınırlı kalınmamış, özel sektörün de Ar-Ge ve inovasyon politikasına dâhil edilmesiyle özel sektör işletmeleri uluslararası rekabette önemli bir aktör haline gelmiştir. Öyle ki toplam Ar-Ge harcamalarında özel sektörün payı 1971’de %32 iken 1987’de bu oran %80’lere çıkmış ve söz konusu eğilim günümüze kadar devam etmiştir.⁶⁴³ Özel sektörün payı güncel olarak %80’ler seviyesini korumaktadır. Ülkedeki *chaebol* adı verilen büyük işletmeler, Ar-Ge, patent, endüstriyel marka gibi bilimsel ve teknolojik çalışmaların büyük çoğunluğunu yürütmektedir.⁶⁴⁴ Bununla birlikte bilimsel çalışmalar sebebiyle daha yüksek bir paya sahip olması beklenen üniversitelerin payı sınırlı kalmıştır.

Benzer bir artışı Güney Kore’deki araştırmacı sayısında da görmek mümkündür. Ülkedeki araştırmacı sayısı son 20 yılda önemli bir ivme kazanmış, OECD ortalamasının üzerine çıkmıştır. 2019 yılında OECD ülkelerinde her bin çalışan başına 9,07 araştırmacı düşmekte iken, Güney Kore’de 2020 yılı için bu oran 16,6’dır.

Şekil 30: OECD Ülkelerinde Araştırmacı Sayıları, 2000-2020



Kaynak: OECD, "Researchers", Erişim:29.06.2022, <https://data.oecd.org/rd/researchers.htm>

⁶⁴³ Hassink R., "Towards Regionally Embedded Innovation Support Systems in South Korea?", Case Studies from Kyongbuk-Taegu and Kyonggi, Urban Studies, C:38, S:8, Temmuz 2001, s.1380, Erişim:10.01.2021, https://www.researchgate.net/publication/248973591_Towards_Regionally_Embedded_Innovation_Support_Systems_in_South_Korea_Case_Studies_from_Kyongbuk-Taegu_and_Kyonggi

⁶⁴⁴ Oğuztürk B.S., "Güney Kore'nin Kalkınmasında Inovasyonun Rolü", Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, C:3, S:5, Yaz 2011, s.51, Erişim:10.01.2021, <https://core.ac.uk/download/pdf/148739686.pdf>

Endüstri 4.0 kapsamında artan Ar-Ge harcamaları ile beraber Güney Kore'nin patent, tasarım ve marka sayılarında da önemli bir artış olduğu görülmektedir. Aşağıdaki tabloya bakıldığında, 2009-2020 dönemi patent sayılarını görmek mümkündür.

Tablo 21: Güney Kore'de Patent, Marka ve Endüstriyel Tasarım Sayıları

Yıl	Patent	Ticari Marka (sınıf sayısı)	Endüstriyel Tasarım (tasarım sayısı)
2009	170.233	168.917	77.201
2010	178.654	182.219	85.853
2015	238.185	347.354	138.749
2016	233.801	324.325	130.743
2017	226.614	296.951	121.840
2018	232.020	350.330	114.337
2019	248.427	375.152	156.334
2020	260.610	430.411	134.112

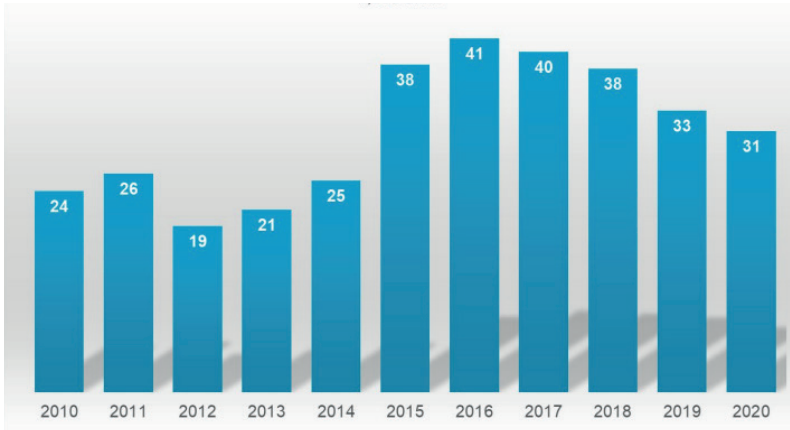
Kaynak: Dünya Fikri Mülkiyet Teşkilatı (WIPO), "Korea Country Profile", Ekim 2020, Erişim:18.02.2022, https://www.wipo.int/ipstats/en/statistics/country_profile/profile.jsp?code=KR

Güney Kore Devleti, 1970'lerin ortalarından itibaren dış ticaret konusunda "önce ihracat" politikası uygulamayı seçmiştir. Önceleri gemi yapımı, otomobil, petro-kimya, makine ve elektronik sektörlerini de kapsayan birtakım sektörler stratejik sektörler olarak belirlenmiş ve bu sektörlerin uluslararası piyasada rekabet edebilecek konuma gelmesi ve ihracatın belli bir yüzdesinin bu sektörlerce gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Ancak zamanla bu yaklaşım terk edilerek Ar-Ge destekleri gibi daha işlevsel teşvik sistemleri benimsenmiştir. Bu süreçte ihracat yapan firmalara çok çeşitli ve etkin teşvik programları uygulanmaya başlanmıştır. Ayrıca ithalatın sınırlandırılması yoluna gidilerek yerli şirketlerin korunması amaçlanmıştır. Ancak korumacılık amacıyla konulan sınırlamalar pahalı *know-how'a* ulaşmayı da engellemeyecek şekilde dizayn edilmiştir. Devlet, teknoloji ithal eden yerel şirketlerin Ar-Ge faaliyetlerini destekleyerek teknolojik becerilerini yükseltmelerini amaçlamıştır. Söz konusu politika tercihleri, yerel şirketlerin dünyada teknoloji alanında önde gelen büyük şirketlerle iş birliği içinde olabilmelerini ve bu şirketlerin inovatif uygulamalarını gözlemleyerek kendi teknolojik altyapılarını

geliştirebilmelerini sağlamıştır.⁶⁴⁵ Güney Kore’de yüksek teknolojili ürünler, ihracat içinde oldukça yüksek bir paya sahiptir. Dünya Bankası verilerine göre, 2020 yılında Güney Kore’nin yüksek teknolojili ürün ihracat tutarının tüm mal ihracatı içindeki payı %36 seviyesindedir.⁶⁴⁶

Uluslararası Robotik Federasyonu tarafından 2021 yılında yayımlanan rapora göre 2020 yılı itibarıyla dünya çapında 3 milyon endüstriyel robot fabrikalarda kullanılmaktadır. Raporda, 2020 yılı yeni endüstriyel robot kurulumlarının sayısı 384 bin olarak açıklanmıştır. Aşağıdaki şekilde de görülebileceği üzere 2020 yılında robot kurulumunda 4. sırada yer alan Güney Kore’de yaklaşık 31 bin endüstriyel robot kurulumu gerçekleşmiştir. 2020 yılı için bu kurulumların yaklaşık 8 bin kadarı yarı iletken, LCD, LED teknolojilerinde ve 7,6 bin kadarı diğer elektrik/elektronik sektörlerinde gerçekleştirilmiştir.

Şekil 31: Güney Kore’de Endüstriyel Robot Kurulum Miktarı
(bin adet)



Kaynak: Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), World Robotics 2021, s.21.

⁶⁴⁵ Çetin R., Karadaş S., "Han Nehri Mucizesi: Ekonomik Kalkınmada Güney Kore Örneği", İstanbul İktisat Dergisi, S:68, Ocak 2018, s.107, Erişim:09.01.2021, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/495990>

⁶⁴⁶ Dünya Bankası, "High-technology exports, Korea Republic", Erişim:18.02.2022, https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.TECH.MF.ZS?end=2020&locations=KR&most_recent_value_desc=true&start=2008

Ayrıca IFR'nin imalat sanayiinde her 10 bin çalışana düşen robot sayısı üzerinden hesapladığı robot yoğunluğu istatistiklerine göre 2020 itibarıyla dünya ortalaması 126 robot iken, Güney Kore 932 robot ile ilk sırada yer almaktadır.⁶⁴⁷

2.5. Japonya

Japonya, ABD ve Çin'in ardından dünyanın en büyük üçüncü ekonomisidir. Dünya Bankası verilerine göre, 2020 itibarıyla 126 milyon nüfusu olan Japonya'nın GSYH'si 5,1 trilyon dolar, kişi başına millî geliri 40,2 bin dolardır. Millî gelir içinde hizmetler sektörünün payı %69, sanayi sektörünün payı %30 ve tarım sektörünün payı %1'dir.⁶⁴⁸ Ekonomik yapısını ihracat üzerine kurmuş olan Japonya dış ticaret fazlası veren bir ülkedir. Ekonomide Ar-Ge faaliyetlerine ağırlık veren Japonya, yüksek teknolojlili ürünleri sayesinde küresel ölçekte yüksek rekabet gücüne sahiptir.⁶⁴⁹ Nitekim, 2019 yılı Küresel Rekabetçilik Endeksi sıralamasında Japonya 141 ülke arasında 6. sırada yer almıştır.⁶⁵⁰ Japonya'da mal ve hizmet ihracatı GSYH'nin yaklaşık %18'i, sanayi ürünleri ihracatı içinde yüksek teknolojlili ürünlerin payı ise %17'dir.⁶⁵¹ Japonya'nın Ar-Ge harcamaları 2020 itibarıyla yaklaşık 174 milyar dolar olup GSYH'nin %3,3'üne karşılık gelmektedir.⁶⁵² 2018 yılı itibarıyla bir milyon kişiye düşen Ar-Ge araştırmacısı sayısı 5.331, bir milyon kişiye düşen Ar-Ge teknisyeni sayısı ise 524'tür.⁶⁵³

Başta otomotiv, mekanik mühendislik, elektronik ve kimya endüstrisi olmak üzere çeşitli teknolojik endüstrilerde dünyanın önde gelen ülkelerinden olan Japonya, teknolojiye verdiği önemi ve yaptığı yatırımı, Endüstri 4.0 olarak adlandırılan yeni üretim modeline de taşımıştır. Almanya gibi güçlü bir endüstriyel altyapıya sahip olan

⁶⁴⁷ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), World Robotics 2021, s.21,22,25.

⁶⁴⁸ Dünya Bankası, "World Development Indicators", Erişim:09.02.2022, <https://data-bank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&country=JPN> ;

Dünya Bankası, "World Development Indicators: Structure of Output".

⁶⁴⁹ T.C. Ticaret Bakanlığı, Japonya Ülke Raporu, 2020, s.4-7, Erişim:09.11.2020, <https://ticaret.gov.tr/data/5efb27c313b876a618413658/%C3%9CLKE%20PROF%-C4%B0L%C4%B0.pdf>

⁶⁵⁰ Dünya Ekonomik Forumu (WEF), The Global Competitiveness Report 2019, s.306.

⁶⁵¹ Dünya Bankası, "World Development Indicators".

⁶⁵² OECD, "Main Science and Technology Indicators", Erişim:17.06.2022, https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB#

⁶⁵³ Dünya Bankası, "World Development Indicators".

Japonya, üretimde dijitalleşme sürecini başta imalat sanayii olmak üzere çeşitli sektörlerde etkinleştirmeye başlamış ve Endüstri 4.0 açısından diğer Asya ülkelerine kıyasla daha ileri bir seviyeye ulaşmıştır.⁶⁵⁴ Aşağıdaki alt başlıklarda Japonya'nın Endüstri 4.0 stratejisi genel hatlarıyla açıklanmış, Endüstri 4.0 üretim sürecine ilişkin önemli girişimlerden örnekler verilmiş ve çeşitli istatistiklerle Japonya'nın Endüstri 4.0 sürecinde dünyadaki yeri ortaya konmuştur.

2.5.1. Japonya'nın Endüstri 4.0 Stratejisi

Japonya, teknolojik ilerleme alanında Endüstri 4.0 sürecine özel önem atfetmiş, bu alandaki hedeflerine politika metinlerinde yer vermiştir. Devlet bu alanda özel sektörü yönlendirmiş ve teşvik etmiştir. Dönemin Japonya Başbakanı Shinzo Abe,⁶⁵⁵ Haziran 2013'te yaptığı bir konuşmada Japonya'nın bilgi teknolojileri alanında dünya lideri olmasını hedeflediklerini belirtmiştir. Shinzo Abe, teknoloji yanlısı bu tutumunu ilerleyen yıllarda da devam ettirmiş, yaptığı açıklamalarda Japon şirketlerin büyük ölçekli fabrikalarda robot kullanımını teşvik etmesi ve robot teknolojisinin ekonominin ve toplumun her alanına dâhil edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.⁶⁵⁶ Bu yaklaşım, Endüstri 4.0 çerçevesinde teknolojik ilerleme hedefinin devletin en üst kademesinden destek gördüğünü, hatta süreci hızlandırıcı bir çabanın varlığını göstermektedir.

Fabrika otomasyonu ve robot kullanımında dünyanın lider ülkelerinden biri olan Japonya, Endüstri 4.0 sürecine 2015 yılından itibaren ağırlık vermiştir. Nitekim Japon Hükûmeti ortaya koyduğu "Yeniden Canlandırma Stratejisi Reformu 2015" (*Revitalization Strategy Reform 2015*) kapsamında Endüstri 4.0'ın yeni büyüme stratejilerinden biri olduğunu resmî olarak açıklamıştır. Hükûmet, Endüstri 4.0 sürecinde Devletin çeşitli stratejiler oluşturacağını, yol haritası

⁶⁵⁴ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), *Industrie 4.0 in a Global Context* s.45.

⁶⁵⁵ Aralık 2012 - Eylül 2020 arasında Başbakanlık yapan Shinzo Abe, görevde bulunduğu sürede teknolojiye önem vermiş, yürüttüğü politikalara Endüstri 4.0'ın bileşenlerini dâhil etmiş, gerek ulusal gerekse uluslararası platformlarda yaptığı açıklamalarda bu konulara sıkça yer vermiştir.

⁶⁵⁶ InnovatorsMag İnternet Sitesi, "Japan is Leading the Robotics Revolution", 17 Ağustos 2016, Erişim:10.11.2020, <https://www.innovatorsmag.com/japans-leads-the-robotics-revolution/>

belirlemek ve somut politikalar geliştirmek suretiyle süreçte aktif rol oynayacağını duyurmuştur.⁶⁵⁷

Japon Devleti, 1995 yılında kabul edilen Bilim ve Teknoloji Temel Kanunu uyarınca, beş yılda bir “Bilim ve Teknoloji Temel Planı” (*Science and Technology Basic Plan*) hazırlamaktadır. Bu Plan, ülkenin bilim ve teknoloji politikalarını geniş kapsamlı ve sistematik olarak belirleyen belgedir. 2016-2020 dönemini kapsayan 5. Bilim ve Teknoloji Temel Planı Ocak 2016’da kabul edilmiştir.⁶⁵⁸ 5. Planda; teknoloji alanında nesnelerin interneti ve yapay zekânın önemi vurgulanmış, Ar-Ge alanında özel sektör ile akademik kesim arasındaki iş birliğinin geliştirilmesi ve açık bilim⁶⁵⁹ (*open science*) seviyesinin artırılması gerektiği belirtilmiş, gençlerin araştırma faaliyetlerine ve doktora düzeyinde eğitime daha fazla yönlendirilmesi ihtiyacına yer verilmiştir.⁶⁶⁰

Planda ayrıca, bilgi ve iletişim teknolojileri ile nesnelerin interneti öncelikli politika hedefleri olarak gösterilmiş, bu alanda Almanya’nın “Endüstri 4.0” (*Industry 4.0*), ABD’nin “İleri İmalat Ortaklığı” (*Advanced Manufacturing Partnership*) ve Çin’in “MIC 2025” (*Made in China 2025*) projelerine de ismen yer verilmiştir. Devletin politika metinlerinde diğer ülke projelerine dahi yer vermesi, Endüstri 4.0 sürecinde gelişmiş ülkeleri de yakından takip ettiğini göstermektedir. Japonya söz konusu politikalar doğrultusunda, bir takım sayısal hedefler de belirlemiştir. Ar-Ge harcamalarının GSYH’nin %4’ü seviyesine getirilmesi, kadın araştırmacı oranının %30’a yükseltilmesi; üniversite, araştırma enstitüsü ve ticari şirketlerdeki araştırmacı sayı-

⁶⁵⁷ Sakong M., “The Progress of the Fourth Industrial Revolution in Japan and Its Implications”, KIET Industrial Economic Review, C:22, S:2, Mart-Nisan 2017, s.37, Erişim:10.11.2020, http://kiet.re.kr/part/sDownload.jsp?s_idx=45026

⁶⁵⁸ Japonya Eğitim, Kültür, Spor, Bilim ve Teknoloji Bakanlığı, “Science and Technology Basic Plan”, Erişim:11.11.2020, https://www.mext.go.jp/en/policy/science_technology/lawandplan/title01/detail01/1375311.htm

⁶⁵⁹ Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişim; bilginin üretilme, kaydedilme ve erişim biçimlerini önemli ölçüde etkilemiştir. Üretilen bilginin kamuya bedelsiz paylaşımı, verimli ve yeniden kullanımı gereksinimi, dünyada “açık bilim” kavramını doğurmuştur. Açık bilim kısaca, araştırmacıların ortaya koyduğu çalışmaların açık hale getirilmesidir. Bir başka deyişle, bilimsel literatürün finansal, yasal ve teknik engeller olmaksızın erişilebilir, okunabilir, kaydedilebilir, kopyalanabilir, yazdırılabilir, taranabilir, yazılıma veri olarak aktarılabilir ve her türlü yasal amaç için kullanılabilir olmasını ifade etmektedir.

⁶⁶⁰ Japonya Bakanlar Kurulu (The Cabinet Office), Report on The 5th Science and Technology Basic Plan, Aralık 2015, s.3,5,6, Erişim:11.11.2020, https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5basicplan_en.pdf

sının 10 binden 12 bine çıkarılması, şirketlerin üniversitelerdeki araştırma projelerine yönelik yatırımlarının 39 milyar Japon yeninden 80 milyar yene yükseltilmesi bu hedeflerden biridir.⁶⁶¹

6. Plan, Mart 2021’de yayımlanmıştır. Daha önce “Bilim ve Teknoloji Temel Planı” adıyla çıkarılan Plan, yapılan bir değişiklikle 6. Plan-dan itibaren “Bilim, Teknoloji ve İnovasyon Temel Planı” olarak çıkarılmaya başlanmıştır.⁶⁶² Bu değişiklik, yeni topluma geçiş sürecinde, inovatif insan kaynağının güçlendirilmesi ve inovatif gelişmelere verilen önemin artırılması ile gerekçelendirilmiştir.⁶⁶³ 6. Planda, Endüstri 4.0 ve Toplum 5.0’ın gerçekleştirilmesinde nesnelerin interneti ve yapay zekânın en temel unsurlar olduğu vurgulanmıştır. Planda, hem küresel sorunların çözümüne katkı sunmada hem de ulusal sistemlerin reformu için dijitalleşmenin teşvik edilmesinde, veri kullanımının artırılması ve yapay zekânın geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu doğrultuda; büyük veri ve yapay zekâdan faydalanarak siber dünya altyapısının geliştirilmesi, nesnelerin interneti toplumunu kurabilmek için siber-fiziksel güvenliğin sağlanması, otonom arabaların üretilmesi ve akıllı biyoendüstriler ile akıllı lojistik hizmetlerin geliştirilmesi gibi çeşitli konular öncelikli Ar-Ge hedefleri olarak ortaya konmuştur.⁶⁶⁴

6. Planda, önceden belirlenmiş bazı hedeflere yönelik gelişmelere de değinilmiştir. Örneğin 2018 itibarıyla şirketlerin üniversitelerdeki araştırma projelerine yönelik yatırımlarının 88 milyar yene yükseldiği, 2019’da Ar-Ge harcamalarının GSYH’ye oranının %3,5’e yaklaştığı, 2019 itibarıyla özel şirketler de dâhil olmak üzere kadın araştırmacı oranının %16,9’a yükseldiği belirtilmiştir.⁶⁶⁵

⁶⁶¹ Tillvaxtanalys Internet Sitesi, Japan’s 5th Science and Technology Basic Plan (2016-2020), s.3-8, Erişim:11.11.2020, <https://www.tillvaxtanalys.se/download/18.62dd45451715a00666f169a1/1586366153339/Japans%20fem%C3%A5rsplan.pdf> ;

Japonya Bakanlar Kurulu (The Cabinet Office), Report on The 5th Science and Technology Basic Plan, s.1,13.

⁶⁶² Japonya Bakanlar Kurulu (The Cabinet Office), Science, Technology and Innovation Basic Plan, Mart 2021, Erişim:14.02.2022, https://www8.cao.go.jp/cstp/english/sti_basic_plan.pdf

⁶⁶³ Open Access Government Internet Sitesi, “Japan’s 6th Science, Technology and Innovation Basic Plan”, 22 Eylül 2021, Erişim:16.02.2002, <https://www.openaccessgovernment.org/japans-6th-science-technology-and-innovation-basic-plan/120486/>

⁶⁶⁴ Japonya Bakanlar Kurulu (The Cabinet Office), Science, Technology and Innovation Basic Plan, s.16,17,81,90.

⁶⁶⁵ Japonya Bakanlar Kurulu (The Cabinet Office), Science, Technology and Innovation Basic Plan, s.54,69,82.

Japon Hükûmeti tarafından Endüstri 4.0'ın dâhil edildiği bir diğer politika metni, "İnovatif Endüstriyel Yapı Gelecek Vizyonu" (*Future Vision of Innovative Industrial Structure*) adlı rapordur. Nisan 2016'da yayımlanan ve yeni bir yol haritası niteliğindeki söz konusu Raporda; veri kullanımını teşvik etmek için teknolojik çevrelerin yeniden organize edilmesi, istihdam sisteminde esnekliğin artırılması, kurumsal düzeyde insan kaynaklarının geliştirilmesi, inovasyonun hızlandırılması ve bu doğrultuda finansman kapasitesinin güçlendirilmesi gibi çeşitli stratejik hedefler belirlenmiştir. Raporda; sağlık, medikal hizmetler, mobilite/hareketlilik (*mobility*), imalat, lojistik, tarım, güvenlik ve akıllı şehirler gibi alanlar öncelikli alanlar olarak belirlenmiştir.⁶⁶⁶

Japonya Endüstri 4.0'ı; imalat sanayii, sağlık, tarım ve lojistik gibi sektörlerde rekabet gücünü artırmak ve pazar yaratmak için bir fırsat olarak görmektedir. Bu anlayış doğrultusunda Endüstri 4.0 süreci, kamu ve özel sektör iş birliği ile yürütülmektedir. Nitekim Japon Devleti, detayları bir sonraki başlıkta açıklandığı üzere, bazı endüstriyel kuruluş ve ağlarda özel şirketlerle birlikte çalışmaktadır. Dolayısıyla Devletin Endüstri 4.0 açısından düzenleyici otorite olmaktan öte, çeşitli faaliyetlerle sürecin bilfiil içinde yer alan bir yaklaşımı benimsediği görülmektedir. Endüstri 4.0 sürecinde devlet kademesinde en geniş yetki ve sorumluluk Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığına verilmiştir.⁶⁶⁷ Bakanlığın uygulamalarından birine örnek olarak, yeni endüstri yapısının detaylı olarak açıklandığı "2030'a Doğru Gelecek Vizyonu" (*Future Vision Towards 2030*) adlı plan verilebilir. Planda; akıllı tedarik zincirleri, mobilite ve sağlık hizmetleri öncelikli alanlar olarak belirlenmiştir. Endüstri 4.0 bakımından diğer bakanlıklar da çeşitli plan ve programlarda kendilerini ilgilendiren konularda faaliyetlerde bulunmaktadır.⁶⁶⁸

Japonya'da Endüstri 4.0'ın unsurları arasında en çok önem verilen konular; yapay zekâ, nesnelerin interneti, büyük veri ve robotik olarak belirlenmiştir. Devlet söz konusu dört alanda inovasyonu teşvik

⁶⁶⁶ Sakong M., "The Progress of the Fourth Industrial Revolution in Japan and Its Implications", s.46.

⁶⁶⁷ Sakong M., "The Progress of the Fourth Industrial Revolution in Japan and Its Implications", s.37.

⁶⁶⁸ Kinoshita M., Japan on The New Industrial Revolution (NIR): Direction and Its Global Implication For Inclusive and Sustainable Industrial Development, Tokyo Üniversitesi, Mart 2019, s.5. Erişim:12.11.2020, <http://www.pp.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2016/02/51178026.pdf>

etmekte ve bu sürece KOBİ'leri de dâhil etmektedir.⁶⁶⁹ Japonya'daki toplam KOBİ sayısı yaklaşık 3,8 milyon olup bu sayı ülkedeki tüm şirketlerin %99,7'sine karşılık gelmektedir. İstihdamın yaklaşık %70'i de yine KOBİ'ler tarafından sağlanmaktadır. KOBİ'ler içinde imalat sanayii şirketlerinin payı %11 civarındadır. Bu nedenle Japonya, KOBİ'leri ülke ekonomisi için hayati önemde görmektedir.⁶⁷⁰ KOBİ'lere Endüstri 4.0 özelinden bakıldığında, teknoloji alanındaki küçük şirketler, büyüklere kıyasla daha inovatif ve yenilikleri hayata geçirme açısından daha çevik bulunmaktadır.⁶⁷¹

Japonya, ileri imalat teknolojilerinin yaygınlaştırılması için teknoloji alanındaki bilgi ve çözümlerin açık olmasını ifade eden piyasa şeffaflığından yana bir tutum sergilemektedir.⁶⁷² Bu yaklaşım doğrultusunda; yapay zekâ, nesnelerin interneti, büyük veri ve robotik alanlarında yapılan inovatif araştırma ve çeşitli çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular KOBİ'lerle paylaşılmaktadır. Nitekim yapılan bir araştırmada, ülkedeki şirketlerin %52'sinin, nesnelerin interneti teknolojisinin birkaç yıl içinde ürün ve hizmetleri değiştireceğinin farkında olduğu tespit edilmiştir.⁶⁷³

Japon Devleti, Endüstri 4.0 sürecine katkı sunmaları için çeşitli bakanlıklara sorumluluklar yüklemiş, bunun yanı sıra bazı yeni kuruluş ve organizasyonlar da oluşturmuştur. Örneğin Başbakanın talimatı doğrultusunda, 2016 yılında "Yapay Zekâ Teknolojisi Strateji Konseyi" (*AI Technology Strategy Council*) kurulmuştur. Bu Konseyin kuruluş amacı, stratejiler belirleyerek tüm ülkedeki yapay zekâ çalışmaları için bir nevi kontrol kulesi işlevi görmektir. Konseyin kuruluş sürecindeki bir toplantısına Başbakan bizzat katılmış ve burada yaptığı konuşmada Endüstri 4.0 sürecinde yapay zekânın Japonya için en önemli alan olduğunu vurgulamıştır. Konsey, yapay zekâ politikalarının belirlenmesine yönelik çalışmaları; Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı, İçişleri ve Haberleşme Bakanlığı ve Eğitim, Kültür,

⁶⁶⁹ Sakong M., "The Progress of the Fourth Industrial Revolution in Japan and Its Implications", s.37,38.

⁶⁷⁰ Japonya KOBİ'leri Destekleme Ajansı (SME Support Japan), "About Us", Erişim:13.11.2020, <https://www.smrj.go.jp/english/about/>

⁶⁷¹ The Economist, SMEs in Japan: A New Growth Driver?, 2010, s.18, Erişim:13.11.2020, http://viewswire.eiu.com/report_dl.asp?mode=fi&fi=1227698307.PDF

⁶⁷² Prause M., Challenges of Industry 4.0 Technology Adoption for SMEs: The Case of Japan, C:11, S:20, Ekim 2019, s.8, Erişim:12.11.2020, <https://ideas.repec.org/a/gam/jsusta/v11y2019i20p5807-d278259.html>

⁶⁷³ Sakong M., "The Progress of the Fourth Industrial Revolution in Japan and Its Implications", s.37,38.

Spor, Bilim ve Teknoloji Bakanlığı ile birlikte yürütmekte, akademik kuruluşlardan ve iş dünyasından görüş almaktadır.⁶⁷⁴ Konsey, Mart 2017’de “Yapay Zekâ Teknoloji Stratejisini”⁶⁷⁵ (*Artificial Intelligence Technology Strategy*) hazırlamıştır. Söz konusu Strateji Belgesinde yapay zekâ alanındaki öncelikli konular ve sektörler açıklanmıştır.⁶⁷⁶

Endüstri 4.0’la ilgili bir diğer birim, Başbakanlık bünyesinde kurulan “Geleceğe Yatırım Komisyonu”dur (*Future Investment Committee*). Bu Komisyon da bakanlıklarla iş birliği içinde çalışmaktadır.⁶⁷⁷ Geleceğe Yatırım Komisyonu; dijital piyasalarda rekabetin geliştirilmesi, inovasyonda *start-up* şirketlere yatırım yapılması, KOBİ’lerin verimliliğinin artırılması ve 5G teknolojisinin teşvik edilmesi gibi amaçlarla faaliyetler yürütmekte ve sektör temsilcileriyle konferanslar düzenlemektedir.⁶⁷⁸

Japonya, Endüstri 4.0’a ilişkin teknolojiler arasında en çok yapay zekâyı odaklanmıştır. Daha önce değinildiği üzere Yapay Zekâ Teknolojisi Strateji Konseyinin kurulması ve Yapay Zekâ Teknoloji Stratejisinin hazırlanması gibi gelişmelerin ardından, Haziran 2018’de Japon Hükûmeti, yapay zekânın, Entegre İnovasyon Stratejisinin resmî olarak parçası olduğunu açıklamıştır.⁶⁷⁹

Japonya’da yapay zekâ üzerine çalışmalar hem kamu hem de özel sektör tarafından yapılmaktadır. Yapay zekâda Devlet Ar-Ge çalışmalarına öncülük ederken, özel sektör yeni iş modellerinin geliştirilmesine ağırlık vermektedir. Devlet yapay zekâ alanındaki çalışmalarda son yıllarda beyin araştırmalarına odaklanmıştır. Bununla birlikte Japonya’nın yapay zekâ araştırmalarına ayırabildiği bütçe

⁶⁷⁴ Sakong M., “The Progress of the Fourth Industrial Revolution in Japan and Its Implications”, s.44,45.

⁶⁷⁵ Yeni Enerji ve Endüstriyel Teknoloji Geliştirme Örgütü (The New Energy and Industrial Technology Development Organization), Artificial Intelligence Technology Strategy, Mart 2017, Erişim:12.11.2020, <https://www.nedo.go.jp/content/100865202.pdf>

⁶⁷⁶ Future of Life Institute, “AI Policy: Japan”, Erişim:12.11.2020, <https://futureoflife.org/ai-policy-japan/?cn-reloaded=1>

⁶⁷⁷ Sakong M., “The Progress of the Fourth Industrial Revolution in Japan and Its Implications”, s.44,48.

⁶⁷⁸ Japonya Başbakanlığı, 34. Geleceğe Yatırım Konferansı, Aralık 2019, Erişim:12.11.2020, <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/dai34/gijiyousi.pdf> (Japonca olan metin, çeviri programı marifetiyle İngilizce diline çevrilerek okunmuştur.)

⁶⁷⁹ Future of Life Institute, “AI Policy: Japan”.

rakiplerinden ABD'ye kıyasla sınırlıdır. Nitekim 2010'lu yılların ortalarında ABD'nin yapay zekâ araştırmaları için devlet bütçesinden ayırdığı tutar, Japonya'nın ayırdığının 10 katından fazladır. Bununla birlikte Japon Devleti, 2016-2025 yıllarını kapsayan 10 yıllık dönem için, bütçede Ar-Ge'ye 100 milyar yenlik yatırım hedefi koymuştur. Japonya'da kamunun yanı sıra bazı özel şirketler de yapay zekâ üzerine araştırma faaliyetleri yürütmektedir. Örneğin Toyota 2016 yılında ABD'de "Yapay Zekâ Araştırma Enstitüsü" kurmuş, otonom (sürücüsüz) araçlar üzerine araştırmalara başlamış, ayrıca Stanford ve Massachusetts Institute of Technology gibi seçkin üniversitelerle anlaşma yaparak yapay zekâ laboratuvarları kurmuştur.⁶⁸⁰

Yine yapay zekâ ve bilgi teknolojileriyle ilgili olarak, "Stratejik Bilgi ve İletişim Ar-Ge Teşviki" (*Strategic Information and Communications R&D Promotion*) adı altında yeni bir program başlatılmıştır. Program İçişleri ve Haberleşme Bakanlığı tarafından 2019 yılında kamuoyuna duyurulmuştur. Programda yapay zekâ alanındaki özel şirketlerin üniversitelerle, çeşitli bağımsız kuruluşlarla ve yerel yönetimlerle iş birliği içinde çalışması teşvik edilmektedir. Japonya'da bu Program kapsamında 1,5 milyar yenlik bir fon ayrılmıştır.⁶⁸¹ Daha spesifik teknolojik alanların hedeflendiği benzer bir programda ise 5 milyar yenlik bütçe ayrılmıştır. Bu programda özellikle KOBİ'lerin ve *start-up* şirketlerin teknolojiye uyum sağlaması hedeflenmiş, alan olarak nesnelerin internetine odaklanılmıştır. Programda inovasyon merkezlerinin (*innovation hubs*) kurulması amacıyla teşvikler verilmesi planlanmıştır.⁶⁸²

Japonya'nın Endüstri 4.0 stratejisiyle ilgili değinilmesi gereken bir diğer husus, ülkenin Endüstri 4.0 sürecini Toplum 5.0 süreciyle birlikte yürütmesidir. Japonya bu açıdan diğer ülkelerden ayrılmaktadır.

⁶⁸⁰ Sakong M., "The Progress of the Fourth Industrial Revolution in Japan and Its Implications", s.39,40.

⁶⁸¹ OECD, ICT Investments in OECD Countries and Partner Economies: Trends, Policies and Evaluation, OECD Digital Economy Papers, S:280, Nisan 2019, s.26, Erişim:14.11.2020, https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-digital-economy-papers_20716826 ;

Japonya İçişleri ve Haberleşme Bakanlığı, "Public Appeal for FY2020 R&D Themes Under International Collaborative Strategic Information and Communications R&D Promotion Programme", 19 Kasım 2019, Erişim:14.11.2020, https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/eng/pressrelease/2019/11/19_01.html

⁶⁸² OECD, ICT Investments in OECD Countries and Partner Economies: Trends, Policies and Evaluation, s.26.

Almanya Endüstri 4.0'ın, Japonya ise Toplum 5.0'in doğduğu ülke olarak kabul edilmektedir. Toplum 5.0, Endüstri 4.0 teknolojilerinin üzerine kurulan toplum modelini ifade etmektedir. Toplum 5.0 tarihsel süreç içinde; avcı toplum (Toplum 1.0), tarım toplumu (Toplum 2.0), endüstriyel toplum (Toplum 3.0) ve bilgi toplumunun (Toplum 4.0) ardından gelen toplum olarak değerlendirilmektedir. Toplum 5.0, siber dünya ve fiziksel dünyanın bütünleştiği "süper akıllı toplum" olarak da tanımlanmaktadır. Japonya için Toplum 5.0, içinde bulunan dijital dönüşüm çağına ve Endüstri 4.0'a hem birey hem de toplum olarak uyum sağlamayı ifade etmektedir. Bu doğrultuda Toplum 5.0 kavramı, Bilim ve Teknoloji Temel Planları başta olmak üzere Japon Devletinin strateji belgelerine de dâhil edilmiştir. Söz konusu belgelerde, Toplum 5.0'a geçiş sürecinde dijital dönüşümün hızlandırılacağı; nesnelerin interneti, yapay zekâ ve kuantum teknolojilerinin geliştirileceği; Ar-Ge kapasitesinin artırılacağı ve çevre dostu akıllı şehirlerin kurulacağı açıklanmıştır.⁶⁸³ Bir başka deyişle Japonya, Toplum 5.0 ile siber dünyayla fiziksel dünyanın birlikte işler hale getirilmesini ve nesnelerin interneti, büyük veri, yapay zekâ ve robotların sadece endüstrilere değil sosyal hayata da dâhil edilerek çeşitli sosyal sorunları çözebilen bir toplum olmayı amaçlamaktadır. Japonya'da, Toplum 5.0 çerçevesinde dönüştürülecek öncelikli alanlar; sağlık, lojistik, ulaşım, haberleşme, finans ve kentsel altyapı olarak öngörülmektedir.⁶⁸⁴

Japon Devleti, yukarıda detayları açıklanan Endüstri 4.0 sürecini sadece özel sektörle değil, diğer ülkelerle de iş birliği içinde yürütmektedir. Bu doğrultuda Devlet, Japon şirketlerin yazılımda üstün olması nedeniyle ABD'li şirketlerle ve donanımda üstün olması nedeniyle Alman şirketlerle iş birliği yapabilmesi için destek olmakta ve aracılık etmektedir.⁶⁸⁵ Bu yaklaşımın en önemli nedeni, teknoloji şirketlerinin ülke sınırları dışından da öğrenebilmesini teşvik etmek,

⁶⁸³ Japonya Bakanlar Kurulu (The Cabinet Office), Science, Technology and Innovation Basic Plan, s.11,16,22 ; Japonya İş Federasyonu (Keidanren), Toward Realization of The New Economy and Society, Nisan 2016, s.4-12, Erişim:11.11.2020, http://www.keidanren.or.jp/en/policy/2016/029_outline.pdf ; Tillvaxtanalys Internet Sitesi, Japan's 5th Science and Technology Basic Plan (2016-2020), s.8.

⁶⁸⁴ Türkiye'nin Endüstri 4.0 Platformu, "Endüstri 4.0'dan Toplum 5.0'a", Erişim:20.11.2020, <https://www.endustri40.com/endustri-4-0dan-toplum-5-0a/> ; Japonya İş Federasyonu (Keidanren), Toward Realization of The New Economy and Society, s.4-12.

⁶⁸⁵ Sakong M., "The Progress of the Fourth Industrial Revolution in Japan and Its Implications", s.48.

böylece Galapagos Sendromundan⁶⁸⁶ kaçınmaktır.⁶⁸⁷ Aşağıda, Endüstri 4.0 bakımından önemli görülen ve bazılarını kamunun da paydaş olarak katıldığı çeşitli girişim ve projeler hakkında bilgi verilmiştir.

2.5.2. Japonya’da Endüstri 4.0 Sürecine İlişkin Önemli Girişim, Proje ve Ortaklıklar

Japonya’da 2010’lu yıllarda Endüstri 4.0 sürecine ilişkin birçok girişim ve ortaklık kurulmuştur. Söz konusu girişimlerin önemli bir kısmı, Devletin Endüstri 4.0’a ağırlık verdiği 2015 yılında oluşturulmuştur. Bu süreçte kilometre taşı niteliğindeki bazı önemli girişim ve projeler kronolojik olarak şu şekilde sıralanabilir:⁶⁸⁸

Kontrol Sistemi Güvenlik Merkezi: Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı ile Fujitsu ve Mitsubishi şirketlerinin iş birliğiyle Mart 2012’de “Kontrol Sistemi Güvenlik Merkezi” (*Control System Security Center*) kurulmuştur. Araştırma ve Geliştirme Ortaklığı Kanunu (*Act on Research and Development Partnership*) uyarınca ve Bakanlık onayı ile kurulan, kâr amacı gütmeyen bu girişimin amacı teknoloji alanında iş birliği içinde araştırmalar yapmaktır. Kontrol Sistemi Güvenlik Merkezinin temel konu alanı, günümüzde giderek artan siber saldırılara karşı güvenlik teknolojilerini geliştirmektir. Bu girişime daha sonra Sony, Toshiba ve Panasonic gibi büyük şirketler de dâhil olmuş ve 2021 itibarıyla üye şirket sayısı 24’e çıkmıştır. Girişimi kuruluş aşamasında devlet finanse etmiş, sonrasında ise üye şirketler hem Ar-Ge masraflarını hem araştırma sonuçlarını ortaklık havuzunda birbirleriyle paylaşmıştır. Endüstri 4.0 sürecinin henüz başında

⁶⁸⁶ Galapagos Sendromu; Japon kökenli bir kavram olup, kişinin kendini tek ve farklı görmesi nedeniyle, diğerleriyle iletişim ve etkileşimi azaltması halinde, bütünün parçası olmaktan çıkarak geriye düşmesini ifade etmektedir. Kavram, ana kıtadan uzak ve izole olan Galapagos Adalarından türetilmiştir. Bu kavramın Japon kültüründe özel bir yeri vardır. Kavram sadece bireylerin özel hayatları için değil, profesyonel iş hayatı için de kullanılmaktadır. Japon iş dünyası; izole olmayı ve diğer ülkeleri takip etmemeyi Galapagos Sendromu olarak nitelendirmektedir. Örneğin, Japonya’nın çeşitli markalarla cep telefonu piyasasının ilk dönemlerinde varken, daha sonra akıllı telefonlar döneminde gücünü kaybetmesi, dış dünyayı takip etmemesine bağlanmaktadır. Dolayısıyla Japon Devleti, Endüstri 4.0’ın bileşenlerinde geri kalmamak için diğer ülkelerdeki gelişmeleri takip etmeyi elzem görmektedir.

⁶⁸⁷ Sakong M., “The Progress of the Fourth Industrial Revolution in Japan and Its Implications”, s.48.

⁶⁸⁸ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), Industrie 4.0 in a Global Context, s.45-47.

birçok firmanın bir araya gelmesiyle oluşturulan Kuruluş, iş birliği açısından sürecin geleceği için önemli bir örnek teşkil etmiştir.⁶⁸⁹

e-F@ctory Alliance: Mitsubishi, Atos Origin ve Biko adlı şirketlerin iş birliği ile Ocak 2014'te kurulmuştur. e-F@ctory Alliance; endüstriyel bileşen üreticileri, sistem entegratörleri ve yazılım sağlayıcılar gibi çeşitli alanlardan üye firmaların oluşturduğu bir birlik ağıdır. Bu birlik ağı, çeşitli müşteri gereksinimleri için esnek ve optimize edilmiş çözümler sunmaktadır. e-F@ctory Alliance'da temel amaç fabrika otomasyonu, yani üretimde insan iş gücünü azaltıp dijital kontrol sistemlerine geçmektir. Kuruluşundan sonra e-F@ctory Alliance'a Japonya dışından şirketler de dâhil olmuş, günümüzde ağına üye şirket sayısı dünya genelinde 300'ü aşmıştır.⁶⁹⁰

Endüstri 4.1J: Phoenix Contact Development, Yaskawa Electric ve Koyo Electronics adlı şirketlerin iş birliği ile Mart 2015'te kurulmuştur. Endüstri 4.1J, Endüstri 4.0 ile otomatik sanal metrolojinin⁶⁹¹ (*automatic virtual metrology*) birlikte uygulanmasıdır. Endüstri 4.1J'nin Endüstri 4.0'dan farkı ise, Endüstri 4.1J'nin sıfır hatalı üretimi hedeflemesidir. Endüstri 4.1J'nin odaklandığı en önemli nokta, bulut tabanlı verinin güvenli bir şekilde işlenmesidir.⁶⁹²

Robot Devrimi Girişimi: Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı ile Mitsubishi ve Kubota şirketlerinin iş birliğinde Mayıs 2015'te "Robot Devrimi Girişimi" (*Robot Revolution Initiative - RRI*) kurulmuştur. RRI, hem Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı üzerinden Devlet tarafından hem de özel sektör tarafından desteklenmektedir. RRI, Endüstri 4.0 sürecinde Japonya'nın en önemli girişimlerinden biridir. Daha sonra birçok şirketin de katıldığı RRI'ya Japonya'da özel bir önem verilmekte, RRI ülkenin geleceği açısından çok kritik görülmektedir. Otomotiv, tarım, sağlık, altyapı, eğitim ve araştırma (üniversiteler ve araştırma enstitüleri) gibi çok çeşitli sektörlerden 200'den fazla şirket RRI'ya katılmış, Intel ve IBM gibi Japonya dışından şirketler de bu girişime iştirak etmiştir. RRI'nın temel faaliyet alanı yeni nesil

⁶⁸⁹ Kontrol Sistemi Güvenlik Merkezi (Control System Security Center), "About Our Center: Overview", Erişim:10.02.2022, <http://www.css-center.or.jp/en/aboutus/>; ISA Secure İnternet Sitesi, Introducing the Activities of Control System Security Center, 2014, s.8, Erişim:18.11.2020, [https://www.isasecure.org/en-US/Documents/Articles-and-Technical-Papers/201403about_CSSC_ppt_en-pdf-\(1\)](https://www.isasecure.org/en-US/Documents/Articles-and-Technical-Papers/201403about_CSSC_ppt_en-pdf-(1))

⁶⁹⁰ Mitsubishi Electric, "e-F@ctory Alliance", Erişim:16.11.2020, <https://eu3a.mitsubishielectric.com/fa/en/solutions/efactory/alliance>

⁶⁹¹ Metroloji, çalışma alanı ölçüm olan bilim dalıdır.

⁶⁹² IEEE Explore Digital Library, "Industry 4.1 for Wheel Machining Automation", Erişim:17.11.2020, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7378846>

endüstriyel robot teknolojisidir. Amacı, Japonya’da robotik imalatın geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasıdır. RRI’nın üç ana çalışma grubu bulunmaktadır. Bunlar; nesnelerin internetinde inovasyon, robot kullanımını teşvik ve robot inovasyonu çalışma gruplarıdır. RRI, alanındaki uluslararası organizasyonlarla da iş birliği içindedir.⁶⁹³

Görsel 13: Japonya’daki Bir Mağazada Çalıştırılan Müşteri Görevlisi Robot

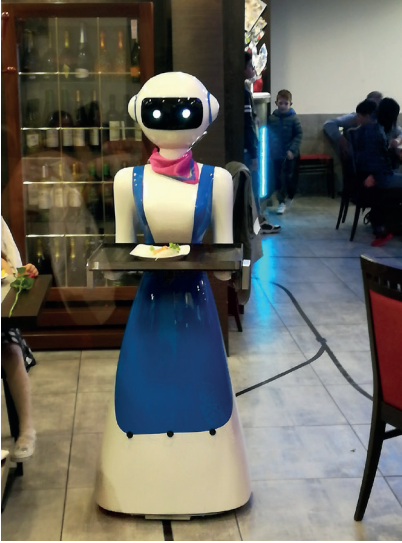


Ses ve görüntüleri tanımayı ve yeni şeyler öğrenmeyi mümkün kılan robot programlama teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, RRI ve benzeri girişimlerin faaliyetlerinin, Japonya’da yaşanan nüfusa yardımcı olması ve azalan iş gücüne katkı sunması beklenmektedir. RRI, sadece üretim alanına özgü değil, hizmetler sektörüne yönelik olarak da çalışmalar yapmaktadır. Alışveriş merkezlerine gelen ziyaretçileri karşılayan ve yönlendiren robotlarla, restoran ve kafelerde garsonluk hizmeti sunan robotlar, bu alanda en çok dikkat çeken örneklerdir.⁶⁹⁴ Japonya’da üretilen ve dünyanın çeşitli ülkelerinde kullanılmaya başlanan, müşterilerle konuşan, onların sorularını cevaplandıran ve onları yönlendiren Robot Pepper Görsel 13’te gösterilmiştir.

⁶⁹³ Business Sweden Tokyo, Seizing Industry 4.0 Opportunities in Japan, Nisan 2017, s.6, Erişim: 19.12.2019, https://www.business-sweden.se/contentassets/4f2db52d-bae148a78e626486d64e7c2b/seizing_industry_4_0_in_japan.pdf

⁶⁹⁴ Schneider T., Hong G.H., Le A.V., “Land of Rising Robots”, Finance and Development, C:55, S:2, Haziran 2018, s.30, Erişim:17.11.2020, <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2018/06/japan-labor-force-artificial-intelligence-and-robots/schneider.pdf>

Görsel 14: İtalya’da Kullanılan İlk Garson Robotlar



Endüstriyel Değer Zinciri Girişimi: Toyota, Mitsubishi ve Panasonic iş birliğinde Haziran 2015’te “Endüstriyel Değer Zinciri Girişimi” (*Industrial Value Chain Initiative - IVI*) başlatılmıştır. IVI’ya KOBİ’ler de dâhil olmak üzere çok sayıda şirket üye olmuş, aynı zamanda akademik kurumlar da destek vermiştir. IVI’da temel hedef, Endüstri 4.0 üretim sürecinde standartların esnetilebilmesidir. Bir başka deyişle, üretimde verimliliğin artırılması ve ürünlerin müşterinin talebine özgü şekilde farklılaştırılarak üretilmesi amaçlanmaktadır.⁶⁹⁵

Temelde üzerinde çalışılan konu, yazılımların ve veri tabanlarının kullanılması suretiyle bilgi ve iletişim teknolojileri ile imalat sürecinin birleştirilmesidir. Bu sayede oluşturulacak yeni üretim tipi, akıllı imalat (*smart manufacturing*) olarak tanımlanmıştır. IVI bünyesinde 25 akıllı imalat senaryosu/konsepti tasarlanmıştır. Örneğin “nesnelerin interneti tarafından çalıştırılan insan merkezli üretim” ve “küresel ve bölgesel olarak birbirine bağlanmış fabrikalarda değişikliklere tepkiler” bu senaryolardan ikisidir.⁶⁹⁶

Nesnelerin İnterneti Hızlandırma Konsorsiyumu: Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı ile İçişleri ve Haberleşme Bakanlığının girişimleriyle Ekim 2015’te elektronik alanında faaliyet gösteren Japon Hitachi şirketi ve Keio Üniversitesi tarafından “Nesnelerin İnterneti

⁶⁹⁵ Industrial Value Chain Initiative (IVI), “About Us - What is IVI?”, Erişim:18.11.2020, <https://iv-i.org/wp/en/> ; Industrial Value Chain Initiative (IVI), “Membership List”, Erişim:18.11.2020, <https://iv-i.org/wp/en/>

⁶⁹⁶ Information Technology and Innovation Foundation (ITIF), Why Manufacturing Digitalization Matters and How Countries Are Supporting It, Nisan 2018, s.40,41, Erişim:18.11.2020, <http://www2.itif.org/2018-manufacturing-digitalization.pdf>

Hızlandırma Konsorsiyumu" (*Internet of Things Acceleration Consortium*) kurulmuştur. Konsorsiyum özünde iş dünyasını, devleti ve akademik dünyayı birleştiren bir yapıdır. Nitekim Konsorsiyumun tepe yönetiminde akademisyenler bulunmaktadır. Konsorsiyum, gerek devlet destekli olması gerekse faaliyet alanları bakımından Japonya'nın Endüstri 4.0 sürecindeki en önemli organizasyonlardan biri olarak görülmektedir.⁶⁹⁷ Konsorsiyumun temel amacı, sanayide nesnelerin internetini büyük veri ve yapay zekâ ile birleştirmektir. Ayrıca uzun vadede, nesnelerin interneti alanında Japonya'yı yatırım merkezi haline getirmek hedeflenmiştir. Konsorsiyum, nesnelerin internetiyle ilgili teknolojilerin geliştirilmesi, standartlaştırılması ve bunların tanıtılması, bölgesel sorunlara nesnelerin internetine dayalı çözümler üretilmesi gibi faaliyetler üzerinde çalışmaktadır.⁶⁹⁸ Çok sayıda Japon şirketin de dâhil olduğu Konsorsiyuma, ABD'li Apple ve Amazon, Alman Bosch ve Siemens gibi Japonya dışından çok büyük şirketler de üye olmuştur. Konsorsiyum, zaman zaman RRI gibi büyük girişimlerle de iş birliği içinde hareket etmektedir.⁶⁹⁹

Uçan Araba Projeleri: Uçan araba projeleri, sadece bir ürün grubu olmaktan ziyade bu alandaki yoğun Ar-Ge çalışmaları nedeniyle üretim teknolojilerinin gelişmesine ivme kazandıran bir alan olduğundan önemli görülmektedir. Japonya, uçan arabaların kullanıma girmesi konusunda dünyada ilk ülke olmayı hedeflemektedir. Yapay zekâ ve nesnelerin interneti gibi Endüstri 4.0 teknolojilerini, ulaştırma alanında da somut bir şekilde hayata geçirmeye başlayan Japonya'da, çeşitli uçan araba proje ve programları üzerinde çalışılmaktadır. Bunlardan biri olan "Uçan Arabalar Programı" Ağustos 2018'de kamuoyuna tanıtılmıştır. Devletin de destek verdiği programda, Japon şirketler Yamato ve Subaru ile Japonya dışından Boeing, Airbus ve Uber Air gibi büyük şirketler birlikte çalışmaktadır. Programın amacı; uçan arabalar geliştirmek, bu alanda Japon

⁶⁹⁷ Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), *Industrie 4.0 in a Global Context*, s.45,46.

⁶⁹⁸ Internet of Things Acceleration Consortium, "IoT Acceleration Consortium", Erişim:18.11.2020, <http://www.iotac.jp/en/>

⁶⁹⁹ Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı, *Toward Acceleration of IoT*, Haziran 2016, s.1,4, Erişim:18.11.2020, <https://www.iiconsortium.org/japan-forum/160603-IoT-Acceleration-Lab.pdf>

Devleti ile birlikte hukuki düzenlemeler üzerinde çalışmak ve en kısa zamanda test uçuşlarına başlamaktır.⁷⁰⁰

Japonya’da uçan taşıt ve arabalar üretmek üzere kurulan şirketler de bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi Tokyo merkezli SkyDrive adlı şirkettir. Aslında uçan taşıtlarla ilgili faaliyetlerine bir grup gönüllü uzman ile 2012 yılında kurumsal olmayan bir yapıda Cartivator adıyla başlamış olan bu organizasyon, 2018 yılında şirketleşmiştir. Şirketin temel faaliyet alanı kargo hizmeti yapan dron ve uçan taşıtlar üretmektir. SkyDrive, faaliyetlerinin finansmanını Japonya Kalkınma Bankasından ve yatırımcılarından sağlamaktadır. SkyDrive, ürettiği kargo dronların testlerini 2019’da tamamlamış ve satışına 2020 yılında başlamıştır. Ayrıca ürettiği “SD-03” adlı uçan taşıtı 2020 yazında test etmiştir. Söz konusu test uçuşu önemi nedeniyle dünya genelinde büyük ilgi görmüştür. Sürücüyle yönlendirilen, tek koltuklu, dikey kalkış ve dikey iniş yapabilen bu elektrikli uçan taşıt, 150 metre irtifada 50 km/s hızla uçabilmektedir.⁷⁰¹ SkyDrive’in hedefi, 2030’a kadar uçan taşıtları akıllı uçan arabalara dönüştürmektir. Henüz tasarım aşamasında olan ve yapay zekâ teknolojisinin kullanılabacağı bu akıllı arabaların, hem klasik otomobiller gibi karayolunda seyretmesi hem de otonom bir şekilde, yani kendi kendine uçuşması, dokunmatik ve akıllı ön camı sayesinde havadaki diğer araçları ve yerdeki binaları tanıyabilmesi öngörülmektedir.⁷⁰²

2.5.3. Endüstri 4.0 Sürecinde Japonya’nın Dünyadaki Konumu ve Bazı İstatistiksel Veriler

Japonya, Endüstri 4.0’ın birçok teknolojisinde dünyanın önde gelen ülkelerinden biri olmuştur. Örneğin robot yoğunluğu, Endüstri 4.0 ile ilişkili patent sayısı, robotik şirket sayısı, Ar-Ge yoğunluğu ve

⁷⁰⁰ Bloomberg, “Japan is Getting Serious About Flying Cars”, 22 Ocak 2019, Erişim:17.11.2020, <https://www.bloomberg.com/news/features/2019-01-22/the-birthplace-of-the-walkman-wants-to-be-first-in-flying-cars>

⁷⁰¹ New York Times Gazetesi, “Humans Take a Step Closer to Flying Cars”, 29 Ağustos 2020, Erişim:19.11.2020, <https://www.nytimes.com/2020/08/29/world/asia/japan-flying-car.html> ; Electric VTOL News İnternet Sitesi, “SkyDrive SD-03”, Erişim:19.11.2020, <https://evtol.news/skydrive-sd-03>

⁷⁰² SkyDrive İnternet Sitesi, “SkyDrive Demo Flight in The 2020 Summer”, Erişim:19.11.2020, <http://en.skydrive2020.com/> ; SkyDrive İnternet Sitesi, “Move Forward Step by Step”, Erişim:19.11.2020, <http://en.skydrive2020.com/timeline/>

bulut bilişim gibi bazı alanlarda Japonya, dünyada ilk üç ülke arasında yer almaktadır.

Uluslararası Robotik Federasyonu verilerine göre, Japonya 2020 itibarıyla imalat sanayi robot yoğunluğunda dünyada üçüncü sırada yer almıştır. Söz konusu yılda her 10 bin çalışana düşen robot sayısı; Güney Kore’de 932, Singapur’da 605 ve Japonya’da 390’dır. 2020’de yeni kurulan endüstriyel robot sayısı bakımından Japonya, dünyada Çin’in ardından ikinci sırada yer almıştır. Söz konusu yılda Japon sanayiinde kurulan endüstriyel robot sayısı yaklaşık 39 bin adettir.⁷⁰³ Japonya’da kurulan robot sayısı 2019’a kıyasla 2020 yılında düşse de 2014-2019 döneminde yılda ortalama %11 oranında artmıştır.⁷⁰⁴

Robot üretimini öncelikli alanlardan biri olarak gören Japonya, 2019’da olduğu gibi 2020 yılında da dünyada en çok robot ihraç eden ülke olmuştur. Japonya 2020’de 1,7 milyar dolarlık endüstriyel robot ihracatı ile dünyada %32,3’lük paya sahip olmuştur.⁷⁰⁵

Hindistan Sanayi ve Ticaret Odaları Federasyonu (FICCI) ve uluslararası danışmanlık şirketi Roland Berger iş birliğinde 2016 yılında yapılan bir çalışmada, BRICS ülkeleri⁷⁰⁶ ile Endüstri 4.0’da ileri olan gelişmiş ülkelerin Endüstri 4.0 potansiyeli incelenmiştir. Bu çalışmaya göre Japonya, 2014 yılı itibarıyla Endüstri 4.0’la ilişkili patent sayısında, 3.120 patenti olan ABD ve 2.721 patenti olan Çin’in ardından, 1.724 patent ile dünyada üçüncü sırada yer almıştır.⁷⁰⁷ 2014 yılına kadar olan süreçte Endüstri 4.0’la ilişkili patent sayısı bakımından dünyadaki ilk 20 şirketten 7’si Japon şirketler olmuştur. Sıralamada Japon Sony ikinci ve Panasonic üçüncü sırada yer almıştır.⁷⁰⁸

Avrupa Patent Ofisi verilerine göre ise Japonya, 2020 yılındaki patent başvuru sayısı açısından; dijital haberleşme alanında 1.375

⁷⁰³ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), World Robotics 2021, s.14,17,25.

⁷⁰⁴ Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), Executive Summary World Robotics 2020 Industrial Robots, s.14.

⁷⁰⁵ World’s Top Exports İnternet Sitesi, “Top Industrial Robots Exporters”, Erişim:11.02.2022, <http://www.worldstopexports.com/top-industrial-robots-exporters/>

⁷⁰⁶ BRICS ülkeleri; Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika Cumhuriyeti’dir.

⁷⁰⁷ FICCI, Roland Berger, Skill Development for Industry 4.0, 2016, s.11, Erişim:21.11.2020, <http://www.globalskillsummit.com/Whitepaper-Summary.pdf>

⁷⁰⁸ Benassi M., Grinza E., Rentocchini F., “The Rush for Patents in The Fourth Industrial Revolution”, Journal of Industrial and Business Economics, C:47, S:4, 2020, Erişim:21.11.2020, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40812-020-00159-6/tables/4>

başvuru ile Çin ve ABD'nin ardından üçüncü sırada, sağlık teknolojisi alanında 1.011 başvuru ile ABD ve Almanya'nın ardından üçüncü sırada, bilgisayar teknolojisi alanında ise 1.269 başvuru ile ABD ve Çin'in ardından yine üçüncü sırada yer almıştır.⁷⁰⁹

FICCI ve Roland Berger'in çalışmasına göre Japonya, 2015 itibarıyla robotik şirket sayısında ABD ve Almanya'nın ardından üçüncü sırada yer almıştır. Söz konusu yılda Japonya, dünyadaki robotik şirketlerin %6'sına sahip olmuştur. Ayrıca Japonya, sahip olduğu 11 milyon makineler arası iletişim sayısı ile bu alanda Çin ve ABD'nin arkasından üçüncü sırada yer almıştır. Japonya'nın makineler arası iletişimde küresel payı ise %4,5 olmuştur.⁷¹⁰

OECD verilerine göre 2020 itibarıyla Japonya, Ar-Ge yoğunluğu açısından OECD ülkeleri arasında yedinci sırada yer almıştır. Söz konusu yılda Ar-Ge yoğunluğu İsrail'de %5,4, Güney Kore'de %4,8, Tayvan'da %3,6, İsveç'te %3,5, Belçika'da %3,5, ABD'de %3,5 ve Japonya'da %3,3 olarak gerçekleşmiştir.⁷¹¹

Dünya Ekonomik Forumu tarafından hazırlanan 2018 yılı Üretim Geleceği İçin Hazırlık Değerlendirmesi Raporuna göre Japonya, karmaşıklık (ülkenin ürün çeşitliliği) ve ölçek (imalat sanayiinin payı ve çıktı potansiyeli) kriterleriyle hesaplanan "üretim yapısı" başlığında 10 üzerinden 8,99 puan ile dünyada birinci sırada yer almıştır. Dolayısıyla Japonya, üretim yapısı açısından Endüstri 4.0 üretim sürecine dünyadaki en hazır ülke olarak değerlendirilmiştir. Teknoloji-inovasyon, beşerî sermaye, küresel ticaret ve yatırım, kurumsal çerçeve, talep koşulları ve sürdürülebilir kaynaklar kriterleriyle hesaplanan "üretim dinamikleri" başlığında ise Japonya 6,82 puanla dünyada 16. sırada yer almıştır.⁷¹²

Japonya, Endüstri 4.0 sürecinin önemli teknolojilerinden biri olan bulut bilişim alanında dünyanın en ileri ülkelerinden biri olmuştur.

⁷⁰⁹ Avrupa Patent Ofisi (EPO), "European Patent Applications", Erişim:11.02.2022, <https://www.epo.org/about-us/annual-reports-statistics/statistics/2020/statistics/patent-applications.html>

⁷¹⁰ FICCI, Roland Berger, Skill Development for Industry 4.0, s.12.

⁷¹¹ OECD, "Main Science and Technology Indicators - GERD as a Percentage of GDP" ; OECD, "Gross Domestic Spending on R&D".

⁷¹² Dünya Ekonomik Forumu (WEF), Readiness for the Future of Production Report 2018, s.6-12.

Uluslararası düzeyde bir yazılım destek kuruluşu olan ve başta yazılım olmak üzere teknoloji alanında araştırmalar yapan Business Software Alliance, 2018 yılında yaptığı bir çalışmada; bilgi teknolojileri seviyesi, siber güvenlik, veri gizliliği, fikrî mülkiyet hakları vb. kriterler üzerinden puanlama yaparak ülkeleri bulut bilişim başlığı altında sıralamıştır. Söz konusu çalışmada Almanya 84,0 puan ile dünyada birinci olurken, Japonya 82,1 puanla ikinci sırada gösterilmiştir. Aynı Raporda Japonya, siber suçlarla mücadele kriterinde birinci, bilgi teknolojileri ve geniş bant dağıtım kriterinde ise Singapur'un ardından ikinci olmuştur.⁷¹³

⁷¹³ Business Software Alliance (BSA), 2018 BSA Global Cloud Computing Scorecard: Powering A Bright Future, s.11-13, Erişim:21.11.2020, https://cloudscorecard.bsa.org/2018/pdf/BSA_2018_Global_Cloud_Scorecard.pdf

KAYNAKÇA

- ABD Akıllı Üretim Liderlik Konsorsiyumu (SMLC), "SMLC", Erişim:22.06.2022, <https://smlconsortium.org/>
- ABD Başkanlık Ofisi, "President Obama Launches Advanced Manufacturing Partnership", Erişim:08.07.2022, <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2011/06/24/president-obama-launches-advanced-manufacturing-partnership>
- ABD Başkanlık Ofisi, Strategy for American Leadership in Advanced Manufacturing, Erişim:24.06.2022, <https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2018/10/Advanced-Manufacturing-Strategic-Plan-2018.pdf>
- ABD Başkanlık Ofisi, "Using Additive Manufacturing to Improve Supply Chain Resilience and Bolster Small and Mid-Size Firms", Erişim:02.07.2022, <https://www.whitehouse.gov/cea/written-materials/2022/05/09/using-additive-manufacturing-to-improve-supply-chain-resilience-and-bolster-small-and-mid-size-firms/>
- ABD Başkanlık Ofisi Bilim ve Teknoloji Danışmanları Konseyi, A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing, Şubat 2012, Erişim:08.08.2022, https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/nstc_feb2012.pdf
- ABD Başkanlık Ofisi Bilim ve Teknoloji Danışmanları Konseyi, Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing, Haziran 2011, Erişim:10.08.2022, www.obamawhitehouse.archives.gov
- ABD Başkanlık Ofisi Bilim ve Teknoloji Danışmanları Konseyi, Report to the President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing, Erişim:09.08.2022, https://www.manufacturing.gov/sites/default/files/2018-01/amp20-report_final.pdf
- ABD Kongresi Araştırma Servisi (CRS), Artificial Intelligence: Background, Selected Issues, and Policy Considerations, Erişim:04.07.2022, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46795>
- ABD Kongresi Araştırma Servisi (CRS), Manufacturing USA: Advanced Manufacturing Institutes and Network, Mart 2021, Erişim:24.06.2022, <https://sgp.fas.org/crs/misc/R46703.pdf>
- ABD Nesnelerin İnterneti Endüstrisi Konsorsiyumu, "Current Members", Erişim:22.06.2022, <https://www.iiconsortium.org/members.htm>
- ABD Nesnelerin İnterneti Endüstrisi Konsorsiyumu, "Initiatives", Erişim:22.06.2022, <https://www.iiconsortium.org/patterns/>
- ABD Nesnelerin İnterneti Endüstrisi Konsorsiyumu, "Working Groups", Erişim:22.06.2022, <https://www.iiconsortium.org/wc-bse/>
- ABD Sayıştayı (GAO), Advanced Manufacturing, Aralık 2021, Erişim:24.06.2022, <https://www.gao.gov/assets/gao-22-103979.pdf>
- ABD Siber Güvenlik ve Altyapı Güvenliği Ajansı (Cybersecurity and Infrastructure Security Agency-CISA), "Cyber-Attack Against Ukrainian Critical Infrastructure", 20 Temmuz 2021, Erişim: 12.08.2022, <https://www.cisa.gov/uscert/ics/alerts/IR-ALERT-H-16-056-01>

- ABD Ticaret Bakanlığı, Annual Report, 2016, Erişim: 08.08.2022, <https://www.manufacturingusa.com/sites/prod/files/Manufacturing%20USA-Annual%20Report-FY%202016-web.pdf>
- ABD Ticaret Bakanlığı Uluslararası Ticaret İdaresi, "Manufacturing Technology - Smart Factory", Eylül 2019, Erişim:23.11.2020, <https://2016.export.gov/southkorea/doingbusinessinskorea/leadingsectorsforusexportsinvestment/manufacturingtechnology/index.asp>
- ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), "Advanced Manufacturing Technology Services/Industry 4.0", Erişim:20.06.2022, <https://www.nist.gov/mep/advanced-manufacturing-technology-servicesindustry-40>
- ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), The Economic Impact of Technology Infrastructure for Advanced Manufacturing: An Overview, Ekim 2016, Erişim:24.06.2022, <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/eab/nist.eab.1.pdf>
- ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), "Operational Technology", Erişim:22.06.2022, https://csrc.nist.gov/glossary/term/operational_technology
- ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), The U.S. Advanced Manufacturing Initiative, Erişim:24.06.2022, https://www.nist.gov/system/files/documents/2017/04/28/Molnar_091211.pdf
- ABD Üreticiler Birliği, "Engineering, Research & Development Council", Erişim:23.06.2022, <https://www.manufacturersalliance.org/communities/operations/engineering-research-development>
- ABD Üreticiler Birliği, "Our History and Vision", Erişim:23.06.2022, <https://www.manufacturersalliance.org/about/manufacturers-alliance/our-history-vision>
- Abraham P, Lakshminarayanan S., "Data Science and Its Applications", Big Data Applications in Industry 4.0 içinde, P. Kaliraj T. Devi ed., CRC Press 2022.
- Açık Bağlantı Vakfı (OCF), "About Open Connectivity Foundation", Erişim: 23.06.2022, <https://openconnectivity.org/foundation/>
- Açık Bağlantı Vakfı (OCF), "Allseen Alliance Merges With Open Connectivity Foundation", Erişim:23.06.2022, <https://openconnectivity.org/allseen-alliance-merges-open-connectivity-foundation-accelerate-internet-things/>
- Açık Bağlantı Vakfı (OCF), "Membership List", Erişim: 23.06.2022, <https://openconnectivity.org/foundation/membership-list/>
- Açık Bağlantı Vakfı (OCF), "OCF Developer Program", Erişim: 23.06.2022, <https://openconnectivity.org/technology/developer-program/>
- Aichholzer G., Rhomberg W., Gudowsky N. vd., "Industry 4.0", Austrian Academy of Sciences Institute of Technology Assessment, Viyana, Kasım 2015, Erişim:13.06.2022, <https://epub.oew.ac.at/ita/ita-projektberichte/ITA-AIT-1en.pdf>

- Akerman M., Implementing Shop Floor IT for Industry 4.0, Chalmers University of Technology, Doktora Tezi, Gothenburg, 2018, Erişim:23.06.2022, <https://research.chalmers.se/en/publication/502937>
- Aksakal Y., Ülgen B., "Yapay Zekâ ve Geleceğin Meslekleri", TRT Akademi, C:6, S:13, Eylül 2021, s.836-852, Erişim: 27.06.2022 <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1873421>
- AllPlan İnternet Sitesi, "The Robot That Can Lay 1,000 Bricks in An Hour", 05 Mart 2021, Erişim:10.08.2022, <https://blog.allplan.com/en/the-robot-that-can-lay-1000-bricks-in-an-hour>
- Alman Araştırma ve İnovasyon Merkezi (DWIH) , "No More Disinterest in Industry 4.0 – Covid-19 Pandemic Accelerates Digitalization Of German Industry", Erişim:14.02.2022, <https://www.dwih-tokyo.org/de/2021/07/09/industrie-4-0/>
- Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industry 4.0," April 2013, Erişim:20.06.2022, <https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/download-pdf?lang=en>
- Alman Bilim ve Mühendislik Akademisi (acatech), Industry 4.0 in a Global Context, Erişim:10.02.2022, https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2016/11/acatech_eng_STUDIE_Industrie40_global_Web.pdf
- Alman Standartlar Enstitüsü (DIN), German Standardization Roadmap, Erişim:24.11.2020, <https://www.din.de/blob/65354/57218767bd6da1927b-181b9f2a0d5b39/roadmap-i4-0-e-data.pdf>
- Almanya Eğitim ve Araştırma Bakanlığı (BMBF), "Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen", Erişim:13.11.2020, <https://www.bmbf.de/de/innovationen-fuer-die-produktion-dienstleistung-und-arbeit-von-morgen-599.html>
- Almanya Eğitim ve Araştırma Bakanlığı (BMBF), Research And Innovation That Benefit The People, The High-Tech Strategy 2025, Erişim:14.02.2022, https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/FS/31538_Forschung_und_Innovation_fuer_die_Menschen_en.pdf;jsessionid=121BA-E8168778DFCA8875D6412871068.live471?__blob=publicationFile&v=7
- Almanya Federal İstatistik Ofisi (Destatis), "Research and Development", Erişim:16.06.2022, https://www.destatis.de/EN/Themes/Society-Environment/Education-Research-Culture/Research-Development/_node.html
- Almanya Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı (BMWK), "A Modern Industrial Policy", Erişim:10.11.2020, <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Dossier/modern-industry-policy.html>
- Almanya Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı (BMWK), Digital Agenda 2014 – 2017, Erişim:13.11.2020, https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/digital-aganeda-2014-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- Almanya Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı (BMWK), "Federal Government Adopts Artificial Intelligence Strategy", Erişim:17.06.2022, <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2018/20181116-federal-government-adopts-artificial-intelligence-strategy.html>

- Almanya Ekonomik İşler ve İklim Değişikliği Bakanlığı (BMWK), "Platform Industry 4.0", Erişim:24.11.2020, <https://www.bmw.de/Redaktion/EN/Dossier/industrie-40.html>
- Almanya Ticaret ve Yatırım Ajansı (GTAI), Industrie 4.0: Smart manufacturing for the future, Erişim:10.06.2022, <http://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/Industries/industrie4.0-smart-manufacturing-for-the-future-en.pdf>
- Almanya Ticaret ve Yatırım Ajansı (GTAI), Industry 4.0-Germany Market Report and Outlook, Erişim:20.11.2020, <https://www.gtai.de/resource/blob/64500/8b7afcaa0cce1ebd42b178b4430edc82/industrie4-0-germany-market-outlook-progress-report-en-data.pdf>
- Almanya Ticaret ve Yatırım Ajansı (GTAI), "Why Germany is the place to be for Industrie 4.0", Erişim:11.11.2020, <https://www.gtai.de/gtai-en/invest/industries/industrie-4-0>
- Alphan C., Özcan D., "Modern Maliyetleme Sürecinde Değer Zinciri Yaklaşımı", Fırat Üniversitesi İİBF Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi C:3, S:2, 2019, ss.59-80, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/fuuiibfdergi/issue/51484/668180>
- Anadolu Ajansı, "Ankara Üniversitesinde 3D Yazıcıyla Gıda Üretildi", 08.12.2021, Erişim:15.09.2022, <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/ankara-universitesinde-3d-yaziciyla-gida-uretildi/2441698>
- André J.C., "Industry 4.0-Paradoxes and Conflicts", ISTE-WILEY, 2019.
- Andreoni A., Anzolin G., A Revolution in the Making? Challenges and Opportunities o digital production technologies for developing countries, UNIDO 2019, Erişim:08.06.2022, <https://www.unido.org/api/opentext/documents/download/16423347/unido-file-16423347>
- Ankara Üniversitesi Açık Ders Arşivi, "İletişim Tarihi", Ankara Üniversitesi Açık Erişim Sistemi, Erişim:24.06.2022, <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=72544>
- Ansal H., "Bilim, Teknoloji ve Toplum" Perspektifinden: Sanayi 4.0", İTÜ Vakfı Dergisi, S:74 Ekim-Aralık 2016, Erişim:17.06.2022, https://www.ituvakif.org.tr/_files/ugd/8db14c_a8f6cb6daef141e6b941f79eb20a05bc.pdf
- Arslanhan S., Kurtal Y., Güney Kore İnovasyondaki Başarısını Nelere Borçlu? Türkiye için Çıkarımlar, Türkiye Ekonomi Politikaları Araştırma Vakfı Politika Notu, Eylül 2010, Erişim:17.11.2020, https://www.tepav.org.tr/upload/files/1285828695-5.Guney_Kore_Inovasyondaki_Basarisini_Nelere_Borclu_Turkiye_icin_Cikarimlar.pdf
- Arya A., Malhotra H., Dayanand, Jeberson W., "Big Data Analytics in Cyber Security", International Journal of Engineering Research & Technology, C:5, S:10, 2017, ss.1-3, Erişim:27.06.2022, <https://www.ijert.org/big-data-analytics-in-cyber-security>
- Automate İnternet Sitesi, "Industry 4.0 Defined: 4 Core Components", Erişim:21.06.2022, <https://www.automate.org/editorials/industry-4-0-defined-4-core-components>

- Aviana Global İnternet Sitesi, "How Big Data Powers Wind Turbines", Erişim:29.06.2022, <https://avianaglobal.com/how-big-data-powers-wind-turbines/>
- Avrupa Birliği Çin Ticaret Odası, China Manufacturing 2025, Erişim:01.06.2022, http://docs.dpaq.de/12007-european_chamber_cm2025-en.pdf
- Avrupa Birliği Ekonomik ve Sosyal Komitesi, Opinion of the European Economic and Social Committee on Industry 4.0 and digital transformation: Where to go, COM(2016) 180 final, 2016, s.6, Erişim:09.06.2022, <https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-information-reports/opinions/industry-40-and-digital-transformation-where-go>
- Avrupa Birliği Siber Güvenlik Ajansı (ENISA), Good Practices for Security of Internet of Things in the context of Smart Manufacturing, Kasım 2018, Erişim:17.06.2022, <https://www.enisa.europa.eu/publications/good-practices-for-security-of-iot/@download/fullReport>
- Avrupa Komisyonu XR4Europe Programı İnternet Sitesi, "What is XR?", Erişim:19.08.2022, <https://xr4europe.eu/whatisxr/>
- Avrupa Komisyonu, 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future, Erişim:19.08.2022, https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/knowledge_publications_tools_and_data/documents/ec_rtd_radical-innovation-breakthrough_052019.pdf
- Avrupa Komisyonu, Accelerating the digital transformation of European industry and enterprises, 2016, Erişim:15.06.2022, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/15856/attachments/1/translations/en/renditions/native>
- Avrupa Komisyonu, Digital Economy and Society Index (DESI) 2021: Integration of Digital Technology, Erişim:10.02.2022, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi-integration-technology-enterprises>
- Avrupa Komisyonu, European Innovation Scoreboard 2021, Erişim: 22.02.2022, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/46013>
- Avrupa Komisyonu, Germany Industry 4.0, Ocak 2017, Erişim: 25.11.2020, https://ec.europa.eu/growth/toolsdatabases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Industrie%204.0.pdf
- Avrupa Parlamentosu, Industry 4.0, 2016, Erişim:17.06.2022, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU\(2016\)570007_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU(2016)570007_EN.pdf)
- Avrupa Komisyonu, International Digital Economy and Society Index (DESI) 2020, Erişim:14.06.2022, https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=72352
- Avrupa Komisyonu, "Implementation of an Industry 4.0 Strategy - The German Plattform Industrie 4.0", Erişim:23.11.2020, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/blog/implementation-industry-40-strategy-german-plattform-industrie-40>
- Avrupa Komisyonu, Key Lessons From National Industry 4.0 Policy Initiatives in Europe, Mayıs 2017, Erişim: 18.11.2020, <https://ec.europa.eu/growth/>

- tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Policy%20 initiative%20comparison%20v1.pdf
- Avrupa Komisyonu, The New High-Tech Strategy Innovations for Germany, Erişim:13.11.2020, https://ec.europa.eu/knowledge4policy/sites/ know4pol/files/hts_broschuere_engl_bf.pdf
- Avrupa Patent Ofisi (EPO), "European Patent Applications", Erişim:11.02.2022, <https://www.epo.org/about-us/annual-reports-statistics/statistics/2020/ statistics/patent-applications.html>
- Avrupa Patent Ofisi (EPO), Patents and the Fourth Industrial Revolution, Aralık 2017, Erişim:18.11.2020, [http://documents.epo.org/projects/babylon/ eponet.nsf/0/17FDB553 8E87B4B9 C12581EF00 45762F/\\$File/fourth_in_dustrial_revolution_2017__en.pdf](http://documents.epo.org/projects/babylon/ eponet.nsf/0/17FDB553 8E87B4B9 C12581EF00 45762F/$File/fourth_in_dustrial_revolution_2017__en.pdf)
- Bances E., Schneider U., Siegert J. vd., "Exoskeletons Towards Industrie 4.0: Benefits and Challenges of the IoT Communication Architecture", *Procedia Manufacturing C:42*, 2020, ss.49-56, Erişim:03.08.2022, <https://www. sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920306521>
- Bartodziej C.J., "The Concept Industry 4.0-An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics", Springer Gabler, 2017.
- Basir R., Qaisar S., Ali M. vd., "Fog Computing Enabling Industrial Internet of Things: State-of-the-Art and Research Challenges", *Sensors C:19*, S:21, 2019
- BBC, "Hack Attack Causes "Massive Damage" at Steel Works", 22 Aralık 2014, Erişim:15.08.2022, <https://www.bbc.com/news/technology-30575104>
- BBC, "Turning Workers into 'Super Workers' With Robotic Suits", 01 Aralık 2017, Erişim:03.08.2022, <https://www.bbc.com/news/business-42136519>
- Benassi M., Grinza E., Rentocchini F., "The Rush for Patents in The Fourth Industrial Revolution", *Journal of Industrial and Business Economics*, C:47, S:4, 2020, s.559-588, Erişim:21.11.2020, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40812-020-00159-6/tables/4>
- Bilgin O., Dördüncü Sanayi Devrimi ve Türkiye Ekonomisi: Ulusal Yenilik Sistemi Çerçevesinde Bir İnceleme, T.C. Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale, 2018, Erişim:10.06.2022, <https://acikerisim.kku.edu.tr:8443/xmlui/handle/20.500.12587/15403>
- Binici D., "Konvansiyonel'den Asimetriğe: Siber Saldırıları", 02 Şubat 2020, Erişim:15.08.2022, <https://www.tuicakademi.org/konvansiyonelden-asi-metrige-siber-saldirilar%E7%BB%BF/>
- Birleşik Krallık Sanal Gerçeklik Topluluğu (VRS), "What is Virtual Reality?", <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/what-is-virtual-reality.html>
- Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü (UNESCO), "The Fourth Revolution", *The UNESCO Courier*, No:3, Ağustos-Eylül 2018, Erişim:09.06.2022, <https://en.unesco.org/courier/2018-3/fourth-revolution>
- Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP), "What are the Sustainable Development Goals?", Erişim:19.09.2022, <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>

- Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (UNIDO), "Industry 4.0-Preparing for the 4th Industrial Revolution", World Summit on the Information Society (WSIS) 2017, Erişim:09.06.2022, https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-06/WSIS%202017_final_3_online.pdf
- Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (UNIDO), Industry 4.0-Opportunities and Challenges of the New Industrial Revolution for Developing Countries and Economies in Transition, Erişim:09.06.2022, https://www.unido.org/sites/default/files/2017-01/Unido_industry-4_NEW_0.pdf
- Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (UNIDO), Industry 4.0-Opportunities Behind the Challenge Background Paper, 2018, Erişim:20.06.2022, https://www.unido.org/sites/default/files/files/2017-11/UNIDO%20Background%20Paper%20on%20Industry%204.0_27112017.pdf
- Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (UNIDO), "What Can Policymakers Learn from Germany's Industrie 4.0 Development Strategy", Erişim:08.06.2022, <https://www.unido.org/api/opentext/documents/download/11712839/unido-file-11712839>
- Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (UNCTAD), "Ships Built by Country of Building, Annual", Erişim:25.06.2022, <https://unctadstat.unctad.org/wds/TableView/tableView.aspx?ReportId=89493>
- Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (UNCTAD), Strengthening The Creative Industries for Development in the Republic of Korea, 2017, Erişim:17.11.2020, https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/ditcted2017d4_en.pdf
- Bloomberg, "Japan is Getting Serious About Flying Cars", 22 Ocak 2019, Erişim:17.11.2020, <https://www.bloomberg.com/news/features/2019-01-22/the-birthplace-of-the-walkman-wants-to-be-first-in-flying-cars>
- Bloomberg Quint, "South Korea Leads World in Innovation as U.S. Exits Top Ten", Erişim:22.02.2022, <https://www.bloomberqint.com/global-economics/south-korea-leads-world-in-innovation-u-s-drops-out-of-top-10>
- Blunck E., Werthmann H., Anbumozhi V., "Maximising Economic Benefits and Firm Competitiveness", Industry 4.0: Empowering ASEAN for the Circular Economy içinde, V. Anbumozhi, F. Kimura ed., Economic Research Institute for ASEAN and East Asia, 2018, Erişim:21.06.2022, https://www.eria.org/uploads/media/9.ERIA-Books-2018_Circular_Economy_Chapter_5.pdf
- Bonnaud S., Didier C., Kohler A., "Endüstri 4.0 ve Kognitif Üretim Mimari Modeller, Kullanım Örnekleri ve IBM Çözümleri", Erişim:21.06.2022, <https://www.ibm.com/downloads/cas/RJGK5E60>
- Boz M.S., Eğitimde Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarının Değerlendirilmesi, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Yenilik ve Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü, 2019, Erişim:19.08.2022, https://yegitek.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2020_03/26132150_egitimdeartirilmisgerceklikuygulamalarindegerlendirilmesi.pdf
- Brynjolfsson E., McAfee A., "The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies", W.W. Norton & Co., 2014.

- Bryson S., Kenwright D., Cox M. vd., "Visually Exploring Gigabyte Data Sets in Real Time", *Communications of the ACM*, C:42, S:8, Ağustos 1999, s.82-90, Erişim:24.06.2022, <https://dl.acm.org/doi/10.1145/310930.310977>
- Buhr D., "Social Innovation Policy for Industry 4.0", Friedrich-Ebert Stiftung, 2017, Erişim:16.06.2022, https://japan.fes.de/fileadmin/user_upload/events/2017/pdf-files/Social_Innovation_Policy_for_Industry_4.0.pdf
- Business Software Alliance (BSA), 2018 BSA Global Cloud Computing Scorecard: Powering A Bright Future, Erişim:21.11.2020, https://cloudscorecard.bsa.org/2018/pdf/BSA_2018_Global_Cloud_Scorecard.pdf
- Business Sweden Tokyo, Seizing Industry 4.0 Opportunities in Japan, Nisan 2017, Erişim: 19.12.2019, https://www.business-sweden.se/contentassets/4f2db52dbae148a78e626486d64e7c2b/seizing_industry_4_0_in_japan.pdf
- Butt J., "A Conceptual Framework to Support Digital Transformation in Manufacturing using an Integrated Business Process Management Approach", *Designs*, Eylül 2020, C:4, S:3, ss.2-39, Erişim:10.06.2022, <https://www.mdpi.com/2411-9660/4/3/17/htm>
- Büchi G., Cugno M., Castagnoli R., "Smart Factory Performance and Industry 4.0", *Technological Forecasting and Social Change*, C:150, Ocak 2020, ss.1-10, Erişim:10.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004016251931217X>
- Capgemini Engineering İnternet Sitesi, "The Virtual Factory of The Future", Erişim:14.06.2022, https://ignition.altran.com/wp-content/uploads/2017/06/altran_white_paper_virtual_reality_web.pdf
- Cardoso J., Voigt K., Winkler M., "Service Engineering for the Internet of Services", *Enterprise Information Systems-ICEIS 2008 Lecture Notes in Business Information Processing* içinde, J. Filipe, J. Cordeiro ed., C:19, 2009, Springer, Berlin, Heidelberg, ss.15-27.
- Carvalho N.G.P., Cazarini E.W., "Industry 4.0-What Is It?", Erişim:23.06.2022, <https://www.intechopen.com/books/industry-4-0-current-status-and-future-trends/industry-4-0-what-is-it>
- Castells M., "Enformasyon Çağı: Ekonomi, Toplum ve Kültür- Birinci Cilt: Ağ Toplunun Yükselişi", İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları, İkinci Baskı 2008.
- Chiarello F., Trivelli L., Bonaccorsi A. vd., "Extracting and Mapping Industry 4.0 Technologies Using Wikipedia", *Computers in Industry*, C:100, 2018, ss.244-257, Erişim:10.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361517306176>
- Clear Insurance İnternet Sitesi, "10 Biggest Cyber Attacks in History" Erişim:12.08.2022, <https://clearinsurance.com.au/10-biggest-cyber-attacks-in-history/>
- CNBC İnternet Sitesi, "Elon Musk Admits Humans are Sometimes Superior to Robots, in A Tweet About Tesla Delays", 17 Nisan 2018, Erişim:28.06.2022, <https://www.cnn.com/2018/04/13/elon-musk-admits-humans-are-sometimes-superior-to-robots.html>

- Council on Foreign Relations (CFR) İnternet Sitesi, "Stuxnet", Temmuz 2010, Erişim:15.08.2022, <https://www.cfr.org/cyber-operations/stuxnet>
- Culkin, J.M., "A schoolman's Guide to Marshall McLuhan", The Saturday Review, S:41, 18.03.1967, Erişim:09.06.2022, <https://www.unz.com/print/SaturdayRev-1967mar18-00051>
- Cyber Law Toolkit İnternet Sitesi, "Steel mill in Germany (2014)", Erişim:15.08.2022, [https://cyberlaw.ccdcoe.org/wiki/Steel_mill_in_Germany_\(2014\)#cite_note-8](https://cyberlaw.ccdcoe.org/wiki/Steel_mill_in_Germany_(2014)#cite_note-8)
- Çağlar E., Toplam Faktör Verimliliğine Yönelik Politika ve Kurumsal Çerçevelerin Değerlendirilmesi: Almanya ve Güney Kore Vaka Analizleri, Mayıs 2017, Erişim:22.12.2020, <http://www.tr.undp.org/content/dam/turkey/UNDP-TR-TFP-CASE-REPORT.pdf>
- Çelik K., Güleriyüz S. Özköse H., "Endüstri Devrimine Kuramsal Bakış", Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, C:5, S:9, 2018, s.86-95, Erişim:26.12.2020, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/596406>
- Çetin R., Karadaş S., "Han Nehri Mucizesi: Ekonomik Kalkınmada Güney Kore Örneği", İstanbul İktisat Dergisi, S:68, Ocak 2018, s.93-112, Erişim:09.01.2021, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/495990>
- Da Silva E.R, Shinohara A.C., Nielsen C.P. vd., "Operating Digital Manufacturing in Industry 4.0: the role of advanced manufacturing Technologies", Procedia CIRP, C:93, 2020, s.174-179, Erişim:10.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827120306405>
- Dafflon B., Moalla N., Ouzrout Y., "The challenges, approaches, and used techniques of CPS for manufacturing in Industry 4.0: a literature review", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, C:113, S:7-8, Nisan 2021, s.2398, Erişim:21.06.2022, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-020-06572-4>
- Daily Mail İnternet Sitesi, "Auto Parts Manufacturer is Ordered to Pay \$1.5 Million for Causing Death of Worker, 20, Who Was Crushed by A Robotic Arm", Erişim:28.06.2022, <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8935391/Manufacturing-company-admits-causing-death-worker-20-crushed-robotic-arm.html>
- Daim T.U., Faily Z., "Industry 4.0 Value Roadmap Integrating Technology and Market Dynamics for Strategy, Innovation and Operations", Springer Nature İsviçre 2019.
- Davies R., Industry 4.0: Digitalisation for Productivity and Growth, European Parliamentary Research Service Briefing Paper, Eylül 2015, Erişim:05.11.2020, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf)
- Davutoğlu N.A., "Sanayi 4.0 Uygulamalarının Dünyadaki ve Türkiye'deki Sektörler Açısından Detaylı Analizi", Uluslararası Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırma Dergisi, C:8, S:67, 2021, s.795-811, Erişim:29.06.2022, http://jshsr.org/Makaleler/528582653_23-8-67.2368-795-811.pdf
- DeepMind İnternet Sitesi, "AlphaGo", Erişim:22.06.2022, <https://www.deepmind.com/research/highlighted-research/alphago>

- Demir A., "Endüstri 4.0'dan Eğitim 4.0'a Değişen Eğitim-Öğretim Paradigmaları", *Journal of Turkish Studies*, C:3, S:15, 2018, s.147-171, Erişim:26.12.2020, <https://app.trdizin.gov.tr/makale/TXpBd05UYzVPUT09/industri-4-0-dan-egitim-4-0-a-degis-en-egitim-ogretim-paradigmaları>
- De Propriis L., Bailey D., "Disruptive Industry 4.0+: Key Concepts", *Industry 4.0 and Regional Transformations* içinde, L. De Propriis, D. Bailey ed., Routledge New York, Oxon 2020.
- Deloitte İnternet Sitesi, "The Smart Factory-Responsive, Adaptive, Connected Manufacturing", Erişim:20.06.2022, https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4051_The-smart-factory/DUP_The-smart-factory.pdf
- Deloitte İnternet Sitesi, *Industry 4.0 and Cybersecurity-Managing Risk in An Age of Connected Production*, Erişim:15.08.2022, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/au/Documents/risk/deloitte-au-risk-dup-in-dustry-4-0-cybersecurity-080818.pdf>
- Desoutter Industrial Tools İnternet Sitesi, "Industrial Revolution-From Industry 1.0 to Industry 4.0", Erişim:14.06.2022, <https://www.desouttertools.com/industry-4-0/news/503/industrial-revolution-from-industry-1-0-to-industry-4-0>
- Deloitte University Press, *Industry 4.0-Is your ERP system ready for the digital era?*, Erişim:05.08.2022, https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/technology/Deloitte_ERP_Industrie-4-0_Whitepaper.pdf
- Diamandis P.H., Kotler S., "The Future Is Faster Than You Think: How Converging Technologies Are Transforming Business, Industries, and Our Lives", Simon and Schuster 2020.
- Doğru B.N., Meçik O., "Türkiye'de Endüstri 4.0'ın İşgücü Piyasasına Etkileri: Firma Beklentileri", *SDÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, C:23, Endüstri 4.0 ve Örgütsel Değişim Özel Sayısı, 2018, s.1581-1606, Erişim:07.11.2020, <https://dergipark.org.tr/tr/download/issue-full-file/53210>
- Doğru S., *Endüstri 4.0 ile Gelen Dijital Dönüşüm ve Risk Altındaki Meslekler*, STM Teknolojik Düşünce Merkezi, Mayıs 2018, Erişim:26.12.2020, https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/175201817161355_stm_endustri_40.pdf
- Duan L., Xu L.D., "Data Analytics in Industry 4.0: A Survey", *Information Systems Frontiers*, Ağustos 2021, Erişim:21.06.2022, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10796-021-10190-0>
- Dünya Bankası, "China", Erişim:1.7.2022, <http://api.worldbank.org/v2/en/country/CHN?downloadformat=excel>
- Dünya Bankası, "Country Profile: Germany", Erişim:11.02.2022, https://databank.worldbank.org/views/reports/reportwidget.aspx?Report_Name=-CountryProfile&Id=b450fd57&tbar=y&dd=y&inf=n&zm=n&country=-DEU

- Dünya Bankası, "Country Profile: USA", Erişim:30.06.2022, https://databank.worldbank.org/views/reports/reportwidget.aspx?Report_Name=CountryProfile&Id=b450fd57&tbar=y&dd=y&inf=n&zm=n&country=USA
- Dünya Bankası, "GDP" Erişim:20.05.2022, <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?view=chart>
- Dünya Bankası, "GDP – Korea Republic", Erişim:10.02.2021, <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=KR>
- Dünya Bankası, "GDP per capita – Korea Republic", Erişim:10.02.2021, <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?locations=KR>
- Dünya Bankası, "GDP per Person Employed", Erişim:10.11.2020, <https://api.worldbank.org/v2/en/indicator/SL.GDP.PCAP.EM.KD?downloadformat=excel>
- Dünya Bankası, "Germany", Erişim:11.02.2022, <https://data.worldbank.org/country/DE>
- Dünya Bankası, "High Technology Exports", Erişim:09.02.2022, <https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.TECH.MF.ZS>
- Dünya Bankası, "High-technology exports (% of manufactured exports) - Korea Republic", Erişim:18.02.2022, https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.TECH.MF.ZS?end=2020&locations=KR&most_recent_value_desc=true&start=2008
- Dünya Bankası, "Services, Value Added -United States", Erişim:30.06.2022, <https://data.worldbank.org/indicator/NV.SRV.TOTL.ZS?locations=US>
- Dünya Bankası, "United States", Erişim:30.06.2022, <https://data.worldbank.org/country/US>
- Dünya Bankası, "United States", Erişim:03.07.2022, <https://api.worldbank.org/v2/en/country/USA?downloadformat=excel>
- Dünya Bankası, "World Development Indicators", Erişim:09.02.2022, <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&country=JPN>
- Dünya Bankası, "World Development Indicators: Structure of Output", Erişim:09.02.2022, <http://wdi.worldbank.org/table/4.2>
- Dünya Ekonomik Forumu (WEF), "A Brief History of Big Data Everyone Should Read", Erişim:24.06.2022, <https://www.weforum.org/agenda/2015/02/a-brief-history-of-big-data-everyone-should-read/>
- Dünya Ekonomik Forumu (WEF), Readiness for the Future of Production Report 2018, 2018, Erişim:21.11.2020, http://www3.weforum.org/docs/FOP_Readiness_Report_2018.pdf
- Dünya Ekonomik Forumu (WEF), "Robots Have Been Taking Our Jobs for 50 Years, So Why Are We Worried?", Erişim:29.06.2022, <https://www.weforum.org/agenda/2017/07/robots-have-been-taking-our-jobs-for-50-years-so-why-are-we-worried-now>
- Dünya Ekonomik Forumu (WEF), "The Fourth Industrial Revolution: What It Means, How to Respond", Erişim:17.06.2022, <https://www.wefo->

- rum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/?DAG=3
- Dünya Ekonomik Forumu (WEF), The Global Competitiveness Report 2019, Erişim:09.11.2020, http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf
- Dünya Ekonomik Forumu (WEF), Technology and Innovation for the Future of Production: Accelerating Value Creation, Mart 2017, Erişim:07.01.2020, http://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Technology_Innovation_Future_of_Production_2017.pdf
- Dünya Ekonomik Forumu (WEF), The Next Economic Growth Engine-Scaling Fourth Industrial Revolution Technologies in Production, Erişim:21.06.2022, https://www3.weforum.org/docs/WEF_Technology_and_Innovation_The_Next_Economic_Growth_Engine.pdf
- Dünya Ekonomik Forumu (WEF), "What is 'Industry 4.0' and What Will it Mean For Developing Countries?", 28 Nisan 2022, Erişim:16.06.2022, <https://www.weforum.org/agenda/2022/04/what-is-industry-4-0-and-could-developing-countries-get-left-behind/>
- Dünya Ekonomik Forumu (WEF), "What is the Fourth Industrial Revolution?", Erişim:14.06.2022, <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/what-is-the-fourth-industrial-revolution/>
- Dünya Ekonomik Forumu (WEF), "World Economic Forum Annual Meeting 2016: Mastering the Fourth Industrial Revolution", 02 Şubat 2016, Erişim:07.06.2022, <https://www.weforum.org/reports/world-economic-forum-annual-meeting-2016-mastering-the-fourth-industrial-revolution>
- Dünya Fikri Mülkiyet Teşkilatı (WIPO), Cornell Üniversitesi, Avrupa İşletme Yönetimi Enstitüsü (INSEAD), Global Innovation Index 2021, Erişim:22.02.2022, https://www.wipo.int/global_innovation_index/en/2021/
- Dünya Fikri Mülkiyet Teşkilatı (WIPO), "Korea Country Profile", Ekim 2020, Erişim:18.02.2022, https://www.wipo.int/ipstats/en/statistics/country_profile/profile.jsp?code=KR
- EAC International Consulting İnternet Sitesi, Additive Manufacturing In China, Erişim:26.06.2022, https://eac-consulting.de/wp-content/uploads/2021/03/Article_Additive-Manufacturing-in-China_Update-2021.pdf
- Ege B., "Endüstri Devrimi Kapıda mı?", TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, Mayıs 2014, S:558, Mayıs 2014, s.26-29, Erişim:17.06.2022, https://bilimtek-nik.tubitak.gov.tr/system/files/biltek_arsiv/S-558-26.pdf
- Eğilmez M., "ENDÜSTRİ 4.0", Muhasebe ve Finans Tarihi Araştırmaları Dergisi, S:15, Temmuz 2018, Erişim:21.06.2022, <https://dergipark.org.tr/tr/download/issue-full-file/37137>
- Elsayed F., Abdelmajied Y., "Industry 4.0 and Its Implications: Concept, Opportunities, and Future Directions", Supply Chain içinde, T. Bányaı, Á. Bányaı, I. Kaczmar ed., IntechOpen Londra, 2022, Erişim:23.06.2022, <https://www.intechopen.com/online-first/80514>

- Electric VTOL News İnternet Sitesi, "SkyDrive SD-03", Erişim:19.11.2020, <https://evtol.news/skydrive-sd-03>
- Encyclopædia Britannica, "Industrial-Revolution", Erişim:10.06.2022 <https://www.britannica.com/event/Industrial-Revolution>
- Encyclopædia Britannica, "Scientific Revolution", Erişim:10.06.2022, <https://www.britannica.com/science/Scientific-Revolution>
- Endüstri 4.0 Platformu, "A Consistent Focus on the Needs of SMEs", Erişim:22.11.2020, <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Services-Results/Results/results.html>
- Endüstri 4.0 Platformu, Composition of the Plattform Industrie 4.0, Erişim:16.02.2022, https://www.plattformi40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikationgesamt/zusammensetzung_plattform.pdf?__blob=publicationFile&v=10
- Endüstri 4.0 Platformu, Industry 4.0, Mart 2019, Berlin, Erişim:17.06.2022, https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/AI-in-Industrie4.0.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- Endüstri 4.0 Platformu, "Services and Results", Erişim: 17.11.2020, <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Services-Results/Results/results.html>
- Endüstri 4.0 Platformu, "Structure of the Plattform Industrie 4.0", Erişim:17.11.2020, <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/ThePlatform/Structure-Organization/structure-organization.html>
- Endüstri 4.0 Platformu, "What is Industrie 4.0?", Erişim:17.06.2022, <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html>
- Endüstri 4.0 Platformu, 2030 Vision for Industrie 4.0, Ekim 2019, Erişim:16.11.2020, https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Vision-2030-for-Industrie-4.0.pdf?__blob=publicationFile&v=9
- Engin D., "Programlanabilir Denetleyici Uygulamaları", T.C. Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu Mekatronik Programı, Erişim:16.06.2022, https://tec.ege.edu.tr/dersler/PLC_DersNotu.pdf
- Enterprise IoT Insights İnternet Sitesi, "Lights Out Manufacturing and Its Impact On Society", 10 Ağustos 2016, Erişim:22.06.2022, <https://enterpriseiotinsights.com/20160810/internet-of-things/lights-out-manufacturing-tag31-tag99>
- Entura İnternet Sitesi, "Can Big Data and Artificial Intelligence Transform the Wind Sector?", Erişim:29.06.2022, <https://www.entura.com.au/can-big-data-artificial-intelligence-transform-wind-sector/>
- Eraslan İ.H., Helvacıoğlu Kuyucu A.D., Bakan İ., "Değer Zinciri (Value Chain) Yöntemi İle Türk Tekstil ve Hazırgiyim Sektörünün Değerlendirilmesi", Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi, C:10, S:2, 2008, Erişim:20.06.2022, <https://dergipark.org.tr/pub/akuiibfd/issue/1628/20412>

- Erboz G., How to Define Industry 4.0: The Main Pillars of Industry 4.0, Managerial Trends in the Development of Enterprises in Globalization Era, 2017, Erişim:14.06.2022, https://www.researchgate.net/publication/326557388_How_To_Define_Industry_40_Main_Pillars_Of_Industry_40
- Erkan T.E., Koç U., Paşaoğlu D. vd., Kurumsal Kaynak Planlama Sistemleri, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 3282, Eskişehir 2018, Erişim:15.08.2022, <https://ets.anadolu.edu.tr/storage/nfs/YBS307U/ebook/YBS307U-16V1S1-8-0-1-SV1-ebook.pdf>
- Ernst & Young Türkiye İnternet Sitesi, "OT ve IoT Siber Güvenlik Değerlendirmesi Raporu", Erişim:23.06.2022, https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/tr_tr/pdf/2020/11/ot-ve-iot-sistemleriniz-ne-olcude-guvenli.pdf
- Ernst & Young, Worldwide R&D Incentives Reference Guide 2020, Temmuz 2020, Erişim:22.12.2020, https://www.ey.com/en_gl/tax-guides/worldwide-r-and-d-incentives-reference-guide-2020
- Essentra Components İnternet Sitesi, "A Guide to Industry 4.0 in the US", Erişim:21.06.2022, <https://www.essentracomponents.com/en-us/news/guides/a-guide-to-industry-40-in-the-us>
- EU Automation İnternet Sitesi, "Exoskeletons Will Transform Manufacturing", Erişim:03.08.2022, <https://www.euautomation.com/en/automated/article/exoskeletons-will-transform-manufacturing>
- FANUC İnternet Sitesi, "Products", Erişim:22.06.2022, <https://www.fanuc.co.jp/en/product/index.html>
- FICCI, Roland Berger, Skill Development for Industry 4.0, 2016, Erişim:21.11.2020, <http://www.globalskillsummit.com/Whitepaper-Summary.pdf>
- Fırat S., Fırat O., "Endüstri 4.0 Yolculuğunda Trendler ve Robotlar", İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, C:46, S:2, Kasım 2017, s.211-223, Erişim:20.05.2022, https://www.academia.edu/36790931/End%C3%B-Cstri_4.0_Yolculu%C4%9Funda_Trendler_ve_Robotlar
- Forbes, Revolution on the Factory Floor, Erişim:13.09.2022, <https://www.forbes.com/sites/insights-teradata/2019/07/08/revolution-on-the-siemens-factory-floor/?sh=52d3ff6a5648>
- Fox S., Aranko O., Heilala J., Vahala P., "Exoskeletons: Comprehensive, Comparative and Critical Analyses of Their Potential to Improve Manufacturing Performance", Journal of Manufacturing Technology Management, C:31, S:6, 2020, s.1261-1280, <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-01-2019-0023/full/html>
- Fraunhofer Iwes İnternet Sitesi, "Big Data in Wind Energy-How Digitalization Can Make Wind Power More Cost-Efficient", Erişim:28.06.2022, Erişim:28.06.2022, <https://www.iwes.fraunhofer.de/en/press/archive-2020/big-data-in-wind-energy---how-digitalization-can-make-wind-power.html>
- Frontier Economics İnternet Sitesi, The Economic Impact of IoT: Putting Numbers on a Revolutionary Technology, Mart 2018, Erişim:06.11.2020,

- https://www.frontier-economics.com/media/1167/201803_the-economic-impact-of-iot_frontier.pdf
- Future of Life Institute, "AI Policy: Japan", Erişim:12.11.2020, <https://futureof-life.org/ai-policy-japan/?cn-reloaded=1>
- Gajdzik B., Grabowska S., Saniuk S., "A Theoretical Framework for Industry 4.0 and Its Implementation with Selected Practical Schedules", *Energies*, 2021, C:14 S:14, ss.1-24, Erişim:23.06.2022, <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/4/940>
- Garms F., Jansen C., Schmitz C. vd., "Capturing Value At Scale In Discrete Manufacturing with Industry 4.0", McKinsey&Company, Erişim:21.06.2022, <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/capturing-value-at-scale-in-discrete-manufacturing-with-industry-4-0>
- Gartner İnternet Sitesi, "Gartner Glossary-Information Technology-S-Smart Factory", Erişim:20.06.2022, <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/smart-factory>
- Gartner İnternet Sitesi, "Gartner Glossary-Information Technology Glossary-B-Big Data", Erişim:27.06.2022, <https://www.gartner.com/it-glossary/big-data>
- Gartner İnternet Sitesi, "Gartner Glossary-Information Technology Glossary-A-Advanced Analytics", Erişim:24.06.2022, <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/advanced-analytics>
- Ghobakhloo M., Fathi M., "Corporate Survival In Industry 4.0 Era: The Enabling Role of Lean-Digitized Manufacturing", *Journal of Manufacturing Technology Management*, C:31 S:1, 2020, ss.1-30, Erişim:20.06.2022, <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-11-2018-0417/full/html>
- Gibson I., Rosen D., Stucker B. vd., "Additive Manufacturing Technologies" 3.Baskı, Springer 2021.
- Gilchrist A., *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*, Apress Thailand 2016.
- Gökalp M.O., Kayabay K., Akyol M.A. vd., "Big Data for Industry 4.0: A Conceptual Framework", 2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), ss.431-434, Erişim:27.06.2022, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7881381>
- Golabchi A., Chao A., Tavakoli M., "A Systematic Review of Industrial Exoskeletons for Injury Prevention: Efficacy Evaluation Metrics, Target Tasks, and Supported Body Postures", *Sensors*, C:22, S:7, 2022, ss.2-33, Erişim:28.06.2022, <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/7/2714>
- Government of Japan, Realizing Society 5.0, Erişim:09.06.2022, https://www.japan.go.jp/abonomics/_userdata/abonomics/pdf/society_5.0.pdf
- Grabcad İnternet Sitesi, "Countries That are Leading the Way in 3D Printing", Erişim:26.06.2022, <https://blog.grabcad.com/blog/2021/07/21/countries-that-are-leading-the-way-in-3d-printing/>

- Gunal M.M., "Simulation and the Fourth Industrial Revolution", Simulation for Industry 4.0-Past, Present, and Future içinde, M.M. Gunal ed., Springer, 2019
- Güldal H., Çakıcı Y., "Eğitsel Veri Madenciliği", Balkan Eğitim Araştırmaları, 2017, s.135-143, Erişim:26.12.2020, https://www.researchgate.net/publication/321098785_Egitsel_Veri_Madenciligi
- Güney Kore Bilim ve Teknoloji Bakanlığı Ulusal Bilim ve Teknoloji Bilgi Merkezi, "R&D Budget (Gov't)", Erişim: 25.02.2022, <https://www.ntis.go.kr/en/GpExpenditureGov.do>.
- Güney Kore Ekonomi ve Finans Bakanlığı "2020 Budget Proposal", 30 Ağustos 2019 Basın Bülteni, Erişim:23.02.2022, <http://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=4745>
- Güney Kore Ekonomi ve Finans Bakanlığı, "2021 Budget Proposal", 1 Eylül 2020 Basın Bülteni, Erişim:23.02.2022, <https://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=4967>
- Güney Kore Ekonomi ve Finans Bakanlığı, "2022 Budget Proposal", 31 Ağustos 2021 Basın Bülteni, Erişim:27.02.2022, <https://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=5200>
- Güney Kore Ekonomi ve Finans Bakanlığı, "Government Announces Korean New Deal 2.0", 14 Temmuz 2021 Basın Bülteni, Erişim:27.02.2022, <https://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=5173>
- Güney Kore Ekonomi ve Finans Bakanlığı, "Government Announces Overview of Korean New Deal", 14 Temmuz 2020 Basın Bülteni, Erişim:23.11.2020, <https://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=4940>
- Güney Kore Ekonomi ve Finans Bakanlığı, "Growth through Innovation Investment Plan", 13 Ağustos 2018 Basın Bülteni, Erişim:23.11.2020, <http://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=4532>
- Güney Kore Endüstriyel Teknoloji Kurumu, "KOITA & Industrial R&D", Erişim:23.11.2020, <http://eng.koita.or.kr/RDIndicatorsLibrary/R&D%20Indicators/kotiarn.asp>
- Harari Y.N., "Hayvanlardan Tanrılara: Sapiens-İnsan Türünün Kısa Bir Tarihi", Ertuğrul Genç çev., 12.Baskı, Kolektif Kitap, İstanbul 2016.
- Hassink R., "Towards Regionally Embedded Innovation Support Systems in South Korea?", Case Studies from Kyongbuk-Taegu and Kyonggi, Urban Studies, C:38, S:8, Temmuz 2001, s.1373-1395, Erişim:10.01.2021, https://www.researchgate.net/publication/248973591_Towards_Regionally_Embedded_Innovation_Support_Systems_in_South_Korea_Case_Studies_from_Kyongbuk-Taegu_and_Kyonggi
- Herman E., "The Importance of the Manufacturing Sector in the Romanian Economy", Procedia Technology, C:22, 2016, ss.976-983, Erişim:10.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017316001225>

- Hermann M., Pentek T., Otto B., "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review", Technische Universität Dortmund Fakultät Maschinenbau-Audi Stiftungslehrstuhl Supply Net Order Management, Working Paper No. 01/2015, Erişim:17.06.2022, https://www.researchgate.net/publication/307864150_Design_Principles_for_Industrie_40_Scenarios_A_Literature_Review/link/57cfd2fb08aed6789701cbeb/download
- Herrera R.J., Garcia-Bertrand R., "Chapter 13-The Agricultural Revolutions", Ancestral DNA, Human Origins, and Migrations içinde, R.J. Herrera, R. Garcia-Bertrand ed., Academic Press, 2018.
- Hommes C., Mattes A., Triebe D., Research and Innovation Policy in the US and Germany: A Comparison, Berlin, Ekim 2011, Erişim:25.11.2020, https://www.diw.de/documents/dokumentenarchiv/17/diw_01.c.532164.de/research_innovation_policy.pdf
- Horváth D., Szabó R.Z., "Driving Forces and Barriers of Industry 4.0: Do Multinational and Small and Medium-Sized Companies Have Equal Opportunities?", Technological Forecasting and Social Change, C:146, Eylül 2019, ss.119-132, Erişim:22.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162518315737>
- IBM İnternet Sitesi, X-Force Threat Intelligence Index 2020, s.37, Erişim:15.08.2022, <https://www.ibm.com/downloads/cas/DEDOLR3W>
- IBM İnternet Sitesi, "İş zekâsı nedir?", Erişim:15.08.2022, <https://www.ibm.com/tr-tr/analytics/business-intelligence>
- IBM İnternet Sitesi, "X-Force Tehdit İstihbarat Endeksi 2021-Yönetici Özeti", s.4, Erişim:18.08.2022, <https://www.ibm.com/downloads/cas/5NM1XEZV>
- IBM İnternet Sitesi, "X-Force Threat Intelligence Index 2022", s.22, Erişim:15.08.2022, <https://www.ibm.com/downloads/cas/ADLMYLAZ>
- IEEE Explore Digital Library, "Industry 4.1 for Wheel Machining Automation", Erişim:17.11.2020, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7378846>
- Ikram S.T., Cherukuri A.K., Li G. vd., "Big Data Analytics for Security Intelligence", Handbook of Big Data Analytics, C:2, Applications in ICT, Security and Business Analytics içinde, V. Ravi, A. K. Cherukuri ed., The Institution of Engineering and Technology, 2021.
- Industrial Value Chain Initiative (IVI), "About Us - What is IVI?", Erişim:18.11.2020, <https://iv-i.org/wp/en/>
- Industrial Value Chain Initiative (IVI), "Membership List", Erişim:18.11.2020, <https://iv-i.org/wp/en/>
- Information Technology and Innovation Foundation (ITIF), Why Manufacturing Digitalization Matters and How Countries Are Supporting It, Nisan 2018, Erişim:18.11.2020, <http://www2.itif.org/2018-manufacturing-digitalization.pdf>
- InnovatorsMag İnternet Sitesi, "Japan is Leading the Robotics Revolution", 17 Ağustos 2016, Erişim:10.11.2020, <https://www.innovatorsmag.com/japans-leads-the-robotics-revolution/>

- Institute of Entrepreneurship Development (IED) İnternet Sitesi, "The 4 Industrial Revolutions", 30 Haziran 2019, Erişim:14.06.2022, <https://ied.eu/project-updates/the-4-industrial-revolutions/>
- Institute for Security & Development Policy (ISDP), Made in China 2025, Haziran 2018, Erişim:12.05.2022, <http://isdp.eu/content/uploads/2018/06/Made-in-China-Backgrounder.pdf>
- Intellias İnternet Sitesi, "Industry 5.0: Announcing the Era of Intelligent Automation", Erişim:15.08.2022, <https://intellias.com/industry-5-0-announcing-the-era-of-intelligent-automation/>
- Internet of Things Acceleration Consortium, "IoT Acceleration Consortium", Erişim:18.11.2020, <http://www.iotac.jp/en/>
- Interreg İnternet Sitesi, "Industry 4.0-A Policy Brief from the Policy Learning Platform on Research and Innovation", Eylül 2019, Erişim:14.06.2022, https://www.interregeurope.eu/sites/default/files/inline/INDUSTRY_4.0_Policy_Brief.pdf
- IoT Business News İnternet Sitesi, "State of IoT 2022: Number of Connected IoT Devices Growing 18% to 14.4 billion globally", Erişim:12.08.2022, <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/>
- ISA Secure İnternet Sitesi, Introducing the Activities of Control System Security Center, 2014, Erişim:18.11.2020, [https://www.isasecure.org/en-US/Documents/Articles-and-Technical-Papers/201403about_CSSC_ppt_en-pdf-\(1\)](https://www.isasecure.org/en-US/Documents/Articles-and-Technical-Papers/201403about_CSSC_ppt_en-pdf-(1))
- I-Scoop İnternet Sitesi, "Additive Manufacturing and 3D Printing in Manufacturing", Erişim:18.08.2022, <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/additive-manufacturing-3d-printing/>
- I-Scoop İnternet Sitesi, "Industry 4.0 and the Fourth Industrial Revolution Explained", Erişim:10.06.2022, <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>
- I-Scoop İnternet Sitesi, "Making Sense of IoT (Internet of Things)-The IoT Business Guide", Erişim:17.06.2022, <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/>
- I-Scoop İnternet Sitesi, "Meaning, Benefits and Value of IIoT (Industrial Internet of Things)", Erişim:17.06.2022, <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iiot/industrial-internet-things-iiot-saving-costs-innovation/industrial-internet-things-iiot/>
- Ismail Y., "Introductory Chapter: Internet of Things (IoT) Importance and Its Applications", Internet of Things (IoT) for Automated and Smart Applications içinde Y. Ismail ed., IntechOpen, Londra, 2019, Erişim:17.06.2022, <https://www.intechopen.com/chapters/69788>
- Işık H., "Smart Factory Examples Around the World and Lessons to Learn From Them", 6 Eylül 2021, Erişim:20.06.2022, <https://www.threadinmotion.com/blog/smart-factories-all-around-the-globe>
- İstanbul Sanayi Odası Dijital Dönüşüm Ofisi, "Dijital Dönüşüm", Erişim:18.08.2022, <http://www.isodijital.com/dijital-donusum.html>

- İTÜ Endüstri Mühendisliği Kulübü, "Çağımızın Yükselen Devi: Hızlı Tüketim", Erişim:21.06.2022, <https://ituemk.org/cagimizin-yukselen-devi-hizli-tuketim/>
- Jagatheesaperumal S.K., Rahouti M., Ahmad K. vd."The Duo of Artificial Intelligence and Big Data for Industry 4.0: Review of Applications, Techniques, Challenges, and Future Research Directions", IEEE Internet of Things Journal, C:9, S:15, 2020, ss.12861-12885, Erişim:29.06.2022, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9667102>
- Jain R., "Challenges and Applications of Cyber Physical Systems", Design, Applications, and Maintenance of Cyber-Physical Systems içinde, P. Rea, E. Ottaviano, J. Machado, K. Antosz ed., IGI Global Hershey, 2021.
- Japonya Bakanlar Kurulu (The Cabinet Office), Report on The 5th Science and Technology Basic Plan, Aralık 2015, Erişim:11.11.2020, https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5basicplan_en.pdf
- Japonya Bakanlar Kurulu (The Cabinet Office), Science, Technology and Innovation Basic Plan, Mart 2021, Erişim:14.02.2022, https://www8.cao.go.jp/cstp/english/sti_basic_plan.pdf
- Japonya Başbakanlığı, 34. Geleceğe Yatırım Konferansı, Aralık 2019, Erişim:12.11.2020, <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/dai34/gijiyousi.pdf>
- Japonya Eğitim, Kültür, Spor, Bilim ve Teknoloji Bakanlığı, "Science and Technology Basic Plan", Erişim:11.11.2020, https://www.mext.go.jp/en/policy/science_technology/lawandplan/title01/detail01/1375311.htm
- Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı, Toward Acceleration of IoT, Haziran 2016, Erişim:18.11.2020, <https://www.iiconsortium.org/japan-forum/160603-IoT-Acceleration-Lab.pdf>
- Japonya İçişleri ve Haberleşme Bakanlığı, "Public Appeal for FY2020 R&D Themes Under International Collaborative Strategic Information and Communications R&D Promotion Programme", 19 Kasım 2019, Erişim:14.11.2020, https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/eng/pressrelease/2019/11/19_01.html
- Japonya İş Federasyonu (Keidanren), Toward Realization of The New Economy and Society, Nisan 2016, Erişim:11.11.2020, http://www.keidanren.or.jp/en/policy/2016/029_outline.pdf
- Japonya KOBİ'leri Destekleme Ajansı (SME Support Japan), "About Us", Erişim:13.11.2020, <https://www.smrj.go.jp/english/about/>
- Kagermann H., Anderl R., Gausemeier J. vd., Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating With International Partners, Acatech Study, Kasım 2016, Erişim:09.11.2020, https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2016/11/acatech_eng_STUDIE_Industrie40_global_Web.pdf
- Karacıgan A.O., İş Birlikçi Endüstriyel Robotlarda İş Güvenliği ve Risk Analizi Yaklaşımları, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2021.

- Karami M., Elahinia N., Karami S., "The Effect of Manufacturing Value Added on Economic Growth: Empirical Evidence from Europe", *Journal of Business Economics and Finance*, C:8, S:2, 2019, ss.133-147, Erişim:10.06.2022, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/745367>
- Kearney A.T., Making Indonesia 4.0, Erişim:08.01.2021, <https://kemenperin.go.id>
- Kececi E.F., *Mechatronic Components-Roadmap to Design*, Butterworth-Heinemann, 2019, ss.145-154.
- Kinoshita M., Japan on The New Industrial Revolution (NIR): Direction and Its Global Implication For Inclusive and Sustainable Industrial Development, Tokyo Üniversitesi, Mart 2019, Erişim:12.11.2020, <http://www.pp.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2016/02/51178026.pdf>
- Kim S.S., Choi Y.S., "The Innovative Platform Programme in South Korea: Economic Policies in Innovation-Driven Growth", *Foresight and STI Governance*, 2019, C:13, S:3, s.13-22, Erişim:23.11.2020, <https://foresight-journal.hse.ru/data/2019/10/06/1540153470/2-Kim-13-22.pdf>
- Knapp E.D., Langill J.T., *Industrial Network Security-Securing Critical Infrastructure Networks for Smart Grid, SCADA and Other Industrial Control Systems*, 2.Baskı, Syngress, 2015.
- Koh L., Orzes G., Jia F., "The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): Technologies Disruption on Operations and Supply Chain Management", *International Journal of Operations & Production Management*, C:39 S:6/7/8, ss.817-828, Erişim:16.06.2022, <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJOPM-08-2019-788/full/html>
- Konina N., "19-Conclusion: The Fourth Industrial Revolution-Further Research Agenda", *Digital Strategies in a Global Market-Navigating the Fourth Industrial Revolution içinde*, N. Konina ed., Palgrave-MacMillan 2021.
- Kontrol Sistemi Güvenlik Merkezi (Control System Security Center), "About Our Center: Overview", Erişim:10.02.2022, <http://www.css-center.or.jp/en/aboutus/>
- Koştı G., Burmaoğlu S., Kıdak L., "Sağlık 4.0: Sanayide Öngörülen Gelişimin Sağlık Sektörüne Yansımaları", *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, C:24, S:3, 2021, s.483-506, Erişim:28.02.2022, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1560472>
- KPMG İnternet Sitesi, Sanayi 4.0, Kasım 2015, Erişim:21.06.2022, <https://home.kpmg/content/dam/kpmg/tr/pdf/2016/08/tr-sanayi-4.PDF>
- Kramp T., Van Kranenburg, Lange S., "Introduction to the Internet of Things", *Enabling Things to Talk-Designing IoT solutions with the IoT Architectural Reference Model içinde* ed., A. Bassi, M. Bauer, M. Fiedler, T. Kramp, R. Van Kranenburg, Lange S., S. Meissner, Springer, 2013, ss.1-10.
- Kumar A., Nayyar A., "si3-Industry: A Sustainable, Intelligent, Innovative, Internet-of-Things Industry", *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development içinde*, A. Nayyar, A. Kumar ed., Springer Nature 2020.

- Kuo C.C., Shyu J.Z., Ding K., "Industrial Revitalization Via Industry 4.0-A Comparative Policy Analysis Among China, Germany and the USA", *Global Transitions*, C:1, 2019, ss.3-14, Erişim:22.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589791819300039>
- Kushida K.E., Murray J., Zysman J., "Diffusing the Cloud: Cloud Computing and Implications for Public Policy", *Journal of Industry, Competition and Trade*, 2011, C:11, S:3, Eylül 2011, ss.209-237.
- Küresel Üretim ve Sanayileşme Zirvesi (GMIS), Germany 4.0: The Future of Manufacturing Hannover, Ekim 2019, Erişim:18.11.2020, <https://www.gmisummit.com/wp-content/uploads/2019/10/Germany-4.0.pdf>
- Küresel Üretim ve Sanayileşme Zirvesi (GMIS), The Future of Manufacturing - China, Shenzen, Mart 2019, Erişim:20.12.2019, https://gmisummit.com/wp-content/uploads/2019/04/PwC-and-GMIS-Report-on-The-Future-of-Manufacturing-in-China_17.pdf
- Lazarova-Molnara S., Mohamed N., "Reliability Assessment in the Context of Industry 4.0: Data as a Game Changer", *Procedia Computer Science* C:151 2019, ss.691-698.
- Lee M., Yun J.J., Pyka A. vd., "How to Respond to the Fourth Industrial Revolution, or the Second Information Technology Revolution? Dynamic New Combinations between Technology, Market, and Society through Open Innovation", *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, C:4, S:3, 2018, ss.1-24, Erişim:17.06.2022, <https://www.mdpi.com/2199-8531/4/3/21>
- Lezzi M., Lazoi M., Corallo A., "Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework", *Computers in Industry*, C:103, Aralık 2018, ss.97-110, Erişim:15.08.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361518303658>
- Liu G., Zhang X., Chen X., "Additive Manufacturing of Structural Materials", *Materials Science & Engineering R: Reports*, C:145, Temmuz 2021, ss.1-67, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927796X20300541>
- Long C.K., Agrawal A., Trung H.Q. vd., "A Big Data Framework for E-Government in Industry 4.0", *Open Computer Science*, C:11 S:1 2021, ss.461-479, <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/comp-2020-0191/html>
- Loughborough Üniversitesi, "About Additive Manufacturing", Erişim:18.08.2022, <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/whatisam/>
- Macquarie İnternet Sitesi, "Why China is Focused on a Robotic Future", Erişim:17.05.2022, Mayıs 2022, <https://www.macquarie.com/au/en/perspectives/why-china-is-focused-on-a-robotic-future.html>
- Madsen A.J., The SAM100: Analyzing Labor Productivity, Erişim:05.08.2022, <https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1275&context=cmsp>
- Madsen D.Ø., "The Emergence and Rise of Industry 4.0 Viewed through the Lens of Management Fashion Theory", *Administrative Sciences*,

- C:9, S:3, 2019, ss.1-25, Erişim:10.06.2022, <https://www.mdpi.com/2076-3387/9/3/71>
- Magnelli A., Verreschi G., Ventrella M., "Bringing Knowledge and Emotion to the Industrial Field: ETT's AR/VR Solutions", Augmented Reality and Virtual Reality-New Trends in Immersive Technology içinde, M. Claudia, T. Dieck, T. H. Jung, S. M. C. Loureiro ed., Springer 2021.
- Makine Mühendisleri Odası, Lineer Eyleyici (Aktüatör), Mühendis ve Makina C:47 S:559, Erişim:21.06.2022, https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/f96613235062963_ek.pdf
- Manufacturing USA İnternet Sitesi, "About Us", Erişim: 09.08.2022, <https://www.manufacturingusa.com/about-us>
- Maresova P., Soukal I., Svobodova L. vd., "Consequences of Industry 4.0 in Business and Economics", Economies, C:6, S:3, 2018, ss.1-14, <https://www.mdpi.com/2227-7099/6/3/46/htm>
- Marr B., "Extended Reality In Practice-100+ Amazing Ways Virtual, Augmented and Mixed Reality are Changing Business and Society", Wiley 2021.
- Marr B., "What is Industry 4.0? Here's A Super Easy Explanation for Anyone", Forbes, 02 Eylül 2018, Erişim:05.08.2022, <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/?sh=63fdcaf69788>
- Mattauch W., Digitising European Industries - Member States Profile: Germany, 26 Ekim 2017, Erişim:13.11.2020, https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/de_country_analysis.pdf
- McKinsey&Company İnternet Sitesi, Developing the Future of Manufacturing, Erişim:21.06.2022, <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Operations/How%20we%20help%20clients/Capability%20Center%20Network/PDFs/DCC%20Venice%20Brochure.pdf>
- Mercator Çin Araştırmaları Enstitüsü (MERICS), Made in China 2025, Aralık 2016, Erişim:20.03.2022, <https://merics.org/sites/default/files/2020-04/Made%20in%20China%202025.pdf>
- Mitsubishi Electric, "e-F@ctory Alliance", Erişim:16.11.2020, <https://eu3a.mitsubishielectric.com/fa/en/solutions/efactory/alliance>
- Mohiuddin M., Al Azad M.S., Ahmed S. vd., "Evolution of Industry 4.0 and Its Implications for International Business", Global Trade in the Emerging Business Environment içinde, M. Mohiuddin, J. Wang, Md. S. Al Azad, S. Ahmed ed., IntechOPen Londra, 2022, Erişim:28.06.2022, <https://www.intechopen.com/online-first/80058>
- Mokyr J., "Editor's Introduction: The New Economic History and the Industrial Revolution", The British industrial revolution: an economic perspective içinde, J. Mokyr ed., 2.Baskı, Westview Press, 1999.
- Moll I., "The Myth of the Fourth Industrial Revolution", Theoria, C:68, S:167, Haziran 2021, ss.1-38, Erişim:14.06.2022, <https://www.berghahnjournals.com/view/journals/theoria/68/167/th6816701.xml>

- Monroe Engineering İnternet Sitesi, "3D Printing vs Additive Manufacturing: What's the Difference?", 2 Nisan 2020, Erişim:12.08.2022, <https://monroeengineering.com/blog/3d-printing-vs-additive-manufacturing-whats-the-difference/>
- More C., "Understanding the Industrial Revolution", Routledge, New York, 2000.
- Müller J.M., Kiel D., Voigt K.I., "What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability", Sustainability, C:10 S:1, 2018, ss.1-24, Erişim:14.06.2022, <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/1/247>
- Munirathinam S., "Industry 4.0: Industrial Internet of Things (IIOT)", The Digital Twin Paradigm for Smarter Systems and Environments: The Industry Use Cases içinde, P. Raj, P. Evangeline ed., Advances in Computers, C:117, S:1, 2020, ss.129-164, Erişim:20.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/bookseries/advances-in-computers/vol/117/issue/1>
- National Institute of Standards and Technology, "Glossary-Actuator", Erişim:21.06.2022, <https://csrc.nist.gov/glossary/term/actuator>;
- Nano Dimension İnternet Sitesi, "Nano Dimension Disrupts Printed Electronics with World's First 3D Printer Dedicated to Ultra-Rapid Prototyping of PCBs", Erişim:23.08.2022, <https://www.nano-di.com/newsroom/nano-dimension-disrupts-printed-electronics-with-worlds-first-3d-printer-dedicated-to-ultra-rapid-prototyping-of-pcb>s;
- New York Times Gazetesi, "Humans Take a Step Closer to Flying Cars", 29 Ağustos 2020, Erişim:19.11.2020, <https://www.nytimes.com/2020/08/29/world/asia/japan-flying-car.html>
- Nexus Integra İnternet Sitesi, "Why is Big Data the core of the 4.0 industry?", Erişim:27.06.2022, <https://nexusintegra.io/big-data-industry-4-0/>
- Orth M., Industry 4.0 – explained in simple terms, The Germany Portal, 24.08.2018, Erişim:20.06.2022, <https://www.deutschland.de/en/topic/business/what-industry-40-means-and-what-benefits-it-brings>
- Observatory of Economic Complexity (OEC), "Telephones", Erişim:25.06.2022, <https://oec.world/en/profile/hs/telephones>
- ODTÜ, "IPv6 Nedir?", Erişim:20.06.2022, https://ipv6.metu.edu.tr/ipv6_nedir.html
- ODTÜ, "Türkiye İnternet'inin 10. Yaşını Doğduğu Yerde, "ODTÜ'de", Kutladık...", Erişim:20.06.2022, <http://www.internetarsivi.metu.edu.tr/10yil.php>
- OECD, Better Policies For Better Lives – Korea: R&D Tax Incentives, 2020, Erişim:15.02.2022, <https://www.oecd.org/sti/rd-tax-stats-korea.pdf>
- OECD, "China-Innovation and Technology", Erişim:26.06.2022, <https://data.oecd.org/china-people-s-republic-of.htm#profile-innovationandtechnology>
- OECD, Better Policies Series - Korea: Policy Priorities For a Dynamic, Inclusive and Creative Economy, Ekim 2015, Erişim:23.11.2020, <https://www.oecd.org>

- org/korea/korea-policy-priorities-for-a-dynamic-inclusive-and-creative-economy-EN.pdf
- OECD, Enabling the Next Production Revolution: The Future of Manufacturing and Services-Interim Report, 2016, s.6, Erişim:10.06.2022, <https://www.oecd.org/mcm/documents/Enabling-the-next-production-revolution-the-future-of-manufacturing-and-services-interim-report.pdf>
- OECD, "Gross Domestic Spending on R&D", Erişim:29.06.2022, <https://data.oecd.org/rd/gross-domestic-spending-on-r-d.htm>
- OECD, ICT Investments in OECD Countries and Partner Economies: Trends, Policies and Evaluation, OECD Digital Economy Papers, S:280, Nisan 2019, Erişim:14.11.2020, https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-digital-economy-papers_20716826
- OECD, Industry and Technology Policies in Korea, Mayıs 2014, Erişim:17.11.2020, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264213227-en.pdf?expires=1578316378&id=id&accname=oid021501&checksum=C95C7004485A0AACD9CEA7A04E1CCC1A>
- OECD, "Innovation and Technology", Erişim:30.06.2022, <https://data.oecd.org/innovation-and-technology.htm>
- OECD, "Main Science and Technology Indicators", Erişim:17.06.2022, https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB#
- OECD, "Main Science and Technology Indicators - GERD as a Percentage of GDP", Erişim:17.06.2022, https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB#
- OECD, "OECD Research and Development Expenditure in Industry 2020", Erişim:26.06.2022, https://read.oecd-ilibrary.org/industry-and-services/oecd-research-and-development-expenditure-in-industry-2020_c86631b8-en#page90
- OECD, "Researchers", Erişim:29.06.2022, <https://data.oecd.org/rd/researchers.htm>
- OECD, "Research and Development", Erişim:11.02.2022, [https://data.oecd.org/innovation-and-technology.htm#profile-Research%20and%20development%20\(R&D\)](https://data.oecd.org/innovation-and-technology.htm#profile-Research%20and%20development%20(R&D))
- OECD, "The Next Production Revolution: A Report for The G20", Erişim:17.06.2022, <https://www.oecd.org/g20/summits/hamburg/the-next-production-revolution-G20-report.pdf>
- Oğuztürk B.S., "Güney Kore'nin Kalkınmasında İnovasyonun Rolü", Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, C:3, S:5, Yaz 2011, s.48-53, Erişim:10.01.2021, <https://core.ac.uk/download/pdf/148739686.pdf>
- Open Access Government İnternet Sitesi, "Japan's 6th Science, Technology and Innovation Basic Plan", 22 Eylül 2021, Erişim:16.02.2002, <https://www.openaccessgovernment.org/japans-6th-science-technology-and-innovation-basic-plan/120486/>
- Özdemir A., Özgüner M., "Endüstri 4.0 ve Lojistik Sektörüne Etkileri: Lojistik 4.0", İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi, C:6, S:4, 2018, s.39-47, Erişim:

- 28.02.2022, [https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/842544#:~:text=End%C3%BCstri%204.0%20ile%20birlikte%20makinelerin,gelecek-tir%20\(Tavuk%C3%A7u%C4%9Flu%2C%202017](https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/842544#:~:text=End%C3%BCstri%204.0%20ile%20birlikte%20makinelerin,gelecek-tir%20(Tavuk%C3%A7u%C4%9Flu%2C%202017)
- Özkan M., Al A., Yavuz S., "Uluslararası Politik Ekonomi Açısından Dördüncü Sanayi-Endüstri Devrimi'nin Etkileri ve Türkiye", Siyasal Bilimler Dergisi, C:1, S:1, s.126-156, 2018, Erişim:08.11.2020, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/463762>
- Özkurt C., Savunma Sanayinde Dijitalleşmenin Kurumsal Niteliklere Etkisinin Yapay Zekâ Yöntemleri ile Öngörülmesi: Sakarya İli Örneği, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Temmuz 2020, Erişim: 28.02.2022 <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/bitstream/handle/20.500.12619/96803/T09389.pdf?sequence=1>
- Öztemel E., "Eğitimde Yeni Yönelimlerin Değerlendirilmesi ve Eğitim 4.0", Üniversite Araştırmaları Dergisi, C: 1, S: 1, Nisan 2018, s. 25-30, Erişim: 26.12.2020, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/451373>
- Öztemel E., Gürsev S., "Literature Review of Industry 4.0 and Related Technologies", Journal of Intelligent Manufacturing, C:31, S:1, 2018, ss.127-182, Erişim:17.06.2022, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10845-018-1433-8>
- Öztemel E., Gürsev S., "Türkiye'de Lojistik Yönetiminde Endüstri 4.0 Etkileri ve Yatırım İmkanlarına Bakış Üzerine Anket Uygulaması", Marmara Fen Bilimleri Dergisi, C:30, S:2, 2018, ss.145-154, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/marufbd/issue/37072/408560>
- Öztemel E., "Endüstri 4.0 ve Yapay Zekâ", TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, S:607, Haziran 2018, ss.78-85, https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/78_85_endustri_yapayzeka_haziran_2018.pdf
- Öztuna B., "Logistics 4.0 and Technologic Applications, Logistics 4.0 and Future of Supply Chains", Logistics 4.0 and Future of Supply Chains. Accounting, Finance, Sustainability, Governance & Fraud: Theory and Application içinde, İ. İyigün, Ö.F. Görçün ed., Springer Singapore 2022.
- Öztürk Çelebi G., "Tarih Öncesi Dönemlerde İletişim", Etkileşim, Y:1 S:2, Ekim 2018, s.142-157)
- Pacheeri R.K., Parthiban A.R.J.K., "Privacy-Preserving Techniques in Big Data", Handbook of Big Data Analytics, C:2, Applications in ICT, security and business analytics içinde, V. Ravi, A. Kumar Cherukuri ed., The Institution of Engineering and Technology, Londra 2021.
- Pain T., Understanding OPC, Erişim:24.06.2022, <https://www.novotek.com/wp-content/uploads/sites/9/NovotekBenelux/SOLUTIONIDUSTRIELE-COMMUNICATIE/Uitleg-over-OPC-in-een-e-book.pdf>
- Pardus İnternet Sitesi, "Analiz ve Kavram Kanıtlama", Erişim:19.09.2022, http://rehber.pardus.org.tr/_sources/B2-Analiz.rst.txt
- Pascual D.G., Daponte P., Kumar U., "Handbook of Industry 4.0 and SMART Systems", CRC Press 2020.

- Pereira A.C., Romero F., "A Review of the Meanings and the Implications of the Industry 4.0 Concept", *Procedia Manufacturing*, C:13, 2017, ss.1206-1214, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917306649>
- Perkin H., "The Origins of Modern English Society", Second Edition, Routledge, 2002.
- Pfeiffer S., "The Vision of "Industrie 4.0" in the Making-A Case of Future Told, Tamed, and Traded, Nanoethics" C:11, S:1, Nisan 2017, ss.107-121, Erişim:20.06.2022, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11569-016-0280-3>
- Philbeck T., Davis N., "The Fourth Industrial Revolution: Shaping A New Era", *Journal of International Affairs*, 22 Ocak 2019, Erişim:07.06.2022, <https://jia.sipa.columbia.edu/fourth-industrial-revolution-shaping-new-era>
- Popkova E.G., Ragulina Y.V., Bogoviz A.V., "Fundamental Differences of Transition to Industry 4.0 from Previous Industrial Revolutions", *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century içinde*, E.G. Popkova, Y.V. Ragulina, A.V. Bogoviz ed., Springer International Publishing, 2019.
- Poplawski G., Bajczuk R., *Industry 4.0 Germany's New Industrial Policy*, Center for Eastern Studies, Varşova, Nisan 2019, Erişim:16.11.2020, https://www.academia.edu/39196192/Industry_4_0_Germanys_new_industrial_policy?auto=download
- Pozdnyakova U.A., Golikov V.V., Peters I.A. vd., "Genesis of the Revolutionary Transition to Industry 4.0 in the 21st Century and Overview of Previous Industrial Revolutions", *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century içinde*, E.G. Popkova, Y.V. Ragulina, A.V. Bogoviz ed., Springer International Publishing AG, 2019.
- Prause M., *Challenges of Industry 4.0 Technology Adoption for SMEs: The Case of Japan*, C:11, S:20, Ekim 2019, s.1-13, Erişim:12.11.2020, <https://ideas.repec.org/a/gam/jsusta/v11y2019i20p5807-d278259.html>
- President's Council of Advisors on Science and Technology, "Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing", Erişim:10.06.2022, <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-advanced-manufacturing-june2011.pdf>
- Procttohr M., Wilkins J., "4.0 Sight-Digital Industry Around the World", *EU Automation*, Erişim:20.06.2022, <https://www.euautomation.com/4sight?>
- Purdy M., Daugherty P., *Why Artificial Intelligence is the Future of Growth*, Accenture Institute Working Paper, 2016, Erişim:06.11.2020, https://www.accenture.com/t20170524t055435_w_/ca-en/_acnmedia/pdf-52/accenture-why-ai-is-the-future-of-growth.pdf
- Purdy M., Davarzani L., *The Growth Game-Changer: How the Industrial Internet of Things Can Drive Progress and Prosperity*, Accenture Institute Working Paper, 2015, Erişim:06.11.2020, https://www.accenture.com/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Dualpub_18/Accenture-Industrial-Internet-Things-Growth-Game-Changer.pdf

- PwC Global İnternet Sitesi, Seeing is believing, Erişim:19.08.2022, <https://www.pwc.com/SeeingsBelieving>
- PwC İnternet Sitesi, "Industry 4.0: Companies Worldwide are Investing over \$US 900 billion per year until 2020", Erişim:18.02.2021, <https://www.pwc.by/en/press-releases/industry-4-0.html>
- Rea P., Ottaviano E., Machado J. vd., "Preface", Design, Applications, and Maintenance of Cyber-Physical Systems, IGI Global Hershey 2021.
- Reis J.Z., Gonçalves R.F., "The Role of Internet of Services (IoS) on Industry 4.0 Through the Service Oriented Architecture (SOA)", IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS), Ağustos 2018, Erişim:20.06.2022, <https://hal.inria.fr/hal-02177890/document>
- Rejikumar G., Raja Sreedharan V., Arunprasad P. vd., "Industry 4.0: Key Findings and Analysis From the Literature Arena", Benchmarking: An International Journal, C:26 S:8, 2019, ss.2514-2542, <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/BIJ-09-2018-0281/full/html>
- REWO İnternet Sitesi, "A Few Examples of Industry 4.0", Erişim:12.08.2022, <https://www.rewo.io/real-world-examples-of-industry-4-0/>
- RMIT Üniversitesi, "Industry 4.0 Design Principles", Erişim:24.06.2022, <https://www.rmit.edu.au/news/c4de/industry-4-0-design-principles>
- Roblek V., Erenda I., Mesko M., "Fundamental Changes in the Organisational Processes Industry 4.0 Case Study", Industry 4.0-Challenges, Trends, and Solutions in Management and Engineering içinde, C. Machado, J. P. Davim ed., CRC Press 2020.
- Rojko A., "Industry 4.0 Concept: Background and Overview", International Journal of Interactive Mobile Technologies, C:11, S:5, 2017, ss.77-90, Erişim:10.06.2022, <https://online-journals.org/index.php/i-jim/article/view/7072>
- Roland Berger İnternet Sitesi, The Industrie 4.0 Transition Quantified, Erişim:08.01.2020, www.rolandberger.com/publications/publication_pdf
- Roland Berger İnternet Sitesi, Think Act-Beyond Mainstream- The Industrie 4.0 Transition Quantified-How the Fourth Industrial Revolution is Reshuffling the Economic, Social and Industrial Model, Erişim:21.06.2022, https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_industry_40_20160609.pdf
- Rüßmann M., Lorenz M., Gerbert P. vd., "Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries", Boston Consulting Group, Nisan 2015, Erişim:08.06.2022, https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries
- Sakong M., "The Progress of the Fourth Industrial Revolution in Japan and Its Implications", KIET Industrial Economic Review, C:22, S:2, Mart-Nisan 2017, Erişim:10.11.2020, http://kiet.re.kr/part/sDownload.jsp?s_idx=45026

- Safar L., Sopko J., Bednar S. vd., "Concept of SME Business Model for Industry 4.0 Environment", Technology, Education, Management, Informatics Journal, C:7, S:3, August 2018, ss.626-637, Erişim:22.06.2022, https://www.temjournal.com/content/73/TemJournalAugust2018_626_637.html
- Sanders A., Elangeswaran C., Wulfsberg J., "Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing", Journal of Industrial Engineering and Management, C:9, S:3, 2016, ss.811-833, Erişim:17.06.2022, <http://www.jiem.org/index.php/jiem/article/view/1940>
- Sawicka, M.M., Paliszkievicz J., Nassir A. vd., "The Internet of Things Challenges – Country And Industry Analyses", Issues in Information Systems Dergisi, C:21, S:4, Ocak 2020, s.26-35, Erişim:03.07.2022, https://www.researchgate.net/publication/344417463_THE_INTERNET_OF_THINGS_CHALLENGES_COUNTRY_AND_INDUSTRY_ANALYSES
- Schneider T., Hong G.H., Le A.V., "Land of Rising Robots", Finance and Development, C:55, S:2, Haziran 2018, s.38-31, Erişim:17.11.2020, <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2018/06/japan-labor-force-artificial-intelligence-and-robots/schneider.pdf>
- Schoder D., "Introduction to the Internet of Things", Internet of Things A to Z: Technologies and Applications içinde, Q. F. Hassan ed., Wiley-IEEE Press, Mayıs 2018.
- Schroeder W., Germany's Industry 4.0 Strategy: Rhine Capitalism in the Age of Digitalisation, Kasım 2016, Erişim: 11.11.2020, https://www.feslondon.org/fileadmin/user_upload/publications/files/FESLondon_Schroeder_Germanys-Industrie-40-Strategy.pdf
- Schwab K., "The Fourth Industrial Revolution", Dünya Ekonomik Forumu (WEF), 2016.
- Science Encyclopedia, "Assembly Line", Erişim:13.06.2022, <https://science.jrank.org/pages/558/Assembly-Line-History.html>
- Selfbits İnternet Sitesi, "Why Industry 4.0?", Erişim:16.06.2022, <https://selfbits.de/en/learn/digital-production-industry-4-0/>
- Shinde G.R., Dhotre P.S., Mahalle P.N. vd., "Internet of Things Integrated Augmented Reality", Springer, 2021.
- Siemens İnternet Sitesi, "Leading as the Digital Enterprise Electronics Works Amberg Digitalization Practices", s.2, Erişim:13.09.2022, <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:8b971a6fa82393411523d-354cefc6093020c75b4/dffa-b10367-00-7600-ewa-broschuere-en-final.pdf>
- Siemens, MindSphere, Erişim:24.11.2020, https://www.plm.automation.siemens.com/media/global/en/Siemens_MindSphere_Whitepaper_tcm27-9395.pdf
- Siemens, Siemens Info, E-Dergi, 2018, Erişim:24.11.2020, <http://siemens.e-dergi.com/pubs/siemens-info/2018/201801/assets/common/downloads/page0002.pdf>

- Skilton M., Hovsepien F., *The 4th Industrial Revolution Responding to the Impact of Artificial Intelligence on Business*, Palgrave MacMillan, 2017.
- SkyDrive İnternet Sitesi, "Move Forward Step by Step", Erişim:19.11.2020, <http://en.skydrive2020.com/timeline/>
- SkyDrive İnternet Sitesi, "SkyDrive Demo Flight in The 2020 Summer", Erişim:19.11.2020, <http://en.skydrive2020.com/>
- Smart Industry İnternet Sitesi, A factory of the future...in Amberg, Erişim:13.09.2022, <https://www.smartindustry.com/benefits-of-transformation/advanced-control/article/11290138/a-factory-of-the-futurein-amberg>
- Sniderman B., Mahto M., Cotteleer M.J., *Industry 4.0 and Manufacturing Ecosystems- Exploring the World of Connected Enterprises*, Deloitte İnternet Sitesi, Erişim:08.06.2022, https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/manufacturing-ecosystems-exploring-world-connected-enterprises/DUP_2898_Industry4.0ManufacturingEcosystems.pdf
- Sony M., "Pros and cons Of Implementing Industry 4.0 For The Organizations: A Review And Synthesis Of Evidence", *Production & Manufacturing Research*, C:1 S:8, s.253-261, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21693277.2020.1781705>
- Soylu A., "Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar", *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, S:32, 2018, ss.43-57, Erişim: 17.06.2022, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pausbed/issue/38315/424955>
- Söylemez S.A., *Yenilik Ekonomisinin Temelleri, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu*, 2020, Erişim:10.06.2022, <https://owncloud.tubitak.gov.tr/index.php/s/6L8E5VYQvncm2GH/download?path=%2F&files=Yenilik%20Ekonomisi%20.epub&downloadStartSecret=efj3rm03efq>
- Springer M., Schnelzer J., *Differentiation of Industry 4.0 Models-The 4th Industrial Revolution from different Regional Perspectives in the Global North and Global South*, *Regional Academy on the United Nations*, Viyana 2019, s.11, Erişim:10.06.2022, http://www.ra-un.org/uploads/4/7/5/4/47544571/1_unido_differentiation_of_industry_4.0_models.pdf
- Staufen İnternet Sitesi, *German Industry 4.0 Index 2019*, Erişim:18.11.2020, https://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEN.-Study-Industry-4-0-index-2019-en_.pdf
- Statista İnternet Sitesi, "Application of Additive Manufacturing Technology by Country 2019", Erişim:26.06.2022, <https://www.statista.com/statistics/1268735/experience-of-countries-with-additive-manufacturing-technology/>
- Statista İnternet Sitesi, "Artificial Intelligence Market Revenue North America 2017-2028", Erişim:03.07.2022, <https://www.statista.com/statistics/721748/north-america-artificial-intelligence-market/>
- Statista İnternet Sitesi, "Countries/Regions Where Top U.S. AI Researchers Received Their Undergraduate Degree", Erişim:03.07.2022, <https://www.>

- statista.com/statistics/1231832/us-distribution-top-ai-researchers-degre-e-country-region
- Statista İnternet Sitesi, "In-depth: Industry 4.0 2021, Statista Digital Market Outlook", June 2021, Erişim:10.06.2022, <https://www.statista.com/study/66974/in-depth-report-industry-40/>
- Statista İnternet Sitesi, "Internet of Things in the U.S.-Statistics & Facts", Erişim:01.07.2022, https://www.statista.com/topics/5236/internet-of-things-iot-in-the-us/#topicHeader__wrapper
- Statista İnternet Sitesi, "IoT connections North America 2018, 2019 and 2025", Erişim:01.07.2022, <https://www.statista.com/statistics/933099/iot-connections-north-america/>
- Statista İnternet Sitesi, "Leading 10 Footwear Producers Worldwide from 2013 to 2020, by Country (in Million Pairs)", Erişim:25.06.2022, <https://www.statista.com/statistics/227256/leading-10-global-footwear-producers-by-country/>
- Statista İnternet Sitesi, "Private Investments in AI by Geographical Area 2020", Erişim:03.07.2022, <https://www.statista.com/statistics/1226538/ai-private-investments-by-area>
- Steden P., "Industry 4.0-Overview and Policy Implications", Berlin/Minsk, Mart 2019, s.9, Erişim:09.06.2022, https://www.german-economic-team.com/wp-content/uploads/2022/01/PB_01_2019_en.pdf
- STM Teknolojik Düşünce Merkezi, Günümüzde ve Yakın Gelecekte Robotlar, Nisan 2021, s.3, Erişim:28.02.2022, https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1619621283_stm-outlook-robotlar.pdf
- Sukhodolov Y.A., "The Notion, Essence, and Peculiarities of Industry 4.0 as a Sphere of Industry", Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century, Springer International Publishing AG, 2019.
- Suk-ye J., "Innovation in Manufacturing 3.0 Strategy Needs Better Focus with Clearer Direction", Business Korea Haber Portalı, 19 Kasım 2015, Erişim:23.11.2020, <http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=13060>
- Sundaram S.K., "Industrial Internet of Things (IIoT) Applications", Securing IoT in Industry 4.0 Applications with Blockchain içinde, P. Kaliraj T. Devi ed., CRC Press, 2022.
- Sutagundar A.V., Hatti D., "Data Management in Internet of Things", Handbook of Research on Wireless Sensor Network Trends, Technologies, and Applications, 2017, Erişim:17.06.2022, <https://www.igi-global.com/chapter/data-management-in-internet-of-things/162378>
- Symphony AI İnternet Sitesi, "Industry 4.0", Erişim:24.06.2022, <https://symphonyindustrial.ai/industry-4-0/>
- Şahin C., Ülkelerin Endüstri 4.0 Düzeylerinin Copras Yöntemi ile Analizi: G-20 Ülkeleri ve Türkiye, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Bartın, 2019, Erişim:08.11.2020, <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

- Şeker A., Diri B., Balık H.H., "Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme", Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, C:3, S:3, 2017, ss.47-64, Erişim:28.06.2022, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gmbd/issue/31064/372661>
- Şeker S., Şeker F., "Token'lardan Çivi Yazılı Kil Tabletlerle: Yazının İcadında Muhasebenin İzleri", Accounting and Financial History Research Journal, Ocak 2019, S:16, ss.86-110, Erişim:24.06.2022, <https://dergipark.org.tr/en/pub/muftad/issue/42022/506091>
- Taymaz E., Dijital Teknolojiler ve Ekonomik Büyüme Raporu, TÜSİAD, İstanbul, 2018, Erişim:15.06.2022, <https://www.tusiad.org.tr/yayinlar/raporlar/item/10130-dijital-teknolojiler-ve-ekonomik-buyume-raporu>
- T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Türkiye'nin Sanayi Devrimi-Dijital Türkiye Yol Haritası, s.30-31, Erişim:27.06.2022, <https://www.sanayi.gov.tr/tsddtyh.pdf>
- T.C. Ekonomi Bakanlığı, "Kümeler İçin Değer Zinciri Yönetimi Kılavuzu", s.19-20, Erişim:20.06.2022, http://www.urge.gov.tr/userfiles/pdf/UR-GEProje-HazirlamaVeUygulamaKilavuzu_Web.pdf
- T.C. Kalkınma Bakanlığı, On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)-Sanayide Dijitalleşme Çalışma Grubu Raporu, Ankara 2018, Erişim:24.06.2022, <https://sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/SanayideDijitallesmeCalismaGrubuRaporu.pdf>
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Mesleğim Hayatım Portalı, "Simülasyon", Erişim:14.09.2022, <https://meslegimhayatim.meb.gov.tr/dijital/simulasyon>
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, "3D Yazıcı", Erişim:23.08.2022, <https://meslegimhayatim.meb.gov.tr/dijital/3d-yazici>
- T.C. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, "2. Tarım Devrimi ve Sonuçları", s.25, Erişim:14.06.2022, <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/yyavuz/131676/02-TARIM%20DEVIR%C4%B0M%C4%B0%20VE%20SONU%C3%87LARI.pdf>
- T.C. Sağlık Bakanlığı, Tam Donanımlı Dijital Hastane Kılavuzu, Erişim:28.02.2022 <https://dijitalhastane.saglik.gov.tr/Eklenti/23473,tam-donanimli-dijital-hastane-kilavuzupdf.pdf?0>
- T.C. Ticaret Bakanlığı, ABD Ülke Profili, Erişim:01.07.2022, <https://ticaret.gov.tr/data/5efc52d313b876f898f3c285/ABD.pdf>
- T.C. Ticaret Bakanlığı, Japonya Ülke Raporu, 2020, Erişim:09.11.2020, <https://ticaret.gov.tr/data/5efb27c313b876a618413658/%C3%9CLKE%20PROF%C4%B0L%C4%B0.pdf>
- Terzi R., Sağıroğlu Ş., Demirezen M.U., "Büyük Veri ve Açık Veri: Temel Kavramlar", Büyük Veri ve Açık Veri Analitiği: Yöntemler ve Uygulamalar, Ş. Sağıroğlu, O. Koç ed., Ankara 2017, Erişim:14.09.2022, https://bigdatacenter.gazi.edu.tr/wp-content/uploads/buyuk_veri_ve_acik_veri_analitigi.pdf
- The Economist, SMEs in Japan: A New Growth Driver?, 2010, Erişim:13.11.2020, http://viewswire.eiu.com/report_dl.asp?mode=fi&fi=1227698307.PDF

- The EQuIP Project İnternet Sitesi, "Enhancing the Quality of Industrial Policies (EQuIP)-Tool 12", Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)-UNIDO, Erişim:10.06.2022, <https://www.equip-project.org/wp-content/uploads/2020/01/Industry-4.0-Tool-12.pdf>
- The International Society of Automation (ISA) İnternet Sitesi, "Cyber-Physical Systems: The Core of Industry 4.0", Erişim:21.06.2022, <https://blog.isa.org/cyber-physical-systems-the-core-of-industry-4.0>
- The Korea Herald, "KT introduces smart factory robotic solution", 30 Haziran 2020, Erişim:21.10.2022, <https://www.koreaherald.com/view.php?ud=20200630000674>
- Tinmaz H., "History of Industrial Revolutions: From Homo Sapiens Hunters to Bitcoin Hunters", Blockchain Technology for Industry 4.0-Secure, Decentralized, Distributed and Trusted Industry Environment içinde, R. R. Righi, A. M. Alberti, M. Singh, ed., Springer Nature, Singapur, 2020.
- Tillvaxtanalys İnternet Sitesi, Japan's 5th Science and Technology Basic Plan (2016-2020), Erişim:11.11.2020, <https://www.tillvaxtanalys.se/download/18.62dd45451715a00666f169a1/1586366153339/Japans%20fem%C3%A5rsplan.pdf>
- TOBB, "RFID Teknolojisi", Erişim:21.06.2022, https://gs1.tobb.org.tr/icerik_goster.php?Id=15
- TÜBİTAK, "Biyometrik Bir Alt Uzun Dış İskelet Robotun Tasarımı ve Denetimi", Nisan 2017, Erişim:28.06.2022, <https://open.metu.edu.tr/bitstream/handle/11511/50200/TVRneU5qUTA.pdf>
- TÜBİTAK, Yeni Sanayi Devrimi: Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası, 2016, Erişim:17.06.2022, https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/akilli_uretim_sistemleri_tyh_v27aralik2016.pdf
- Türkiye İş Bankası, "IP Adresi Hakkında Bilmeniz Gerekenler", Erişim:23.06.2022, <https://www.isbank.com.tr/blog/ip-adresi-nedir>
- Türkiye İş Bankası, "NFC Teknolojisi Hakkında Bilmeniz Gerekenler", Erişim:14.09.2022, <https://www.isbank.com.tr/blog/nfc-teknolojisi-hakkinda-bilmeniz-gerekenler>
- Türkiye Makina İmalatçıları Birliği, "Nesnelerin İnterneti (IoT) Nedir?", 23 Kasım 2020, Erişim:15.08.2022, <https://www.mib.org.tr/nesnelerin-interneti-iiot-nedir/>
- Türkiye'nin Endüstri 4.0 Platformu, "Endüstri 4.0'dan Toplum 5.0'a", Erişim:20.11.2020, <https://www.endustri40.com/endustri-4-0dan-toplum-5-0a/>
- Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV), Üretimin Geleceğinde Gelişen Teknolojiler Katmanlı İmalat Teknolojileri-Ülkemizden Sanayi Temsilcilerinin Görüşleriyle Sektörel Bakış, Nisan 2021, Erişim:12.08.2022, <https://www.ttgov.org.tr/tur/images/publications/609a329348a78.pdf>
- TÜSİAD, Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0: Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi, Erişim:27.06.2022, <http://www.tusiad.org/indir/2016/sanayi-40.pdf>

- Tyagi A.K., Sreenath N., "Cyber Physical Systems: Analyses, Challenges and Possible Solutions", Internet of Things and Cyber-Physical Systems, C:1, 2021, ss.22-33, Erişim:21.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667345221000055>
- Uber M.R., China's Artificial Intelligence Ecosystem, Erişim:17.02.2022, https://ni-u.edu/wp/wp-content/uploads/2021/08/Uber_Monograph_DNI2021_02261.pdf
- Uluslararası Inbenzhap Endüstri 4.0 Platformu, Country Profile Korea, Benchmark-Bericht, Aralık 2015, Erişim:23.11.2020, https://www.inbenzhap.de/International/QR05_Laenderprofil_Suedkorea.pdf
- Uluslararası Motorlu Araç İmalatçıları Örgütü (OICA), "2020 Production Statistics", Erişim:25.06.2022, <https://www.oica.net/category/production-statistics/2020-statistics/>
- Uluslararası Otomasyon Topluluğu (ISA), What Is Industry 4.0?, Erişim:07.06.2022, <https://blog.isa.org/what-is-industry-40>
- Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "Executive Summary World Robotics 2016 Industrial Robots", Erişim: 15.03.2020, https://ifr.org/img/uploads/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_20161.pdf
- Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), Executive Summary World Robotics 2020 Industrial Robots, Erişim:18.11.2020, https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_2020_Industrial_Robots_1.pdf
- Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), Executive Summary World Robotics 2021 Industrial Robots, Erişim:10.02.2022, https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2021.pdf
- Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), How Connected Robots are Transforming Manufacturing, Frankfurt, Ekim 2020, s.1, Erişim:29.06.2022, <https://ifr.org/papers/how-connected-robots-are-transforming-manufacturing>
- Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "IFR Presents World Robotics Report 2020", Erişim:15.03.2022, <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/report-2.7-million-robots-work-in-factories-around-the-globe>
- Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "IFR Presents World Robotics 2021 Reports", Erişim:10.02.2022, <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-sales-rise-again>
- Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "Press Release World Market", Erişim:15.03.2022, https://ifr.org/downloads/press2018/2020-09-24_IFR_press_release_WR_industrial_robots.pdf
- Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "Robot Density Nearly Doubled Globally", Erişim:15.02.2022, <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-density-nearly-doubled-globally>
- Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "World Robotics Report 2019 Presentation", Erişim:30.06.2022, <https://ifr.org/downloads/press2018/IFR%20World%20Robotics%20Presentation%20-%2018%20Sept%202019.pdf>

- Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "World Robotics 2019 Preview", Erişim:30.06.2022, https://ifr.org/downloads/press2018/IFR_World_Robotics_Outlook_2019_-_Chicago.pdf
- Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "World Robotics Report 2020 North American Market Press Release", Erişim:28.06.2022, https://ifr.org/downloads/press2018/2020-09-24_Record_293%2C000_Robots_In_United_States%E2%80%99_Factories_IFR_press_release_WR.pdf
- Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), "World Robotics Report 2021 North American Market Press Release", https://ifr.org/downloads/press2018/USA-NAFTA-2021-OCT-IFR_press_release_industrial_robots.pdf
- Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), World Robotics 2021, Ekim 2021, Erişim:10.02.2022, https://ifr.org/downloads/press2018/2021_10_28_WR_PK_Presentation_long_version.pdf
- Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO), "ISO/IEC 20546:2019 (en)-Information technology-Big data-Overview and vocabulary", Erişim:23.06.2022, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:20546:ed-1:v1:en>
- Ulusoy T., Yasar E., Aktan M., "Impact of Industry 4.0 Revolution on Science, Technology, and Society (STS): Challenges and Opportunities in the Industry 4.0 Era", Research Anthology on Cross-Industry Challenges of Industry 4.0, C:1 içinde, H. Christina Lum ed., IGI Global 2019, ss.21-36.
- Xinhua İnternet Sitesi, "China to Become World's Largest IoT Market in 2024 Report", Ocak 2021, Erişim:17.02.2022, http://www.xinhuanet.com/english/2021-01/16/c_139673275.htm
- Xu L.D., Xu E.L., Li L., "Industry 4.0: State of the Art and Future Trends", International Journal of Production Research, C:56, S:8, 2018, ss.2941-2962, Erişim:08.06.2022, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B. vd., "Industry 4.0 and Industry 5.0-Inception, conception and perception", Journal of Manufacturing Systems, C:61, Ekim 2021, ss.530-535, Erişim:22.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612521002119>
- Vaidya S., Ambad P., Bhosle S., "Industry 4.0-A Glimpse", Procedia Manufacturing, C:20 2018, ss.233-238, Erişim:17.06.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918300672>
- Velásquez N., Estevez E., Pesado P., "Cloud Computing, Big Data and the Industry 4.0 Reference Architectures", Journal of Computer Science & Technology, C:18, S:3, Aralık 2018, ss.258-266, Erişim:12.08.2022, <https://journal.info.unlp.edu.ar/JCST/article/view/1151>
- Vogel-Heuser B., Jumar U., "Scientific fundamentals of Industry 4.0", AT-Automatisierungstechnik, C:67, S:6, 2019, ss.502-503, Erişim:24.06.2022, <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/auto-2019-0012/html>
- Wang X., "Bioartificial Organ Manufacturing Technologies", Cell Transplantation, Ocak 2019, C:28 S:1, ss.5-17, Erişim:19.08.2022, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0963689718809918>

- Watts S., "The Fourth Industrial Revolution Explained", Erişim:24.06.2022, <https://www.bmc.com/blogs/fourth-industrial-revolution/>
- Wiktorsson M, Noh S.D., Bellgran M. vd, Smart Factories: South Korean and Swedish Examples On Manufacturing Settings, Sekizinci İsveç Üretim Sempozyumu, Mayıs 2018, s.471-478, Erişim:23.11.2020, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1319885/FULLTEXT01.pdf>
- World's Top Exports İnternet Sitesi, "Air Conditioners Exports by Country", Erişim:25.06.2022, <https://www.worldstopexports.com/air-conditioners-exports-country/>
- World's Top Exports İnternet Sitesi, "Computer Device Exports by Country", Erişim:25.06.2022, <https://www.worldstopexports.com/computer-device-exports-country/>
- World's Top Exports İnternet Sitesi, "Motorcycle Export by Country", Erişim:25.06.2022, <https://www.worldstopexports.com/motorcycles-exports-country/>
- World's Top Exports İnternet Sitesi, "Refrigerator and Freezer", Erişim:25.06.2022, <https://www.worldstopexports.com/refrigerators-exports-country/>
- World's Top Exports İnternet Sitesi, "Top Industrial Robots Exporters", Erişim:11.02.2022, <http://www.worldstopexports.com/top-industrial-robots-exporters/>
- World Population Review İnternet Sitesi, "Steel Production by Country", Erişim:25.06.2022, <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/steel-production-by-country>
- Yahoo Finance İnternet Sitesi, "Germany Data Center Market Investment Report 2021-2026", Erişim:18.02.2022, <https://finance.yahoo.com/news/germany-data-center-market-investment-112800988.html>
- Yalçinkaya S., "Sanayi 4.0. Nedir?" Sanayi 4.0-Teknolojik Alanları ve Uygulamaları içinde, K. Çetinkaya, P. Demircioğlu, K. Özsoy, B. Duman ed.,
- Yang F, Gu S., "Industry 4.0, a revolution that requires technology and national strategies", Complex & Intelligent Systems, C:7, 2021, s.1311, Erişim:10.06.2022, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40747-020-00267-9>
- Yaşam İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetleri (YİSGÜM) İnternet Sitesi, "Endüstri 4.0'ın İş Güvenliğine Etkileri", Erişim: 28.02.2022, <http://www.yisgum.com/blog/endustri-40in-is-guvenligine-etkileri>
- Yeldan E., Yıldırım D., "Türkiye'de Devlet, Demokrasi ve Toplumda Vasatlıkla Yüzleşme ve Bundan Çıkış Yolları", İstanbul Sanayi Odası 12.Sanayi Kongresi için Hazırlanmış olan Çalıştay Raporu, 2014, Erişim:22.06.2022, https://bilimakademisi.org/wp-content/uploads/2014/02/ISO2014_Yeldan-Yildirim_v2_Sub07.pdf
- Yeni Enerji ve Endüstriyel Teknoloji Geliştirme Örgütü (The New Energy and Industrial Technology Development Organization), Artificial Intelligence

- Technology Strategy, Mart 2017, Erişim:12.11.2020, <https://www.nedo.go.jp/content/100865202.pdf>
- Yıldırım B., "Bağlam Temelli Öğrenmeye Uygun Olarak Hazırlanmış STEM Uygulamalarının Etkilerinin İncelenmesi", Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi, S:26, s. 1-20, Erişim:26.12.2020, <https://dergipark.org.tr/pub/ataunikkefd/issue/38134/381353>
- Yıldız Y., "Robot Vergisi: Yeni Nesil Bir Maliye Politikası Aracı", Maliye Dergisi, Temmuz-Aralık 2019, s.299-329, Erişim:26.12.2020, <https://ms.hmb.gov.tr/uploads/2020/03/015-Yeni-nesil-maliye-Pol-Arac%C4%B1Robot-Vergisi.pdf>
- Yıldız A., "Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, C:22, S:2, 2018, Erişim:20.04.2022, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/441614>
- Yin D., Ming X., Zhang X., "Understanding Data-Driven Cyber-Physical-Social System (D-CPSS) Using a 7C Framework in Social Manufacturing Context", Sensors, C:20, S:18, 2020, s.2, Erişim:21.06.2022, <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/18/5319>
- Yüksel H., Basmacı G., Genç S., "Evaluation of the Challenges of Companies in Industry 4.0 Transformation by GRA Method", Digital Conversion on the Way to Industry 4.0 içinde, N.M. Durakbasa, M. G. Gençyılmaz ed., 24-26 Eylül, 2020 Online-Springer 2021, ss.312-323, Erişim:17.06.2022, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-62784-3_26
- Zhong R.Y., Xu X., Klotz E. vd., "Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review", Engineering, C:3 S:5 Ekim 2017, ss.616-630, Erişim:15.08.2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917307130>

GÖRSEL KAYNAKÇASI

Kapak Görseli 1: Freepik, "3d rendering of industry 40 concept", by Freepik, Free License, Erişim:15.08.2022, https://www.freepik.com/free-photo/3d-rendering-industry-40-concept_26405831.htm

Kapak Görseli 2: Wikimedia Commons, "Artificial Intelligence & AI & Machine Learning", by Mikemacmarketing, Erişim:13.01.2021, licensed under the Creative Commons Attribution 2.0 Generic License,2.0 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Artificial_Intelligence_%26_AI_%26_Machine_Learning_-_30212411048.jpg

Kapak Görseli 3: Wikimedia Commons, "Automotive", by KUKA Systems GmbH, Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported License, Erişim:15.08.2022, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Application_field_automotive.jpg

Görsel 1: Pixabay, "Industry 4 Web Network", by Geralt, Pixabay Content License, Erişim:02.03.2021, <https://pixabay.com/photos/industry-industry-4-web-network-2630319/>

Görsel 2: IStock, "High-Tech Futuristic Warehouse", by Gorodenkoff, IStock Standard License, Erişim:15.08.2022, <https://www.istockphoto.com/en/photo/high-tech-futuristic-warehouse-worker-wearing-advanced-full-body-powered-exoskeleton-gm1283514355-380914746>

Görsel 3: Depositphotos, "Smart robotic farmers in agriculture futuristic robot automation to work to spray chemical fertilizer or increase efficiency", by Sompong_tom, ID:208216930, Depositphotos Standart Licence, Erişim:15.08.2022, https://st4.depositphotos.com/18548996/20821/i/600/depositphotos_208216930-stock-photo-smart-robotic-farmers-agriculture-futuristic.jpg

Görsel 4: Wikimedia Commons, "Augmented Reality for industrial Training", by Carlos Fy, Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License, Erişim:02.03.2021, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Entrenamiento-industrial-Fyware.jpg>

Görsel 5: Adobe Stock, "AI robots waiting on chair for a job interview, Generative AI", by Onchira, Adobe Stock Standart Licence, Erişim:15.08.2022, https://stock.adobe.com/images/ai-robot-waiting-on-chair-for-a-job-interview-generative-ai/579887788?asset_id=579887791

Görsel 6: Pixabay, "Logistics", by Geralt, Pixabay Content License, Erişim:15.08.2022, <https://pixabay.com/tr/illustrations/lojistik-sanayi-end-c3%bcstri-4-a%c4%9f-puan-7693789/>

Görsel 7: Wikimedia Commons, "Augmented-reality-1957411 1920", by Zedinteractive, Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication License, Erişim:15.08.2022, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Augmented-reality-1957411_1920.jpg

Görsel 8: Wikimedia Commons, "BMW plant in Leipzig, Germany", by BMW Werk Leipzig, Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 Germany License, Erişim:02.03.2021, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:-BMW_Leipzig_MEDIA_050719_Download_Karosseriebau_max.jpg

- Görsel 9: Wikimedia Commons, "Amazon Alexa Booth", by Raysonho @ Open Grid Scheduler / Scalable Grid Engine, Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License, Erişim:05.03.2021, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AmazonAlexaBooth.jpg>
- Görsel 10: Wikimedia Commons, "Industrial Robot Painter" by Claudio Moderini, Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 Generic license, Erişim:13.01.2021, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industrial_Robot_Painter.jpg?
- Görsel 11: Freepik, "Assembly line production new car automated welding car body production line robotic arm car production line is working", by Usetrmk, Freepik Free License, Erişim:15.08.2022, https://img.freepik.com/free-photo/assembly-line-production-new-car-automated-welding-car-body-production-line-robotic-arm-car-production-line-is-working_645730-580.jpg?w=740&t=st=1680443653~exp=1680444253~hmac=06ffb315b7e08af882323fb7b5dbf98a4057c4607892ee59230c76e2145ed270
- Görsel 12: Pixabay, "Industry", by CR-3D, Pixabay Content License, Erişim:15.08.2022, <https://pixabay.com/photos/industry-technology-machine-3d-3225119/>
- Görsel 13: Wikimedia Commons, "Softbank Pepper" by Tokumeigakarino-oshima, Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication License, Erişim:19.11.2020, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:-SoftBank_pepper.JPG
- Görsel 14: Wikimedia Commons, "Kelnerin-roboto" by Tiguliano, Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License, Erişim:19.11.2020, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kelnerin-roboto.jpg?>



Endüstri 4.0 kavramı ilk kez 2011 yılında Almanya’da ortaya çıkmıştır. Alman Hükûmetinin, sanayi alanında rekabetçiliğini devam ettirebilmek için geliştirdiği bir strateji olan Endüstri 4.0, kısa süre içerisinde birçok gelişmiş ülke tarafından da benimsenmiştir. Endüstri 4.0; nesnelerin interneti, bulut bilişim, büyük veri ve yapay zekâ gibi pek çok teknolojiyi barındıran yeni bir endüstriyel üretim anlayışıdır.

Bu çalışmanın amacı, küresel olarak etkileyici, dönüştürücü ve kaçınılmaz nitelikteki Endüstri 4.0’ın bilinirliğini artırmak ve Endüstri 4.0 ile ilgili genel bir çerçeve sunmaktır.

Kitapta, Endüstri 4.0’ın ana hatlarını ortaya koyma yaklaşımı benimsenmiştir. Bu çalışmada öncelikle sanayi devrimlerinin tarihsel süreci sunulmuş, Endüstri 4.0’ın ilkeleri, temel bileşenleri ve teknolojileri açıklanarak kavramsal çerçeve ortaya koyulmuş; Endüstri 4.0’ın büyüme, millî gelir, istihdam ve eğitim gibi alanlar üzerine etkilerine değinilmiştir. Ardından Endüstri 4.0 konusunda öne çıkan ülkeler arasında yer alan Almanya, ABD, Çin, Güney Kore ve Japonya’nın Endüstri 4.0 uygulamaları, strateji ve programları ele alınmıştır.

ISBN: 978-605-2089-94-1

978-605-2089-96-5 (e-kitap)