

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEKNOLOJİ VE SANAYİ İKTİSADİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE’DE ENDÜSTRİ 4.0
UYGULAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ:
PANEL VERİ ANALİZİ

FİDAN ALİYEVA
2501191443

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. ABDULKADİR TUNA

İSTANBUL-2022

ÖZ

TÜRKİYE’DE ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ: PANEL VERİ ANALİZİ

Fidan ALİYEVA

Endüstri 4.0 ‘Akıllı Fabrika’ konsepti gibi ortaya çıksa da, çok kısa bir süre zarfı içinde bu tanımın sınırlarını genişleterek ne üretirsen üret ‘daha akıllıca yap’ konseptine doğru çevrildi ve neredeyse tüm sektörlerle hızlı bir şekilde yayıldı. Endüstri 4.0 ilk oluştuğu tarihten itibaren tüm gelişmiş ülkeler bu yeni kavrama ilgi gösterdiler ve inisayatif almak için hiç vakit kaybetmeden müdahil oldular. Endüstri 4.0’a ilgi gösrmelerinin sebebi prestij kazanmanın yanı sıra, yeni konseptin sağlayacağı ekonomik avantajları anlamak ve araştırmaktı. Bu düşünceden hareketle hemen tüm gelişmiş ülkeler Endüstri 4.0 yapılarını oluşturmaya başladılar ve genel hatlarıyla yol haritalarını belirlediler.

Endüstri 4.0 hakkında bir çok tanım olmasına karşın, esas olarak endüstri 4.0 dijital dönüşümle ilgilidir ve sadece üretim sektörünü kapsamamaktadır. Dijital dönüşüm üretim sektöründe ortaya çıkmasından çok kısa bir süre sonra, akıllı ulaştırma ve lojistik, akıllı binalar, akıllı yakıt tüketimi, akıllı sağlık uygulamaları ve hatta akıllı şehirlere kadar bir çok alana sıçramış bulunmaktadır. Endüstri 4.0’la beraber gelen dijital dönüşüm, daha fazla üretim ve optimizasyon, tedarik zincirinde anlık veri sağlama imkanı, daha kaliteli ve kişiye özel ürünler sağlama yeteneği, daha uygun ve sürdürülebilir fiziki çalışma koşulları sağlayabilme imkanıyla bu dönüşüme geç kalan ülkelere ciddi bir bedel ödetecek şekilde hızla gelişmeye devam etmektedir.

Endüstri 4.0 kavramı, günümüzde önemli bir yer tutmaktadır, aynı zamanda Türkiye genelinde de önem verilen konulardan biridir. Çalışmada günümüze kadar gerçekleşmiş endüstri devrimleri ele alınmış, Endüstri 4.0 kavramının getirileri incelenmiştir. Küresel İnovasyon Endeksi’nde yer alan Türkiye ile ilgili verilerden yola çıkarak uygun panel veri analizleri kullanılarak Endüstri 4.0’ın Türkiye bazında değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Nesnelerin İnterneti, Teknoloji, Değişim

ABSTRACT

4.0 EVALUATION OF INDUSTRIAL APPLICATIONS IN TURKEY: PANEL DATA ANALYSIS

Fidan ALİYEVA

Although Industry 4.0 emerged as a 'Smart Factory' concept, in a very short time, it expanded the boundaries of this definition and turned towards the concept of 'do it smarter', no matter what you produce, and spread rapidly to almost all sectors. Since Industry 4.0 was first formed, all developed countries showed interest in this new concept and intervened without wasting any time to take initiative. The reason for their interest in Industry 4.0 was to understand and research the economic advantages that the new concept would provide, as well as gain prestige. Based on this idea, almost all developed countries started to create Industry 4.0 structures and determined their roadmaps in general terms.

Although there are many definitions about Industry 4.0, industry 4.0 is mainly about digital transformation and does not only cover the manufacturing sector. In a very short time after the digital transformation emerged in the production sector, it has spread to many areas from smart transportation and logistics, smart buildings, smart fuel consumption, smart health applications and even smart cities. The digital transformation that comes with Industry 4.0, more production and optimization, the opportunity to provide instant data in the supply chain, the ability to provide better quality and personalized products, the possibility of providing more suitable and sustainable physical working conditions, will incur a serious price for the countries that are late for this transformation. continues to develop rapidly.

The concept of Industry 4.0 occupies an important place today, at the same time it is one of the issues that are given importance throughout Turkey. In the study, the industrial revolutions that have taken place until today are discussed and the returns of the concept of Industry 4.0 are examined. It is aimed to evaluate Industry 4.0 on the basis of Turkey by using appropriate panel data analysis based on the data about Turkey included in the Global Innovation Index.

Keywords: Industry 4.0, Internet of Things, Technology, Change

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	ii
ABSTRACT	iii
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR	viii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

ENDÜSTRİ DEVRİMLERİ

1.1. Kavramsal Açıdan Endüstri Devrimi	3
1.2. Endüstriyel Gelişimin Tarihçesi.....	3
1.2.1. Endüstri 1.0 (Birinci Sanayi Devrimi / 1760-1840).....	5
1.2.2. Endüstri 2.0 (İkinci Sanayi Devrimi/1870- 1915)	8
1.2.3. Endüstri 3.0 (Üçüncü Sanayi Devrimi / 1970-2010)	10
1.2.4. Endüstri 4.0 (Dördüncü Sanayi Devrimi/2010 - ...).....	11

İKİNCİ BÖLÜM

ENDÜSTRİ 4.0 KAVRAMI VE TEMEL BİLEŞENLERİ

2.1. Endüstri 4.0 Tanımı Ve Kapsamı	15
2.2. Endüstri 4.0 Tasarım İlkeleri.....	18
2.3. Endüstri 4.0 Farklılığı.....	20
2.4. endüstri 4.0 İle İlgili Temel Kavramlar	21
2.4.1. Büyük Veri	22
2.4.2. Arttırılmış / Zenginleştirilmiş Gerçeklik	25
2.2.3. Üç Boyutlu (3D) Yazıcılar	26
2.4.4. Bulut Bilişim (Cloud Computing) Sistemi	28
2.4.5. Siber Fiziksel Sistemler	29
2.4.6. Nesnelerin İnterneti	31
2.4.7. Sistem Entegrasyonu	34
2.4.8. Simülasyon	35
2.2.9. Akıllı Robotlar / Akıllı Fabrikalar	36

2.5. ENDÜSTRİ 4.0'IN ETKİLERİ.....	37
------------------------------------	----

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE ENDÜSTRİ 4.0

3.1. Dünyada Endüstri 4.0	46
3.2. Türkiye'de Endüstri 4.0	48

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

TÜRKİYE'DE PANEL VERİ ANALİZİNİN ENDÜSTRİ 4.0

UYGULAMALARI ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Araştırmanın Önemi	57
4.2. Araştırmanın Amacı	57
4.3. Araştırmanın Yöntemi	57
4.4. Bulgular.....	58
SONUÇ.....	71
KAYNAKÇA.....	76

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1: Ülkelerin Endüstri 4.0'a Yönelik Yürüttüğü Ulusal Programlar	47
Tablo 3.2: Firma Bazında Teknoloji Geliştirme Bölgelerinde Yürütülen Dijital Teknoloji Projelerinin Dağılımı	54
Tablo 3.3: Ar-Ge Merkezi Bazında Tgb'lerde Yürütülen Dijital Teknoloji Projelerinin Dağılımı	55
Tablo 4.1: Modellerde Kullanılan Değişkenlerin Tanımlanması	58
Tablo 4.2: Değişkenlerin Tanımsal İstatistikleri	59
Tablo 4.3: Birim Ve Zaman Etkilerinin Varlığını (İki Yönlü Modelin Geçerliliğinin)	60
Tablo 4.4: Klasik Model	60
Tablo 4.5: Çoklu Doğrusal Bağlantı	61
Tablo 4.6: Sabit Etkiler Modeli	62
Tablo 4.7: Tesadüfi Etkiler Modeli	63
Tablo 4.8: Dirençli Hausman Testi	64
Tablo 4.9: Olabilirlik Oran Testi	64
Tablo 4.10: Levene, Brown Ve Forsythe Değişen Varyans Testi	65
Tablo 4.11: Durbin-Watson Ve Baltagi-Wu Otokorelasyon Testi	65
Tablo 4.12: Birimler Arası Korelasyon	66
Tablo 4.13: Huber Eicker Ve White Tahmircisi	67
Tablo 4.14: Ülkelerin Sonuçları	68

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : Endüstri devrimleri şeması: endüstri 4.0 Platformu	4
Şekil 1.2 : Watt'ın Buhar Makinesi	6
Şekil 1.3 : Endüstri 4.0' In Yapısı	12



KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
API	: Application Programming Interface
AR	: Artırılmış Gerçeklik
AR-GE	: Araştırma Geliştirme
BM	: Birleşmiş Milletler
BT	: Bilgi Teknolojileri
CPS	: Cyber Physical Systems
GPS	: Global Positioning System
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
IOT	: Nesnelerin İnterneti
IT	: İnternet Tegnologies
Nİ	: Nesnelerin İnterneti
OECD	: Ekonomik İşbirliği Ve Kalkınma Örgütü
Ör.	: Örneğin
PAAS	: Platform As a Service
SAAS	: Software As a Service
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TGB	: Teknoloji Geliştirme Bölgeleri
Vb.	: Ve benzeri

GİRİŞ

İnsanoğlunun kullandığı üretim süreçlerinde ve araç/gereçlerde Endüstri devrimlerinde kullanılan enerji ve iletişim araçlarının zamanla gelişerek yeni üretim süreçlerine dönüşmesi bu devrimlerin mihenk taşı olarak özetlenebilir. Endüstri devrimleri sadece ekonomik anlamda etki yaratmamış, aynı zamanda kültürel, sosyal ve toplumsal anlamda da derin değişiklikler yaratmıştır. Endüstri devrimlerinin oluşmasındaki temel sebep, yeni iletişim kanalları ile mevcutta kullanılan enerji sistemlerinin birleşmesidir. Bu kombinasyon sayesinde toplumlar bir çok soruna yönelik çözümler üretebilmekte ve bu sayede bir çok yeni yaşam süreçleri ortaya çıkmaktadır.

Sanayileşmenin getirmiş olduğu sosyal ve ekonomik değişim ile birlikte bilginin önemi kavranmış ve bu durum bir güç unsuru haline dönüşmüştür. Toplumların daha iyi yaşam koşullarını istemeleri ve bu doğrultuda çalışmaları “bilgi” ile mümkün olduğundan, bu hususa yönelik girişimler yeni teknolojik süreçlerin doğmasına imkan sağlamıştır. Yaşanan bu değişim ile birlikte önce tarımdan su ve buhar enerjili mekanik üretim tesislerine geçiş, ardından elektrik enerjili seri üretim süreçlerine geçiş, bunun akabinde ise otomasyon ve bilgi teknolojilerinin daha sık kullanıldığı üçüncü sanayi devrimi ortaya çıkmıştır. Bu devrim ile birlikte sanayinin önemli ölçüde ihtiyaçları karşılanmış, günümüz faaliyetlerinin birçoğu bu süreçler ile gün yüzüne çıkmıştır.

Rekabet unsurunun günden güne arttığı günümüz koşullarında işletmelerin piyasa koşullarında tutunabilmeleri ve faaliyetlerini sürdürmeleri için yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler üretmeleri şarttır. Bu da katma değeri yüksek ürünleri üretmeleri ile mümkündür. Bu ürünlerin üretilmesi ise iyi bir bilgi birikimi ve nitelikli teknolojik ürünler sayesinde gerçekleştirilebilir. İşte bu noktada Endüstri 4.0 kavramı ve bu kavramın getirdiği bileşenler ortaya çıkmaktadır. Bu kavramın içerisinde var olan teknolojik unsurlar sayesinde firmalar daha az hatalı, daha az maliyetli, daha kaliteli, daha fazla adetli ürünlere ve daha hızlı süreçlere sahip olmaktadır. Buda günümüz rekabet koşullarında varlığını sürdürmek isteyen firmalar için önemli bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır.

Endüstri 4.0 ile birlikte bir çok alanda köklü değişimler yaşanmaya başlamıştır. Otonom robotlar, nesnelerin interneti, simülasyon, büyük veri, yapay zeka, bulut bilişim, 3D/Eklemeli imalat sistemlerinin üretim süreçlerine dahil olması ile bir çok firma dijitalleşme süreçlerine entegre olmaya çalışmaktadır. El emeğinin yoğun olarak kullanıldığı günümüz koşullarında, Endüstri 4.0 süreçlerine yönelik farkındalığın oluşması ve kullanımının yaygınlaşması kaçınılmaz bir gerçektir.

Yaşanan Sanayi Devrimleri'nin en göze çarpan özellikleri devamlı gelişim göstermesi ve yeni değişimlere neden olmalarıdır. Bu değişimlerin ekonomik, sosyal ve siyasi boyutlarda farklı etkileri bulunmaktadır. Küresel ekonomik sistemin yapı taşı niteliğinde olan işletmelerin bu etkilerin farkında olması varlıklarını devam ettirebilmeleri açısından stratejik bir öneme sahiptir. Diğer taraftan bireyselleşme (insan emeğine dayalı üretim ihtiyacının azalması ve insanın kendine daha çok vakit yaratabilmesi anlayışı) ve tüketici taleplerindeki hızlı değişim, işletmelerin üretim ve iş modellerini esnek hale getirip, dijital teknolojilerin aktif şekilde sürece dâhil edilmesiyle birlikte Dördüncü Sanayi Devrimi'ni başlatacak tüm şartları sağlamıştır.

Endüstri 4.0'ı anlayabilmek ve yorumlayabilmek için bu çalışmada öncelikle; yaşanan ilk üç sanayi devriminin gelişimi anlatılmış ardından Endüstri 4.0'ı karakterize eden teknolojiler tanımlanarak, çalışmanın ilerleyen bölümünde bu yeni sürecin Türkiye bazında değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu değerlendirilme panel veri analizi yöntemi ile yapılmıştır. "Global Innovation Index 2020" raporuna göre 2020 yılının en yüksek gelirli 10 ülke, ekonomisi orta gelir grubunda olan Türkiye verileri kullanılmış, Söz konusu ülkelerin çalışmada ele alınmasının nedeni, sanayileşmenin ülke ekonomileri üzerinde oldukça büyük bir etki yaratmasıdır. Aynı zamanda karşılaştırma açısından Türkiye de çalışmaya dahil edilmiş ve ülkemizin sanayi sektöründe olan ilerlemesi incelenmiştir. Çalışmada ele alınan ülke ekonomileri için 2000-2020 dönemi temel yıl alınmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

ENDÜSTRİ DEVRİMLERİ

1.1. Kavramsal Açıdan Endüstri Devrimi

Etimolojik açıdan baktığımız zaman, kelime karşılığı sanayi olan endüstri kelimesi, Fransızcada “industrie” şeklinde ifade edilmektedir. Türkçede ise bu kelime, Fransızca okunuşu ile “endüstri” şeklinde kabul edilmiştir (Çevik, 2018: 2).

Endüstri; Esas olarak büyük işletmelerde hammaddelerden ürünler oluşturmak için yürütülen faaliyetleri ve kullanılan araçları karakterize eder. Daha genel olarak, bir endüstri, her tür mal ve hizmetin üretimini tanımlar (Tunçkan, 2018: 114).

Ekonomik açıdan ise, endüstri, hammaddelerin işlenmesi ve mineral kaynakları ile çeşitli enerji türlerinin bir arada kullanılmasıyla yeni ürünlere dönüştürülmesini amaçlayan tüm finansal faaliyetleri ve bu faaliyette kullanılan tüm araçları kapsamaktadır (Çevik, 2018: 2).

İlk sanayi devrimi ile tarım ve el sanatları ekonomisinden sanayi ve makineleşmenin egemen olduğu bir ekonomik yapıya geçiş oldu. Avrupa'da yeni buluşların ortaya çıkması ve özellikle 18-19.Yüzyıllarda özellikle buhar makinelerinin üretimi, endüstri için devrim niteliğinde bir kavram şeklinde tanımlanmaktadır (Beşer, 2011: 14).

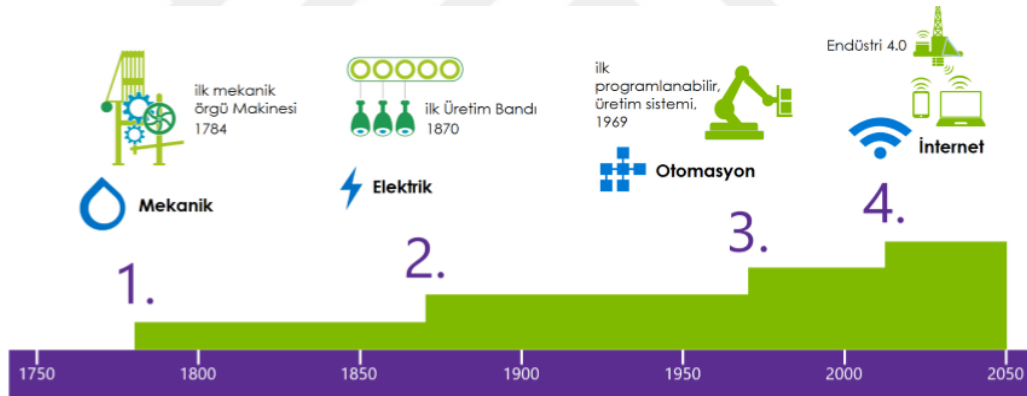
Sanayi Devrimi ile birlikte üretim olanakları ve insan refahı artarken, kolonilerdeki işçi sınıfı ve yaşam koşulları daha da yaygınlaştı. Şehirlerin hızlı büyümesinin bir sonucu olarak, işsizlik gibi sosyal sorunlar ortaya çıkmış ve sendika faaliyetleri, işveren ile işçi arasındaki sorunları gidermeye başlamıştır. Tüm bu gelişmeler ve diğer birçok yenilik, bu devrimin dönüm noktası olmuştur.

1.2. Endüstriyel Gelişimin Tarihçesi

İnsanlığın gelişimi, insanlar tarafından yeni buluşların yaratılması, tarihsel gelişimin temel bir unsurudur. İnsanlık tarihinde iki temel değişiklik olmuştur. Bu

değişiklerden ilki MÖ. VIII. Bin yılda ortaya çıkan ve avcı ve toplayıcı toplulukları çiftçilere ve çobanlara dönüştüren tarım devrimi; ikinci değişiklik ise XVIII. yüzyılda başlayan, iki yüzyıldan fazla bir sürede dünyanın tarımsal nüfusunu büyük ölçüde azaltan, insanları giderek daha fazla hizmet ve mamul mal üreticisi yapan bir sanayi devrimidir (Güran, 1990: 3). El emeğinin azaldığı ve makineleşmenin gerçekleştiği bu dönem, dünya pazarına giren modern teknolojilerin ilk atılımıydı. Bu süreçte sınıflı toplum ortaya çıktı, ticari kapitalizm yerini endüstriyel kapitalizme bıraktı. Dolayısıyla bu süreç, "kas gücüne dayalı üretim tarzından makine gücüne dayalı üretim tarzına geçiş" olarak tanımlanabilir (Küçükkalay, 1997: 52).

Endüstriyel devrimler ve geliştirme süreçleri Şekil 1.'de incelenerek gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Endüstri Devrimleri Şeması: Endüstri 4.0 Platformu

Kaynak: <http://gulsangida.com/2018/01/23/nerede-kaldi-bu-endustri-4-0/>

James Watt'ın buhar makinesini icadıyla başlayan bu süreç, tarımdan sanayileşmeye giden ilk adımdı. Seri üretim ile ticaret daha kolay ve daha küresel hale geldi. Sermayenin eski sahipleri yavaş yavaş değişmeye başladı.

Aslında 2.0'ı elektriğin keşfiyle özdeşleştirebilir. Üretimi dönüştüren elektrik sayesinde seri üretimin önü açılması nedeni, hayatı her alanında kolaylaştırdı. Üretim ve verimlilik için yeni gelişmeler bulunmaktadır. Böylece üretim daha hızlı hale gelmiş ve daha az işgücüne ihtiyaç duyulmuştur. Elektronik ev aletlerinin icadı ile ev hanımlarının işi kolaylaştı ve böylece kadınların çalışma hayatına katılımı güvence

altına alındı. Bu sürece hızla adapte olabilen ülkeler çok hızlı bir büyüme elde etmiş ve küresel sermayeyi dünyaya çekmeyi başarmışlardır. Maalesef Osmanlı İmparatorluğu'nun Sanayi 2.0'a geç adapte olduğundan dünya ticaretini Osmanlı İmparatorluğu'ndan batıya kaydırıldı.

Burası tam bir muamma olsa da verimlilik analizi konuşulduğu, insan alın ve akıl terinden öte yapay zekanın konuşulduğu ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile paralel olarak gelişen Endüstri 3.0, sanayi de ise fark ettirecek yanı seri üretimi otomasyona yöneltmesi söylenebilir. Üretimde insan gücünden daha çok bilgisayarlar ile müdahale sağlanmaya başlandı. Teknolojinin beraberinde getirdiği kolaylık sayesinde üretimde çeşitlilik, verimlilik ve standardizasyon sağlandı. Türkiye’de 3.0 aşamasında olan firma sayısı hiç de azımsanmayacak düzeyde fakat yeterli değil. Aslında bu kavramın Endüstri 3.0’dan farkını üretimde verimlilikten de öte daha az sermaye ve öz kaynak, daha az insan gücü, daha az enerji, daha az masraf ile daha çok ürün ve hataları minimize edecek bir düzenin gerekliliği ile açıklayabiliriz. 90’lardan sonra sermayenin batıdan doğuya doğru kayması da bu gerekliliği gözleri önüne sermiştir. Doğuda daha düşük bütçelerle seri üretim, fason üretim yapan küçük çaplı firmalar giderek büyüyor ve kendi markasını oluşturarak uluslararası arenada boy göstermeye başlıyordu.

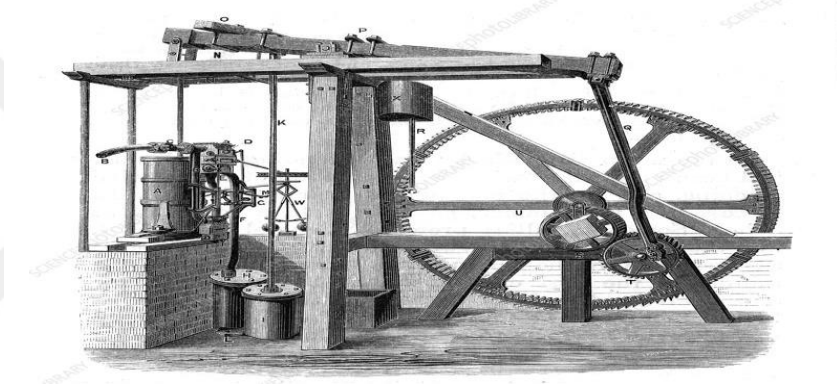
1.2.1. Endüstri 1.0 (Birinci Sanayi Devrimi / 1760-1840)

1700’lü yılların ortalarına kadar insanlar geçimlerini hayvancılık ve tarımla uğraşarak sağlamaktaydı. Bu dönemde kullanılan aletler ise genellikle küçük ev tipi aletler şeklinde idi. Devam eden yıllarda ise bu üretim faaliyetlerinde modern üretim teknikleri kullanılmıştır.

Kavramı ilk kez kullanan Arnold Toynbee’ye göre; Endüstri Devrimi, ilk defa 1760-1840 yılları arasında İngiltere’de gerçekleşmiştir. Rönesans ve Reform hareketleri bu devrimin entelektüel temelini oluşturmuştur. Bu anlamda Sanayi Devrimi tesadüfi bir olay olmamakla birlikte, bazı hazırlık süreçlerinin şekillendirdiği sosyal ve ekonomik koşullar neticesinde gerçekleşmiştir (Torun, 2003: 183). Nüfusun artması ve şehirlere göç sürecinin hızlanması, sömürgecilikten gelen sermaye birikimi, kapitalizmin ve girişimciliğin gelişimi, hukuki gelişimler ve en önemlisi de bilimsel

ve teknik gelişmeler bu devrimin başlıca nedenlerindendir. İlk sanayi devrimi, 18. yüzyılın sonlarında su ve buhar enerjisinin daha verimli kullanılmasını mümkün kılan mekanik tezgahların icadıyla ortaya çıktı. Bu devrime yol açan en önemli olaylardan biri, 1763' te İskoçya' da James Watt tarafından buhar makinesinin icat edilmesi idi. Şekil 2.'de Watt'ın Buhar Makinesi daha detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Böylelikle sektör yeni bir boyut kazanmış ve sonuçları hayatın birçok farklı alanında hissedilmiştir. Bu girişim “Endüstri 1.0” olarak endüstri tarihinde yerini almıştır. Daha sonra 1784 yılında Edmund Cartwright mekanik dokuma tezgahı icat etti ve bununlada dokuma işleminin makineleşmesi sağlandı (Görçün, 2017: 16)



Şekil 1.2 : Watt'ın Buhar Makinesi

Kaynak: Görçün, 2017: 16.

1760' larda başlayan ve 1840' lara kadar süren ilk Sanayi Devrimi' nde üretim fiziksel güçten makine gücüne doğru çevrilmiştir. Miktar olarak artan ve kalitesi gelişen makinelerde buhar gücü kullanıldı. Bu süreçte kömür ahşaba göre daha popüler hale geldi ve makinelerin daha fazla kullanılmasını sağladı. Buna bağlantılı olarak demirin de önemi artmıştır. Endüstri devrimi esasen artan taleple açıklanıyor. Geçmiş savaşlardaki düşüş, kırsal alanlardan kentsel alanlara büyük göçlerin ve salgın hastalıkların kısmi kontrolü nedeniyle Avrupa'nın nüfusu hızla artmıştır. Aynı zamanda endüstriyel ürünlere yönelik güçlü bir talep oluşmuştur. Talepteki bu güçlü artışı karşılayacak üretim için insan gücü ihtiyacı da önemli ölçüde artmıştır (Görçün, 2017: 21-22).

Sanayi devrimi sırasında, yeni makineler, işletmelerin ve endüstrilerin birim başına daha fazla zaman üretmesine izin verirken, üretim faaliyetlerinin standart hale gelmesini sağladı. Daha da önemlisi, bu makinelerle kalifiye işgücüne olan ihtiyaç giderek azalmaya başlamıştır. Sonuç olarak, artan talep ve işgücüne bağımlılığın karşılanmasındaki zorluklar ortadan kaldırılmıştır. Sanayi devrimi kavramı ile ortaya çıkan büyük miktardaki ürün, toplumun yaşam kalitesinde de iyileşmeye yol açmış ve bu süreç aynı zamanda fakir ve zor koşullarda çalışan işçi sınıfının da ortaya çıkmasına neden olmuştur (Özdoğan, 2017: 3). Yeni bir sosyal sınıfa doğru gelişen işçi sınıfı, devam eden süreçte bazı ekonomik, sosyal ve politik haklar da talep etmeye başlamıştır (Görçün, 2017: 24).

Öte yandan buhar gücü, taşımacılıkta raylı araçlarda kullanıldıktan sonra hammaddelerin sevkiyatından ürünlerin pazara taşınmasına kadar geçen süreçte de ana enerji kaynağı olmuştur. Bu sürecin bir diğer önemli kısmı ise çeliktir. Buhar enerjisini kontrol altında tutmak ve yüksek basınca dayanıklı makineler üretmek için hammadde olarak çelik kullanılmıştır. Richard Trevithick ilk lokomotifini 1804'te icat etti ve 24 Şubat'ta Galler'de bir teneke madeninde kullandı. 27 Eylül 1825'te, yolcu ve kargo taşımak için toplu taşımaya hizmet eden demiryolları ve lokomotiflerin başlamasıyla demiryolu araçları, sanayi devriminin bir parçası haline geldi (Görçün, 2017: 18). Üretimde hem enerji kaynağı hem de hammadde olarak buhar, kömür ve demirin kullanılması demiryollarının kullanımını hızlandırmıştır (Bosch, 2021).

İngiltere'de başlayan Sanayi Devrimi, hızla Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'ne yayıldı. Üretimdeki bu köklü değişim hem ekonomik dünyayı hem de toplumsal yapıyı önemli ölçüde değiştirmiştir. Nüfus ve yaşam beklentisi arttı. Ayrıca, günlük yaşam çok daha kolay hale geldi ve bu da yaşam kalitesini artırıyor. Üretimi kolaylaştıran makineler sayesinde Avrupa'da üretilen ürün sayısı önemli ölçüde arttı. Avrupa ülkeleri yeni hammadde temin edebilecekleri ve ürünlerini satabilecekleri Orta, Yakın ve Uzak Doğu ülkelerine yöneldiler. Sektör sadece ilk dönemini tamamlamakla kalmamış, ülke sınırlarını da uluslararası ilişkileri etkileyecek şekilde değiştirmiştir (Bosch, 2021).

1.2.2. Endüstri 2.0 (İkinci Sanayi Devrimi/1870- 1915)

Endüstrinin bu aşamasında üretim sürecinde, ilk sanayi devriminde hammadde ve enerji kaynağı olarak kullanılan buhar, kömür, demir gibi ürünler ile elektrik, petrol, çelik ve özellikle kimyasal maddeler kullanılmıştır. Dünya Ekonomik Forumu'na göre 1870'de başlayan İkinci Sanayi Devrimi, I.Dünya Savaşı'na kadar devam etmiştir.

İkinci sanayi devrimi sırasında teknolojik gelişmelere bağlı olarak ulaşım, iletişim ve ulaşım gibi imkanlar çeşitlenmiş; Telgraf ve radyo gibi kitle iletişim araçları yayıldı. Bu, tüm bu araçlar arasında bir entegrasyon süreci yarattı. Kıtaları birbirine bağlayan ve küreselleşmenin önünü açan bu "devrimci" süreçle birlikte günümüz mantığında borsalar ve menkul kıymetler ortaya çıkmıştır (Engelman, 2018: 22).

İkinci sanayi devrimi ile birinci sanayi devrimi arasındaki temel farklar şu şekildedir (Ongun, 2013: 6-7):

- Teknolojik gelişmeler,
- Bilimsel araştırmalar için artan önem,
- Firma / sektör kuruluşları,
- Coğrafi odak İngiltere'den ABD' ye kaymıştır,
- Endüstriyel gelişmenin yabancı ülkelerdeki hammaddelere artan bağımlılığı.

İkinci sanayi devrimin ilk aşaması sonucunda gelişen demiryolu taşımacılığı sayesinde hızlanan ticari faaliyetler, demiryollarının inşası için kalıcı çelik üretimi ihtiyacı yaratmış ve bu da sanayi devriminin yeni dinamiği haline gelmiştir (Çevik, 2018: 5). Özellikle kömür, sanayi devriminde yeni bir enerji kaynağı olarak önemli bir rol oynamıştır. Bununla birlikte, ikinci sanayi devrimi sırasında petrolün başka bir enerji kaynağı olarak kullanımı bu süreci daha da hızlandırmıştır (Sarıkulak, 2008: 20).

İlk sanayi devriminin başlangıcını simgeleyen buhar makinesi ve ana enerji kaynağı olan kömürün yerine petrol ve içten yanmalı motorlar gelmesi insanlık

tarihinde yeni bir dönüm noktası oldu. Titusil de Drake tarafından ilk petrol kuyusundan ham petrol çıkarıldıktan sonra petrol arama ve üretim şirketleri on yıl gibi kısa bir sürede oluşmaya başladı. Sonuç olarak, petrolü enerji kaynağı olarak kullanan sektörlerin sayısı her geçen gün artmaktadır. Petrol bazlı yanmalı motorların kullanılması, 20. yüzyılın başında gerçekleşen ikinci sanayi devrimine önemli ölçüde etki etmiştir. Alman mühendis Rudolf Diesel (1858-1913) tarafından 1892'de içten yanmalı motorun keşfedilmesinden sonra, bu yağla çalışan motorlar, fabrikalarda kullanılan tüm makine ve cihazların yanı sıra neredeyse tüm ulaşım alanlarında hızla benimsendi ve kullanıldı (Görçün, 2017: 51-54).

İkinci Sanayi Devriminin ilk yarısına kadar sanayiler o dönemin üretim yöntemi değiştirilmeden uygulanıyordu, ancak bu süreçte petrol enerjisinin yüksek maliyeti ve istikrarsızlıkları fosil yakıtların yerini elektrikle ikame etmesine neden olmuştur. Buhar gücüne göre çok güçlü olan bu yeni ve yüksek teknoloji sayesinde makineler daha işlevsel hale geldi ve üretim artışı sağlandı. Seri üretim kavramı tüm dünyada tanınmaya başlandı. Bu dönemde seri üretimin en ünlü örneklerinden biri Henry Ford'un Ford Motor Şirketidir. Fordist üretim olarak adlandırılan bu üretim yöntemi ile Ford otomobil firmasının ilk seri üretim hattında seri üretim yapılmıştır. Ve bu kez ABD devrimin adresiydi (EBSO, 2015: 5).

Elektrikli fabrikalar ve şehirler, 1882'de Edison ile başlamıştır. Elektrikle çalışan makineler Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya' da üretilip ihraç edildi. Westinghouse ve General Electric gibi şirketler diğer ülkelerdeki şehirleri aydınlattı. Amerika Birleşik Devletleri'nde çelik, petrol ve kimya endüstrileri hızla gelişti. Büyük uluslararası şirketleri yönetmek için yeni bilimsel yöntemler geliştirilmiştir. Graham Bell'in telefonu keşfi, büyük şirketlerin alt yöneticileri ile iletişim kurmasını sağladı. Makinelerin parçalarının aynı standartlarda üretilmesi, devrimin en önemli katkılarından biri olarak nitelendirilmektedir. Bu nedenle parçalar kolaylıkla değiştiriliyordu. Ford tarafından 1913 yılında tanıtılan "üretim hattı" tekniği diğer endüstrilerde kullanıldığında, verimlilik önemli ölçüde arttı. 1914'te Birinci Dünya Savaşı başladığında Rusya, Kanada, İtalya ve Japonya ilk sanayi devrimini henüz yeni başlatmıştı. Çin, Hindistan, İspanya ve Türkiye' de ise endüstri devrimi daha geç başlamıştır (Akbulut, 2011: 18).

1.2.3. Endüstri 3.0 (Üçüncü Sanayi Devrimi / 1970-2010)

II. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra üçüncü sanayi devrimi yeni bir üretim yöntemiyle gündeme geldi. Üçüncü sanayi devrimi, üretimde programlanabilir makinelerin kullanılmasıyla gerçekleşti ve bunun sonucunda mekanik ve elektronik teknolojiler yerini dijital teknolojilere bıraktı. Bu devrim, doğası gereği ilk ikisinden biraz farklıdır. Bu devrimin ana bileşenleri, bunların uygulanması için genel araçlar olan bilgi işleme yöntemleri, iletişim yöntemleri ve mikroelektronikdir. Devrim; Yarı iletkenlerin, ana bilgisayarların (1960'lar), kişisel bilgisayarların (1970'ler ve 1980'ler) ve İnternet'in (1990'lar) etkisi altında geliştiği için genellikle bilgisayar devrimi veya dijital devrim olarak anılır (Schwab, 2016). Aslında Üçüncü Sanayi Devrimi, elektronik ile bilgi ve iletişim teknolojilerinin endüstriyel otomasyon için yarattığı farklılıklardan doğmuştur.

Birinci Sanayi Devrimi'nin birincil enerji kaynakları su ve buhar iken, bu devrimin devamı olarak görülen İkinci Sanayi Devrimi'nin birincil enerji kaynakları petrol ve elektrikti. Her iki devrimin ortak özelliği, ticaretin daha ulusal bir yapıda yürütülmesi ve ekonominin entegre olmamasıdır. Ancak bir sonraki devrim olarak görülen Üçüncü Sanayi Devrimi sırasında gerçekleşen küresel entegrasyon sistemi ile birlikte, ana enerji kaynakları olan petrol ve elektriğin yanı sıra rüzgar ve güneş enerjisi gibi enerji kaynakları; bilgisayar bilimi, biyoteknoloji, uzay havacılığı gibi alanlardaki buluş ve icatların önemi artmıştır. Hammadde tüketimindeki hızlanma, kaynakların her geçen gün azalmasına ve dolayısıyla bu kaynakların riske girmesine neden olmuştur. Süreçte bu riskin fark edilmesi, teknolojilerin çevreye duyarlı olması gerektiği konusundaki farkındalığı artırmış ve bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı özel bir önem kazanmıştır (Rifkin, 2014: 57-60).

Küresel kapitalizm, ucuz emek ve çok geniş bir tüketici tabanı ile küresel bir pazar yaratmak için müzik, film ve roman gibi sanatsal faaliyetleri kullanan özgürlük söylemleriyle başladı. Bu çabalar, komünist-sosyalist bloğun çökmesine ve devlet ekonomi politikalarını takip eden devletlerin kapitalist bloğa hızla çekilmesine yol açtı. 1989'un sonunda Berlin Duvarı'nın ve 1991'de Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği'nin yıkılmasıyla, küreselleşmenin siyasi, sosyal ve ekonomik olarak yeniden

seferber edildiği ve geçmişin tüm paradigmalarının birden ortadan kalktığı bir döneme geçilmiştir. Bu süreçteki tüm değişiklikler, iki önemli faktörün şaşırtıcı ve önemli bir dönüşümü ile gerçekleşmiştir. Bu iki faktör, teknolojik bir devrim olarak görülebilecek iletişim ve haberleşmedeki gelişmeler ve ulaştırma alanındaki olağanüstü başarılarıdır (Görçün, 2017: 96-97).

Üçüncü Sanayi Devrimi ile insanlar, yakın ve en yoğun sosyal ilişkilere sahip oldu. Birinci Sanayi Devrimi deniz taşımacılığının gelişimine, İkinci Sanayi Devrimi kara taşımacılığının gelişimine büyük katkı sağlarken, Üçüncü Sanayi Devriminde hava taşımacılığı ön plana çıkmıştır. İletişim araçları endüstriyel devrimler sırasında gelişim ve dönüşüm yaşamıştır. Özellikle iletişim araçlarındaki değişiklikler, toplumun daha yakın ve yoğun ilişkiler kurmasına izin vermiştir. Öncelikle telgraf ve telefonun icadıyla, ardından radyo ve televizyonun yaygınlaşmasıyla ve 90' lı yıllardan itibaren de internetin yaygınlaşması sonucunda insanlar dünyayı küçülterek hayatlarının etki alanını artırmışlardır (Görçün, 2017: 111-112).

Yukarıda anlatılan bu gelişmelerin, önceden gerçekleşmesi imkansız görünen yeniliklere olanak sağlamasının yanında, siber – fiziksel sistemler, Nesnelerin İnterneti gibi faktörlerin de etkisi sonucunda 2011 yılından itibaren gündemde olan ve şu anda içinde bulunduğumuz Dördüncü Endüstri Devrimi başlamıştır (Şimşek, 2016: 13).

1.2.4. Endüstri 4.0 (Dördüncü Sanayi Devrimi/2010 - ...)

"Endüstri 4.0" kavramı, ilk kez 2011 yılında Almanya'daki Hannover Fuarı'nda ortaya çıkmıştır. Bu konseptin ortaya çıkmasıyla birlikte Alman firması Bosch ve Henning tarafından Kagermann ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalar sonucu 'Dördüncü Sanayi Devrimi' öneri dosyası Alman hükümetine sunulmuş, 2013 yılından itibaren bu alandaki çalışmalar ivme kazanarak günümüze ulaşmıştır (Fortune, 2017).

Dördüncü sanayi devrimi, "siber-fiziksel sistemlerin" ortaya çıkması sonucunda gerçekleşmiştir. Bu devrimin sembolü olan siber-fiziksel sistemler insanlar ve makineler için tamamen yeni yetenekler içeriyordu. Bu yeni yetenekli cihazlar,

insanların şu anda "siber fiziksel üretim sistemi" (CPPS) olarak tanımladıkları şeyi gerçekleştirmek için birkaç başka makineyle ve üreticilerle iletişim kurabilir. Bu sistem Kagermann ve diğerleri tarafından şu şekilde tanımlanmıştır (Siemens, 2016: 9): “sensörler sayesinde doğrudan fiziksel verileri toplayan ve aktüatörlerin kullanılması fiziksel prosedürleri etkileyen gömülü sistemler, üretim, lojistik, mühendislik, koordinasyon ve yönetim süreçlerinin yanı sıra internet hizmetlerini içerir. Bu sistemler dijital ağlar aracılığıyla birbirine bağlanır, dünya çapında mevcut verileri ve hizmetleri kullanır ve insan-makine arayüzleriyle donatılmıştır. Siber-fiziksel sistemler, çeşitli yeni işlevler, hizmetler ve yetenekler sağlayan açık sosyo-teknik sistemlerdir”.



Şekil 1.3 : Endüstri 4.0' ın Yapısı

Kaynak: www.endustri40.com

Endüstri 4.0'ın arkasındaki temel kavram, makinelerin aynı anda birkaç başka makineyle iletişim kurmasına olanak tanıyan “her yerde” bir sosyal ağ oluşturmaktır. Bu temel kavram Nesnelerin İnterneti ve insanlar için ise İnsanların İnterneti olarak tanımlanmaktadır. Tüm olumsuz gelişmeler, üreticilerin gerçek işgücü odaklı sistemi doğrudan bir sanal sisteme, yapay zekaya entegre etmelerine yardımcı olur ve kuruluşların dinamik geçerli veriler toplamasına, bunları yorumlamasına ve hatta beklenmedik olaylara dayalı kararlar almasına olanak tanır. Bu dönüşüm, üretim teknolojisinde, sosyal hayatta, ekonomide, eğitim sisteminde ve diğer alanlarda köklü değişime olanak tanımaktadır (Koç ve Teker, 2019: 306).

Endüstri 4.0'ın amacı, makinelerin yalnız insan gücünün yerini alması değil, aynı zamanda gerekli teknolojilerin birleşiminden oluşan bir sistem oluşturarak kendi kendini yönetme ve birbirleriyle iletişim mekanizmaları oluşturmaktır. Tüm bu hükümleri en uygun ve etkili şekilde içeren süreçler oluşturmak, sektörlerin kendi bünyesi içindeki kişilere en uygun hizmeti vermesini sağlayacaktır. Ayrıca firmalar kendi bünyelerinde yeterli koordinasyonu sağlarlarsa maliyetler en aza indirilecek ve üretim en üst düzeye çıkarılacaktır.

Endüstri 4.0 ile sağlanacak düşük maliyetli üretim, düşük maliyetli insan emeğine dayalı rekabet eden Uzak Doğu ülkeleri ve gelişen pazarlar açısından kayba neden olma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle Endüstri 4.0 ile rekabet avantajlarını kaybeden gelişmiş ekonomilerin (ABD, Almanya, Japonya gibi) avantajlarını yeniden kazanma olasılığı daha yüksektir (Alçın, 2016: 22). Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkeler, üretim üstünlüğünü sürekli gelişme ve ilerleme içinde olan Çin ve Hindistan gibi ülkelere vermemek için mevcut geleneksel üretim modellerini mevcut teknolojik başarılarıyla birleştirmek zorunda kalıyorlar. Endüstri 4.0'ın oluşumu, tam da bu ihtiyaca dayalı bir devrim olarak ortaya çıkmaktadır (<https://www.endustri40.com/>, Almanya'nın Endüstri 4.0 Vizyonu).

Acatech'in Endüstri 4.0 forumunun (Acatech, 2013) son raporunda, bu yeni dönemin getirdiği farklı yenilikler aşağıda listelenmiştir (Alçın, 2016: 20):

- Depolama sistemleri, kaynakları ve makinelerinin küresel etkileşimi,
- Konum bilgisi ile benzersiz akıllı ürünlerin geliştirilmesi,
- Ürün özelliklerine uyum sağlayan ve kaynak optimizasyonu sağlayan akıllı fabrikaların hayata geçirilmesi,
- Yeni iş modellerinin uygulanması (Büyük Veri (Big Data))
- Çalışanlar için işyerinde yeni sosyal altyapı, bireysel farklılıklara duyarlı bir çalışma yapısı,
- Daha iyi iş-yaşam dengesi,
- Bireysel tüketicilerin taleplerine cevap vermek, Anlık mühendislik ve problemlere anında müdahale için geliştirilmiş akıllı yazılım.

Aslında 4. Sanayi Devrimi, gücünü bilimsel ve teknolojik araştırmalardan alan, yoğun bilgiye sahip ve ileri gelişme gösteren bilgisayar sistemlerinin "bilişim teknolojileri" adı altında kullanılacağı bir devrim olacak. Endüstrinin sonucu olan tüm teknolojik ürünlerin son derece verimli ve çevreye duyarlı olması beklenmektedir ve önümüzdeki yıllarda internet ve sosyal ağların çekiciliğı artarak tamamen yeni ve oldukça karmaşık sosyal ilişkiler yaratacaktır. Y kuşağının dördüncü sanayi devriminin temeli olmasına rağmen, bu devrimin sürekliliğı interneti ve sosyal ağları çok daha aktif kullanan Z kuşağı ile tamamlanacaktır. Sanayi devrimi, sadece makineleşmenin değil, aynı zamanda toplumlarda doğal değişimlerin meydana geldiğı bir dönüşüm sürecini tanımlamaktadır. İnsan ve makinenin birleşimi güçlendikçe, diğer yandan insanlar makineye bağımlı hale geliyor. Bu gelişmelerle birlikte insanlık, aktif iletişimin azaldığı, yalnızlaşan ve sanal sosyal ilişkilere bağımlı hale gelen robotlara dönüşüyor. Tüm bu gelişmeler doğrultusunda başlayan bu yeni dönemde sosyoloji, psikoloji, hukuk ve ekonomi gibi alanlarda yeni metodolojik bilimler gelişmeye başladı. Böylece endüstriyel toplumdan, bilgi toplumundan, bilginin ötesinde toplumdan sibernetik topluma bir geçiş başlamıştır (Karademir, 2016).

Endüstri 4.0 bir yandan gerçek bir devrim olarak kabul edilirken, sürecin beklenmedik bir değişim ve sektördeki bölünmeden çok evrimsel bir gelişme olduğuna inanılıyor. Bu nedenle Endüstri 4.0, tartışmalı bir konu olsa da önemini korumaktadır (Alçın, 2016: 21). Çalışmanın ikinci bölümünde Endüstri 4.0 daha detaylı olarak ele alınıp incelenecektir.

İKİNCİ BÖLÜM

ENDÜSTRİ 4.0 KAVRAMI VE TEMEL BİLEŞENLERİ

2.1. Endüstri 4.0 Tanımı Ve Kapsamı

Endüstri 4.0 kavramı ilk olarak Almanya’da ortaya çıkmıştır. Her şeyden önce, 2011 yılında Alman Federal Eğitim ve Araştırma Bakanlığı, Almanya'nın gelişimini devam ettirebilmesi için bazı adımlar atmak için “2020 Yüksek Teknoloji Stratejisi”nin “Gelecek Projeleri” olarak adlandırılan on ana projeyi duyurmuştur. Projelerde karbon salınımının azaltılması, akıllı şebekelere geçiş, alternatif yakıtların kullanılması, çevre dostu akıllı şehirler kurulması gibi konulara odaklanıldı. İlk olarak 2011 Hannover Ticaret Fuarı’nda duyurulan projelerden birinin Almanca adı “Industrie 4.0” idi. Alman hükümeti, Avrupa borç krizine yanıt olarak oluşturulan Endüstri 4.0 projesine başlangıçta 200 milyon Euro yatırım yapmıştır. Almanya'daki çalışma grupları da Endüstri 4.0'ın ilerlemesine katkıda bulunmak için çalışmaya başladılar. Siegfried Dais ve Henning Kagermann'ın eş başkanlığını yaptığı “Industry 4.0” çalışma grubu, Ekim 2012’de Alman Federal Hükümeti’ne Endüstri 4.0 ile ilgili önerilerde bulunmuştur. Daha sonra hazırlanan “Industrie 4.0” strateji belgesi Almanya Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi öncülüğünde 8 Nisan’da 2013 Hannover Ticaret Fuarı’da ilan edildi. (Zhou vd., 2015; Siemens, 2016: 9; Özdoğan, 2017: 28).

Endüstri 4.0'ın ortaya çıkmasıyla birlikte endüstri, gelişmiş ülkeleri yeni stratejiler, argümanlar ve yeni yönelimler üretmeye itti. Endüstri 4.0, bugüne kadar endüstriyel alanda teknolojik gelişmelerin ilerlemesi ile gerçekleşen tamamen yeni bir oluşum olmasa da gelecek senaryoları olan bir devrimdir.

Endüstri 4.0, geleneksel ve bilinen üretim tekniklerini ve yöntemlerini tamamen tersine çeviren bir yaklaşım olarak görülmektedir. Bu farklı yaklaşımın temelinde, endüstriyel üretim makinelerinin artık sadece ürünü işlemediği, ürünün makinelerle iletişim kurarak onlara tam olarak ne yapacaklarını söylemesi yatmaktadır. Bilgi teknolojisi ve operasyon teknolojisi entegrasyonu geliştikçe, üreticilerin sadece nerede olduklarını değil, aynı zamanda nerede olmak istediklerini

de değerlendirmeleri gerekiyor. Bu, toplamaları, analiz etmeleri ve harekete geçmeleri gereken veri türleri hakkında karar vermelerine yol açmaktadır. Bilginin doğru bir şekilde edinilmesi ve değerlendirilmesi, sadece işletme faaliyetlerini olumlu yönde etkilemekle kalmayacak, aynı zamanda şirketleri değer yaratma süreçlerinde başarılı kılarak şirketlerin değerlerini ve kar paylarını artırmalarını sağlayacaktır. Endüstri 4.0 kavramı, insan faktöründen kaynaklanan hataların ortadan kaldırılması ve yapay zeka unsurlarının karar verme süreçlerinin optimize edilmesi ve farklı kaynaklardan elde edilen bilgilerin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi gibi eylemleri içeren bir toplama kavramı olarak düşünülebilir (Özkan, 2019: 7).

Endüstri 4.0'ın temel amaçlarından biri, birbirleri ile haberleşen, sensörlerle çevreyi algılayabilen ve ihtiyaçları fark eden, veri analizi ile teşvik edilen, üretim süreçlerinde daha kaliteli, daha ucuz, daha hızlı ve daha az atık sağlayan robotların kullanılmasıdır. Bu tür teknolojik kavramlarla donatılmış yapılara akıllı fabrikalar denir. Endüstri 4.0 konseptinin kapsamlı hedefi, tedarik zincirinin tüm aşamalarını daha verimli, etkin, yenilikçi hale getirmek ve teknolojik unsurları kullanarak müşteri ihtiyaç ve taleplerine hızla uyum sağlamaktır.

Endüstri 4.0'ın iki temel ilkesi vardır. Bunlar yatay ve dikey entegrasyon ilkeleridir. Bu ilkeler, Industrie 4.0 çalışma gruplarının bulgularını ve diğer ilke ve temelleri sunduğu 2013 raporunda oluşturulmuştur. Dikey ve yatay entegrasyon arasında bir fark var gibi görünse de, amaç aynıdır: farklı sistemler arasında ekosistem çapında veri iletişimi ve bunu yaparken, veri aktarım standartlarını kullanılması, otomatik tedarik için temel oluşturulması ve bunun yanı sıra değer zincirinin kullanılması (Andaç, 2019: 16).

Endüstri 4.0'da yatay entegrasyon: Yatay entegrasyon, çeşitli iş süreçleri ve üretim için bilgi teknoloji sistemlerinin birleştirilmesi ve entegrasyonu anlamına gelmektedir. Bu çeşitli süreçler sırasında entegrasyonu sağlamak için enerji, malzeme ve bilgi akışları vardır. Ayrıca, hem iç hem de dış (tedarikçiler, ortaklar, müşteriler ve ayrıca lojistik konulardan inovasyona kadar ekosistemin diğer üyeleri) akışları ve ayrıca paydaşları ilgilendirir. Yatay entegrasyon aynı zamanda tedarik zinciri arasındaki dijitalleşme ve bağlantılı bilgi sistemlerinin ve veri alışverişlerinin merkez

sahneyi aldığı tam değer ile de ilgilidir. Kolayca tahmin edildiği gibi, bu küçük bir iş değildir. Yeni başlayanlar için, tahmin edildiği gibi, organizasyonlar içinde çok sayıda bağlantısız sistem ve makine var. Bu durum, endüstriyel olsun ya da olmasın, kuruluşlar için bir meydan okumadır. Müşteriler, tedarikçiler ve diğer paydaşlarla özellikle dış paydaşlarla kesintisiz veri alışverişi ve entegrasyona bakıldığında, resim tahmin edilebileceği gibi daha karmaşık hale gelmektedir. Dolayısıyla entegrasyon gereksinimi değer zincirinde son noktaya kadar uzandığında, entegrasyon yetenekleri açısından her oyuncunun aynı veya çok yakın seviyede olması gerektiği dikkate alınmalıdır (Soylu, 2018: 48).

Endüstri 4.0'da dikey entegrasyon: Yatay entegrasyon esas olarak bilgi teknolojileri sistemleri, aynı seviyede gerçekleşen çeşitli süreçler ve bilgi akışları ile ilgili olsa da, dikey entegrasyon esas olarak hiyerarşik seviye entegrasyon ve bileşen ile ilgilidir. Başka bir deyişle: yatay seviyeler yerine çeşitli hiyerarşik üretim ve imalat seviyelerindeki bilgi teknolojileri sistemlerinin tek bir kapsamlı çözüme entegrasyonu ile ilgilidir. Bu hiyerarşik seviyeler sırasıyla alan seviyesi (aktüatörler ve sensörler aracılığıyla üretim süreciyle arayüz oluşturma), kontrol seviyesi (hem sistemleri hem de makineleri düzenler), fiili üretim süreci seviyesi veya işlem hattı seviyesi (kontrol edilmesi ve izlenmesi gereken), operasyon seviyesi (kalite yönetimi, üretim planlaması ve diğerleri) ve son olarak kurumsal planlama (daha büyük genel üretim planlama ve sipariş yönetimi ve işleme) seviyesidir (Soylu, 2018: 48).

Endüstri 4.0'ın uygulanması 4 seviyeden oluşmaktadır. Endüstri 4.0 uygulamalarının yatay entegrasyon ve dikey entegrasyon gibi diğer yönlerinde olduğu gibi, süreç bağlı cihazlardan başlamakta ve daha sonra dikkatlice analiz edilen ve ağlar arasında geri gönderen verileri taşıyan aktüatörler ve sensörler ile cihazların tanımlanması üzerine kurulan hizmetlerle devam etmektedir. Aşağıda Endüstri 4.0'ın dört ana seviyesi açıklanmıştır (Andaç, 2019: 16).

Birinci seviye- “aktüatörler ve sensörler-bağlanması gerekenleri bağlar”: Entegrasyon ve otomasyon piramidinin ilk katmanları aktüatörler ve sensörlerdir. Ayrıca nesnelerin interneti kavramında 'nesneler ve cihaz' katmanları olarak adlandırılır, ancak diğer sistem ve teknolojiler de bu katmanda yer almaktadır.

İkinci seviye- “dahili hizmetler ve sistemler-yönet ve izle”: Bu seviye esas olarak yönetim ve izleme ile ilgilidir veya tam tersi, izlemenin nedeninin süreci anlamak ve üretim süreci için doğru kararı vermek olduğu açıktır.

Üçüncü seviye- “bağlantılı yeni yetenekler ve uygulamalar”: Bu seviyede, sadece ek varlıkların veya cihazların eklenmesiyle değil, aynı zamanda verilerin entegrasyonu ve izleme süreci ile de ilgilidir. Bunun yönetilmesi gerekiyor, çünkü kestirimci ve önleyici bakım, cihaz takibi vb. gibi yeni yetenekler ve daha akıllı uygulamalar mevcut sisteme eklenmektedir. Dolayısıyla uyum içinde çalışmak için bu seviye çok kritiktir.

Dördüncü seviye- “yeni ekosistemler ve hizmet dönüşümü”: Son seviye, sürecin dönüşümü ile ilgilidir. Bu seviyeler, müşterilerin malları sipariş ettikleri gibi uyarlamalarına ve yeni gelir hatları oluşturmak için gelişmiş hizmetler sunmalarına olanak tanıyan uygulamalardan oluşur. Bu, elbette ilgili paydaşlara ulaşan verileri taşımak için hizmetlerin entegrasyonu ile yönetilebilir. Yeni hizmetler geliştirmenin, sistemlerden ve tamamlayıcı sistemlere sahip diğer sistemlerden veri ve bilgileri bir araya getirerek özel işlerde önemli bir değişim anlamına geldiğini vurgulamak da önemlidir.

2.2. Endüstri 4.0 Tasarım İlkeleri

Tüm sistemler gibi Endüstri 4.0 da tasarım ilkelerine sahiptir. Bunlara ayrıntılı olarak bakmadan önce, kavramı kolayca anlayabilmek için temel ilkeyi kısaca açıklamak önemlidir. Endüstri 4.0'ın temel ilkesi, uyumlu bir şekilde ancak aynı zamanda özerk olarak çalışmak üzere veri, bilgi ve akıllı ağlar oluşturmak için makineleri, sistemleri ve birimleri birbirine bağlamaktır. Endüstri 4.0, üreticilerin veya imalatçıların üretim süreçlerinde entegrasyon çalışmaları için kullandıkları altı ana tasarım ilkesine sahiptir (Anuşlu ve Fırat, 2019: 12).

Birlikte Çalışabilirlik: Üretim süreci sadece bir dizi adım veya yöntemden oluşmaz ve yalnızca bunlarla doğrudan ilişkili olan kişiyi içermez. Aksine, tüm oyuncuların önemli rollere sahip olduğu tüm ortamları kapsamaktadır. Montaj hatları, üretilen ürünlerden veya bunlarla çalışan insanlardan tamamen ayrı düşünülmez.

Birlikte çalışabilirlik, tüm öğelerin Nesnelerin İnterneti aracılığıyla birbirleriyle bağlantı kurma, iletişim kurma ve çalışma yeteneği için geçerlidir. Bu süreç akıllı fabrikaları, insanları ve teknolojileri içermektedir (Hermann, Pentek & Otto, 2016).

Sanallaştırma: Gerçek üretim süreçlerini izlemek için, sanal modeller veya simülasyon yoluyla oluşturulan modeller üretmek için sensörler ve aktüatörler kullanılır. Akıllı fabrikaların bu sanal kopyaları oluşturulduktan sonra, üreticilerin bu verileri üretim ve bakım sorunları için kullanmaları mümkün hale gelmektedir.

Ademi merkeziyetçilik: Daha önce bahsedilen Endüstri 4.0, hızlı karar almayı mümkün kılmakta, birçok işletmenin zaten zaman alıcı ve rahatsız edici bulduğu bürokratik sorunların önünü açmaktadır. Endüstri 4.0, Akıllı Fabrikadaki farklı sistem ve cihazların ayrı ayrı kararlar alabildiği ademi merkeziyetçiliği güçlü bir şekilde kolaylaştırır ve destekler. Ayrıca bu sistemler tekil kararlar alırken nihai organizasyon hedefini göz önünde bulundurur ve bir bütünlük içinde bu amaca göre çalışmaktadır (Yıldız ve Fırat, 2020: 2).

Gerçek Zamanlı Yetenek: Industry 4.0'ın ana özelliklerinden biri, her şeyi gerçek zamanlı veya neredeyse gerçek zamanlı olarak yapmasıdır. Bu, özellikle her üretim sürecinde ve izleme ve geri bildirim aşamasında veri toplarken ve toplarken önemlidir. Üretimin her aşamasının güçlü ve zayıf yönlerinin değerlendirilmesi hızlı, neredeyse anında yapılabilir ve bu kesinlikle yönetimin hiç olmadığı kadar hızlı karar almasına olanak tanımaktadır (Andaç, 2019: 21).

Hizmet Yönelimi: Nesnelerin İnterneti sadece tüm büyük oyuncuların birbirine bağlanması anlamına gelmediği ve bu entegrasyonlarla bitmediği için, neredeyse tüm akıllı fabrikalar tarafından hizmet yönelimi istenmektedir ve bu nedenle hizmetlerin interneti hizmet vermektedir (Anuşlu ve Fırat, 2019: 12).

Modülerlik (Esneklik): Esneklik, Endüstri 4.0 için son tasarım ilkesidir, ancak aynı zamanda vazgeçilmez bir ilkedir, çünkü bu ilke ile akıllı olarak adlandırılan fabrikalar hızla değişen koşullara kendilerini kolayca adapte edebilirler. Dolayısıyla akıllı fabrikaları tasarlarlarken gereksinimlerin değişeceğini ve dolayısıyla tasarımın da değişeceğini öngörmek çok önemlidir (Ghariye, 2017).

2.3. Endüstri 4.0 Farklılığı

Bazı araştırmacılara göre Endüstri 4.0, üçüncü devrimden farklı değil. Aslında dördüncü sanayi devriminin araç ve teknolojileri yeni değil ancak toplumları ve küresel ekonomiyi dönüştürecek bu araç ve teknolojilerin giderek daha fazla geliştirilip entegre hale gelmesi nedeniyle üçüncü sanayi devrimindeki gelişmelerden farklılık gösteriyor. (Schwab, 2017: 11). Ayrıca Endüstri 4.0'ın diğer devrimlerden farklı olmasının bir diğer nedeni de kendi içinde sürdürülebilir bir evrim sağlamasıdır (Gür vd., 2017: 75). Brynjolfsson ve McAfee (2018) üç ana faktörün dördüncü sanayi devrimine yol açtığını ve onu diğer devrimlerden farklılaştırdığını savunuyor: üstel gelişmeler, dijitalleşme ve mevcut parçaların yeniden birleştirilmesine dayalı inovasyon. Schwab'a (2017) göre bazı akademisyenler ve profesyoneller bu gelişmeleri yalnızca üçüncü sanayi devriminin bir parçası olarak görmekte, ancak onun farklı bir devrimin gelişmekte olduğuna dair inancı üç nedene dayanmaktadır (Schwab, 2017: 11) :

- Hız: Önceki sanayi devrimlerinin aksine bu devrim lineer değil üstel bir hızla geliyor.
- Genişlik ve Derinlik: Devrim, dijital devrimin üzerine çıkıyor ve ekonomide, iş dünyasında, toplumda ve bireysellikte benzeri görülmemiş paradigma değişimlerine yol açan çok çeşitli teknolojileri bir araya getiriyor.
- Sistem Etkisi: Devrim, ülkeler, şirketler ve sektörler içinde ve arasında sistemlerin bütünsel bir dönüşümünü içerir.

Ayrıca Fırat (2016), Endüstri 4.0 paradigmasını öncelikle üç boyutun desteklediğini ileri sürmektedir:

- Değer yaratma ağının tamamında yatay entegrasyon
- Tüm ürün yaşam döngüsü boyunca uçtan uca mühendislik
- Dikey entegrasyon ve ağ üretim sistemleri

Bazı çalışmalarda nesnelerin interneti kavramı (IoT) Endüstri 4.0 ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Ancak IoT, Endüstri 4.0'ın sadece bir alt kavramı olduğu için dördüncü sanayi devrimini bu şekilde aşırı basitleştirmek doğru bir yaklaşım değildir

(Özdoğan, 2017: 42). Literatür taramasında Endüstri 4.0'ı tanımlamak için yaygın olarak kullanılan terimler siber fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, akıllı fabrika, hizmetlerin interneti, akıllı ürün, M2M (machine to machine), büyük veri ve bulut olarak bulunmuştur.

2.4. endüstri 4.0 ile ilgili Temel Kavramlar

Endüstri 4.0, siber-fiziksel sistemlerin üretim süreçlerini izlediği ve özerk kararlar aldığı bir sistemler topluluğu olarak tanımlanabilir. Bazı kaynaklar da "akıllı fabrika" terimini kullanmaktadır. Bir anlamda bu, bir ürünün hammadde, üretim, teslimat, destek, bakım ve nihai geri dönüşüme kadar tüm tedarik zincirini kapsayan yeni bir organizasyon ve kontrol düzeyidir. Ürünlerin ve üretim sistemlerinin ömrü boyunca mevcut tüm verilerin gerçek zamanlı olarak yakalanmasına ve akıllı yönetimine dayanır. Amaç, son derece esnek seri üretim koşulları altında ürünlerin güçlü bir şekilde özelleştirilmesini sağlamaktır (Özkan, 2019: 7).

Şirketlerin Endüstri 4.0 konusunda temkinli olmaya ve süreç değişikliğine neden şüpheyle yaklaştıklarına dair belirli faktörlere atıfta bulunulabilir. Bu faktörler arasında potansiyel siber güvenlik sorunları, mahremiyet, veri güvenliği ve fikri mülkiyet hakları yer almaktadır. Aslında, bu tür temel dönüşümlerin, kaçınılmaz olarak, şirket yönetimi ve bilgi teknolojileri departmanları tarafından bu tür yasal zorlukların ve sorunların kapsamını belirlemek ve algılamak için genellikle göz ardı edilebilecek bir takım yasal etkileri ve sonuçları olacaktır (Üstündağ ve Çevikcan, 2018:7). Veri analizi çoğunlukla bireylerin kişisel bilgilerini içerdiğinden, bu tür verilerin korunması sorununun da şirketler tarafından çözülmesi gerekmektedir. Veri koruma yasaları ve bilgi teknolojileri güvenliği her ülkede farklı şekilde yürürlüğe girdiğinden, çeşitli zorlukların üstesinden gelmek için pazarların farklı görevleri olacaktır (Siemens, 2016: 9).

Dokuz temel teknolojik gelişmenin Endüstri 4.0'ın sağlayıcıları olduğu söylenebilir. Bunlar; Büyük Veri, Arttırılmış / Zenginleştirilmiş Gerçeklik, Üç Boyutlu (3D) Yazıcılar, Bulut Bilişim (Cloud Computing) Sistemi, Siber Güvenlik , Nesnelerin İnterneti, Siber- Fiziksel Sistemler, Simülasyon, Akıllı Robotlar / Akıllı

Fabrikalardır (Rübmänn vd., 2015: 62; TÜSİAD, 2016). Bu sağlayıcıların her biri alt başlıklarda detaylı olarak incelenecektir.

2.4.1. Büyük Veri

Elektronik cihazların ve sosyal medyanın kullanımının artmasıyla birlikte veri kaynakları her geçen gün katlanarak büyümektedir. Akıllı cihazlarımızın bellek segmenti giderek daha fazla fotoğraf, video veya uygulama depolamaktadır. Her kullanıcı kendi verilerini bireysel olarak yönetmeye ve kullanmadıklarını ortadan kaldırmaya çalışır – bir anlamda bilinçli veya farkında olmadan verilerin büyümesine doğrudan veya dolaylı olarak katkıda bulunmaktadır. Sektörel düzeydeki büyük veri, günlük çalışma hayatında yapılan tüm işlemleri kapsamaktadır. Bu süreçlerde her bir veri çok önemli veya düzenli olmayabilir. Ancak sistemin kullanımı nedeniyle tüm bu verilerin veri tabanlarında tutulması gerekmektedir. Endüstri 4.0, büyük veri metodolojisi de dahil olmak üzere akıllı yöntemlerle teknolojinin ve gelişmiş sistemlerin birleşimidir (Khan v.d., 2017). Bu büyük sistemleri yönetmek ve verilerini kontrol altına almak için klasik yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle büyük veri, tüm verileri hızlı bir şekilde toplanmasını ve verimli bir şekilde yönetilmesini sağladığı için bu noktada hayati önem taşımaktadır (Lee v.d., 2014: 6). Büyük veri kavramındaki en büyük zorluk, sürekli büyüyen verilerin toplanması değil, daha iyi karar verme mekanizması için elde edilen karmaşık verilerin mevcut bilgilere dönüştürülmesidir (Bartodziej, 2017: 32).

Günümüzde küreselleşme ve iletişim teknolojilerinin hızla artması nedeniyle artan rekabetçi piyasa koşulları, kuruluşları elde ettikleri verileri gerçek zamanlı ve doğru bir şekilde değerlendirmeye teşvik etmektedir. Endüstri 4.0 kavramının kuruluşlar arasında yaygınlaşması, büyük veri uygulamalarının hayata geçirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu tür uygulama ve yazılımların özellikle üretim süreçlerine uygulanması, tek yönlü ve sadece belirli işlemleri gerçekleştiren makineleri, elde edilen bilgiler ışığında kendi kendine öğrenen birimlere ve özerk olarak işlem yapabilen birimlere dönüştürmektedir (Siemens Türkiye, 2016, s. 12).

Veriler her geçen gün daha da büyümektedir. Veri genişletme için herhangi bir sınırlama yoktur ve araştırmalar tüm veri üretiminin yüzde doksanın son iki yılda

gerçekleştirdiğini göstermektedir (EBSO, 2015: 19). Bu, teknolojik gelişmeler ve veri artışının doğru orantılı olduğu anlamına gelir. Endüstriyel operasyonların dijital platformlara geçişi ve bu şekilde ilerlemesi, veri boyutunu daha da hızlı bir şekilde artırmaktadır. Dijital dönüşüm birçok avantaj sunsa da verinin kontrolsüz büyümesini de beraberinde getirmektedir. Muazzam veri boyutu şu an için bir sorun gibi görünmese de, zaman geçtikçe hızlanarak büyümeye devam etmekte, bu da büyük veri teknolojilerini kullanmak gibi verilerin akıllı bir şekilde kontrol edilmesini ve işlenmesini gerekli kılmaktadır.

Bilgi kaynaklarının çeşitliliği, elde edilen bilgilerin farklı formatlarda olmasına neden olmaktadır. Veri kaynaklarının çoklu bir yapıya aktarılması ve kaynaklardaki çeşitlilik, veri yapısının karmaşıklaşmasına neden olmaktadır. Elde edilen veriler yapılandırılmış ve yapılandırılmamış olarak iki farklı kategoride ele alınmaktadır. Bu, bilgi teknolojileri süreçlerinin, verileri en hızlı ve en doğru şekilde işlemek için eylemlerle donatılmasını gerektirmektedir. Bu tür eylemler, verilerin elde edilmesini ve değerlendirilmesini kolaylaştırmanın yanı sıra veri kaynaklarının doğru bir şekilde koordine edilmesini ve organize edilmesini de sağlayabilmektedir.

Büyük Veri kavramı sadece veri veya bilgi fazlalığı ile ilgili sorunları içermemektedir. Bu tür sorunların dışında veri aktarım hızı, veri güvenliği ve depolama ile ilgili birçok sorun bulunmaktadır. Büyük Veri, bugün mevcut olan geleneksel yöntemlerle değerlendirilemez ve saklanamaz. Bu, Büyük Verinin değerlendirilmesi ve korunması gibi konuların dünya ile bağlantılı olarak giderek küreselleşen sorunlara dönüştüğü anlamına gelmektedir. Veri yedekleme yazılımları bazı güvenlik açıklarından dolayı tercih edilmemektedir (Özdoğan, 2017: 81). Yapılandırılmış veri işleme, değerlendirme ve depolama için daha uygundur. Yapılandırılmış veriler bir veritabanında kolayca saklanır ve kullanım amacına göre standart bir yapıya sahiptir. Bu tür veriler, bir kuruluşun satış rakamlarını, bir deponun stok seviyesini veya bir bankada açılan hesap numaralarını gösteren sabit kullanımı olan kavramları içermektedir. Yapılandırılmış veriler, amaçlanan kullanımı için saklanma, değerlendirilme ve değiştirilme avantajına sahiptir. Yapısal olmayan veriler genellikle video izleme, müzik dinleme gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanan en hızlı gelişen veri türüdür (Mishra and Pattnaik., 2016: 12). İstatistiklere göre kuruluşlar

tarafından elde edilen verilerin yaklaşık %80'i yapısal olmayan verilerdir (Ise, 2016: 890). Yapısal olmayan verilerin ölçülmesi ve değerlendirilmesi için en yoğun çaba gösterilmektedir. Ayrıca yapısal olmayan veriler karmaşık doğası nedeniyle modelleme yoluyla belirli bir şekilde değerlendirilemez (Özkan, 2019: 32).

Büyük Veri ile ilişkilendirilen birçok teknoloji olmasına rağmen, analiz için kullanılan ve büyük verinin etkinliğini ve doğruluğunu kesin olarak ölçen tek bir kriter yoktur (Demchenko vd., 2013). Büyük Veri, dört farklı bileşenin bir araya gelmesiyle anlamlı bir yapıya dönüşmektedir. Bu bileşenler aşağıdaki gibidir:

- **Çeşitlilik:** Büyük veri, birden fazla farklı yapıya sahip bir platformdan farklı türlerde hem düzenli hem de düzensiz verileri içerebilir (Witkowski, 2017: 767). Çeşitlilik, yapılandırılmış, yapılandırılmamış veya yarı yapılandırılmış gibi çeşitli veri türlerini ifade eder. Bir sosyal medya hesabından video, resim ve müzik gibi internete akmaya devam eden tüm veri türleri gibi, çoğu dinamiktir ve sürekli olarak değişebilir. Bu durum, ne maliyet ne de zamanın verimli kullanımı açısından herhangi bir etkin sonuç vermeyen geleneksel yöntemlerle bu kadar büyük miktarda verinin analizini çok zorlaştırmaktadır.
- **Hız:** Her saniye artan veri miktarı ve çeşitliliği nedeniyle veri üretim hızı ve veri akış hızı çok önemli faktörlerdir. Bu sürekli veri akışı ve çeşitliliğinde artık Veri Akışı Süreci olarak adlandırılan verilerin sürekli işlenmesi gerekmektedir. Büyük veriler üzerinde gerçek zamanlı veri analizi hızlı ve verimli bir şekilde yapılmalıdır. Akış bilgisinin hızlı ve anlık analizine örnek vermek gerekirse; New York Menkul Kıymetler Borsası, oturum başına 1 terabayt veri sağlamaktadır. Bu boyuttaki veriler neredeyse gerçek zamanlı olarak işlenmeli ve analiz edilmelidir (Elitok, 2019: 12).
- **Hacim:** Veri miktarını belirleyen faktördür. Büyük veri kategorisinde yer alabilmek için herhangi bir verinin büyük boyutta olması gerekir (Kılıç, 2018). McKinsey Global Institute, büyük veri hacminin, verilerin birleştirilmesi, depolanması, toplanması, analiz edilmesi ve yönetilmesinin standart araçlarla gerçekleştirilemeyecek kadar büyük olduğu durumları kapsadığını belirtmektedir. İşletmeler, verilerinin gelecekte nasıl

yönetilebileceği üzerinde çalışmak için artan kapasite ihtiyaçlarını analiz etmelidir. Büyük hacimli verilerle ilgilenmeyen işleme teknikleri, veri depolamayı işlenmemiş bir yığın haline getirecektir. Bu nedenle veri artış hızının doğru hesaplanması, onu yönetmek için doğru araçların seçilmesi kadar önemlidir.

- Doğruluk: Bilginin doğruluğu kadar bilgi akışının sürekliliği de dikkate alınması gereken iki önemli husustur. Bu anlamda doğrulama önemlidir. Verilerin doğruluğu aynı zamanda yetkili kişiler ve makamlar tarafından görülmesi anlamına da gelmektedir (Akbulut,2018).
- Değer: Veriden elde edilebilecek değer, veri analistlerinin en önemli amaçlarından biridir. Büyük verimizi oluşturan unsurları süzgeçten geçirdikten sonra sisteme olumlu etki etmesinin ve değere dönüştürmesinin sağlanması gerekmektedir. Temel amaç, tüm bu verilerden işletme için neyin önemli olduğuna dair bilgi çıkarmaktır. Sonuç olarak sistemin değerleri çıkarması ve ticari faaliyetlerine dahil etmesi beklenmektedir (Elitok, 2019: 12).

2.4.2. Arttırılmış / Zenginleştirilmiş Gerçeklik

Arttırılmış gerçeklik, gerçek içeriği bilgisayar sesi, görüntü, grafik ve GPS verileriyle zenginleştirerek canlı, doğrudan veya dolaylı bir fiziksel görünümün oluşturulmasıdır. Bu kavram, sanal eklemeler ile gerçek dünyayı bir bilgisayar yardımıyla genişletmekte ve zenginleştirmektedir (Banger, 2017: 50). Bilgisayar tarafından kısaca değişen ve genişleyen gerçeklik olarak tanımlanan bu uygulama sayesinde kullanıcı, gelişmiş arttırılmış gerçeklik teknolojilerini kullanarak çevresindeki bilgilerle etkileşime geçebilmektedir (EBSO, 2015: 21).

Sanal gerçeklik ve arttırılmış gerçeklik kavramları endüstriyel dünyada sıkça duyulan terimlerdir. Sanal gerçeklikte tamamen sanal bir dünya yaratılır ve arttırılmış gerçeklik uygulamasında (insanların anime karakterleriyle oynadığı filmlerde olduğu gibi) gerçek ve sanal iç içedir. Gelişen bir üretim yaklaşımında sanal gerçeklik, arttırılmış gerçeklik ve konuşma, tanınma ve iş modelinin unsurları haline gelmektedir. Çalışanlar, giyilebilir cihazlar (akıllı gözlükler) sayesinde önemli görevleri yerine getirmek için ihtiyaç duydukları iletişim elemanlarına veya talimatlara erişebilecek ve

genel sanallaştırma uygulamaları ile herhangi bir tehlikeyle karşılaşmadan robotlarla güncel bir ergonomide çalışabilecektir (Banger, 2017: 157).

Artırılmış gerçeklik, günlük hayatta her aşamasında kullanılan ve günlük hayatı kolaylaştıran çok önemli bir teknolojidir. Günümüzde artırılmış gerçeklik teknolojisinin kullanımı arkeolojiden mimariye, eğitimden sanata, sağlıktan askeriye kadar geniş bir alana yayılmıştır. Artırılmış gerçeklik olarak ifade edilen bu yeni teknoloji, bilgisayar evreni ile gerçek evren arasındaki çizgiyi bulanıklaştırmaktadır. Böyleki, bu yeni yaratılmış evrende görme, hissetme, dokunma, koklama ve işitme duyularının çalışmasına izin vermektedir (Scwhab, 2016:84).

Artırılmış gerçeklik sistemleri, mobil cihazlar aracılığıyla stok toplama ve onarım talimatları gönderme gibi çeşitli hizmetlerin sunulmasına yardımcı olur. Bu sistemler henüz emekleme aşamasındayken, şirketlerin kararlarını ve çalışma yöntemlerini iyileştirmek için çalışanlara anında bilgi sağlamak için gelecekte artırılmış gerçekliği daha yaygın olarak kullanmaları beklenmektedir. Örneğin, işçiler onarılması gereken gerçek bir sisteme baktıklarında, belirli bir parçanın nasıl değiştirileceğine ilişkin onarım talimatları alabilirler. Bu bilgiler, artırılmış gerçeklik gözlüğü gibi cihazlar kullanan çalışanların görüş alanında doğrudan görüntülenebilmektedir. Bir diğer uygulama ise sanal eğitimidir. Siemens, Comos yazılımı için, acil durumlarda tesis personelinin eğitmek için artırılmış gerçeklik gözlükleri kullanan gerçekçi, veriye dayalı bir 3 boyutlu ortam kullanan bir sanal operatör eğitim modülü geliştirmiştir. Bu sanal dünyada, operatörler bir siber görünüme tıklayarak makinelerle etkileşime girmeyi, parametreleri değiştirmeyi ve operasyonel verileri ve bakım talimatlarını almayı öğrendiler.

2.2.3. Üç Boyutlu (3D) Yazıcılar

Üç boyutlu (3D) yazıcılar, Endüstri 4.0 konseptinde bir nevi CNC makinesi (bilgisayar yazılımlı yönetim) görevi görmektedir. Bu yazıcılar sayesinde sanal yapıda tasarlanan bir ürün üç boyutlu olarak üretilebilmektedir. 3D yazıcılar, Endüstri 4.0 konseptinde üretim faaliyetlerinin geliştirilmesine olanak sağlarken, aynı zamanda ürünlerin benzersiz bir şekilde üretilmesine de olanak sağlıyor. 3D yazıcılar donanım

bileşenlerine dayanmakla birlikte, değişen ihtiyaçları karşılamak ve tasarlamak için yazılım bileşenlerine ihtiyaç duymaktadırlar (Bayraktar, 2017:66).

3D yazıcılar otomotiv, havacılık, mimari, elektronik ve savunma gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Geleneksel üretim tekniklerinde yöntemlerin ve modellenmenin sınırlı olması, 3D baskı ve prototipleme yöntemlerinin popüleritesini artırmaktadır. 3D baskı ve prototipleme yöntemlerinin en çok kullanıldığı süreçler, bağımlılık yaratan üretim süreçleridir. Katmanlı imalat, uzun süreli üç boyutlu yazıcılarla hızlı prototipleme aşamasının gelişmiş ve endüstriyel olarak işlevselleştirilmiş hali olarak tanımlanabilir. Endüstri 4.0 ile gerçekleştirilen üretim süreçlerinde temel amaçlardan biri hedef kitleye özel kişisel ürünler oluşturmak olduğundan eski yöntemler uygulamadan kaldırılmıştır. 3D yazıcıların hem üretim süreçlerini hızlandırma hem de karmaşık nesnelerin tasarlanması ve üretilmesi açısından etkin katkısı göz önüne alındığında, yenilikçi bir yaklaşımla üretim süreçlerinin yeniden tasarlanabileceği düşünülmektedir.

Akıllı bileşenler, akıllı üretim süreçleri ve 3D baskı gibi teknolojik kavramların katmanlı üretim süreçlerine dahil edilmesi, ürünün yeniden düzenlenmesi ve tedarik sürelerinin kısaltılması hem üretim platformu hem de müşteri için avantajlıdır. Şekil olarak üretimi zor olan ve geleneksel yöntemlerle üretilmeyen ürünler, eklemeli imalat ve 3D yazıcı teknolojisi ile üretilmektedir (Banger, 2016: 161).

Katmanlı üretim, çöp optimizasyonu sağlama, kişisel ürün tasarlama ve hammadde kullanımını azaltma gibi yeniliklerle kuruluşlara ve çevreye avantajlar sunmaktadır (Horst vd., 2018). Kullanılan tedarik, iş gücü, ekipman maliyetleri ve harcanan güç, eklemeli imalat kavramının maliyet kalemleridir. Eklemeli imalat süreçlerinde en fazla maliyet kullanılan hammaddedir. Ayrıca işgücü maliyeti %2 - 3 ve enerji harcaması maliyeti %1'den azdır (Thomas vd., 2014).

Son kullanıcılar ve müşteriler hem kişiselleştirilmiş, hem yenilikçi hem de en kaliteli ürünlere en ucuz fiyatlarla ulaşmak istiyor. Geometrik yapısı nedeniyle geleneksel yöntemlerle üretilmesi zor olan nesneler eklemeli imalat ile üretilmektedir. Bu, hem tasarım hem de planlama aşamalarında esneklik sağlar. Üretim süreçlerindeki tasarım aşamaları sanal ortamda dijital tabanlı bir dosyada

gerçekleştirilir. Bilgisayar ve yazılım desteği ile gerçekleştirilen bu işlemlerde insan müdahalesi minimum düzeyde olup, insan faktörünün neden olduğu hata minimum seviyeye indirilmektedir. Eklemeli imalat yaklaşımı tasarım, planlama ve üretim süreçlerinde önemli kazanımlar sağlasa da bazı alanlarda dezavantajlar ve eksiklikler bulunmaktadır. Eklemeli imalat süreçleri, diğer geleneksel üretim süreçlerine göre daha maliyetli bir teknolojik altyapıya sahip olup, endüstriyel yardımcı parçaların ve belirli ölçülerdeki parçaların üretiminde daha verimlidir.

3D yazıcılarla gerçekleştirilen eklemeli üretim süreçlerinin yaygınlaşmasıyla dünya çapında ekonomik dengeler ve planlar değişmeye başlamaktadır. İthalatçı ve ihracatçı ülkelerin konumları, üretim şekillerinde yenilikçi ve vizyoner yaklaşımlarla kurulan tesislere göre değişmektedir. Eklemeli imalat elemanlarının farklı teknolojilerle desteklenmesi sonucunda kapasite ve yeteneklerin artırılması ile farklı sektörlerde faaliyet gösteren kullanıcılara hitap ederek yeni bir endüstriyel üretim sürecinin başlangıcı olarak görülebilir. (Özkan, 2019: 36).

2.4.4. Bulut Bilişim (Cloud Computing) Sistemi

Bir fikir olarak bulut bilişimin temeli 1950'ye kadar uzanmaktadır. İnternetteki en ünlü şirketlerden biri olan Amazon, ilk bulut bilişim kuruluşu örneğidir (Yazır, 2018: 8). Daha önce de belirtildiği gibi artan kaynak ve veriler, geleneksel yöntemlerle veri yönetimini zorlaştırmaya başlamıştır. Verilere her zaman, her yerde ve herhangi bir platformda erişme olanağı, bulut bilişimin en önemli hedefidir. Artan cihaz yetenekleri bile kullanıcıların verilerini cihazda saklamasına izin vermemektedir. Medya öğelerinin sayısının artırılması, kişisel cihazlardan yapılan işlemler ve verilerin saklanması, cihaz kapasitelerini etkileyen faktörler olarak gündemin başında yer almaktadır. Performans sorunları ve veri kaybı riskleri bulunduğu için, verilerin bağımsız ve ayrı cihazlarda yönetilmesi ve saklanması giderek daha fazla istenmeyen bir hal almaktadır. Aynı işlemler için de geçerlidir. Eklenen verilerle artan bilgi teknolojileri donanımı, altyapı ve hizmet maliyetleri, depolama, yedekleme ve geri yükleme gibi sistem senaryoları, bulut bilişimi daha uygun bir çözüm haline getiriyor. Hizmet Olarak Altyapı (IaaS- Infrastructure as a Service), Hizmet Olarak Platform

(PaaS-Platform as a Service) ve Hizmet Olarak Yazılım (SaaS), bulut bilişimi oluşturan üç temel hizmet türüdür.

Bu üç ana hizmete her an ulaşılabilir ve “kullandıkça öde” sistem yöneticileri için avantajlı bir özelliktir. Bulut bilişim, kullanıcıların herhangi bir özel program veya yazılım kullanmadan kolay bir arayüz ile internetten tüm kaynaklarına erişmesine ve kullanmasına olanak tanımaktadır. Endüstri 4.0, müşteriler, kullanıcılar, yöneticiler ve hatta cihazlar tarafından kolayca erişilebilen bir mimari olduğu için bulut bilişime büyük önem vermektedir (Banger, 2016: 58).

Güçlü bulut bilişim uygulamaları tüm dünyada devreye girmektedir. IBM, Amazon, Google, Walmart ve Facebook gibi kuruluşlar, veritabanı sistemleri ve bulut hizmetleri gibi alanda önemli ve büyüyen varlıklar yaratmışlar ve bu olay günümüzde de devam etmektedir. Bilgisayar uzmanları, yakın gelecekte tüm bilgisayar operatörlerinin bulut bilişim sistemini kullanacağını öne sürmektedirler. Bu sektörün gelişmesi yeni sektörlerin oluşmasına yol açacaktır. Bulut bilişim, özellikle telekomünikasyon ve bilgi teknolojisi sektörlerinde medya, hükümet, eğitim ve sağlık gibi sektörler üzerinde büyük bir etkiye sahip olacaktır. Ancak, en büyük etki akıllı üretimin merkezinde olacaktır (Banger, 2017: 95).

2.4.5. Siber Fiziksel Sistemler

Siber fiziksel sistemler, siber, sibernetik olarak bilinen ve canlı varlıklar ile makineler arasındaki iletişim ve kontrolün araştırma konusu olarak seçildiği bilimsel disiplinlerden doğmuştur. 1940'larda siber, öncelikle iletişim teknolojisi, bilgisayarlar ve internete dayalı yönetim süreçlerini tanımlamak için kullanılmıştır (Bradley ve Atkins, 2015: 23).

Siber Fiziksel Sistem (CPS) kavramından ilk olarak 2006 yılında ABD'de Lee (2006) tarafından fiziksel dünya ile bilgisayar ağları üzerine kurulu sanal ortamlar arasında büyüyen ilişkiyi vurgulamak için bahsedilmiştir. Fiziksel dünya ile siber dünya arasındaki etkileşim ve koordinasyonu içeren tüm varlıklar siber fiziksel sistemler (CPS) olarak tanımlanmaktadır (Alçın, 2016: 23-24).

Endüstri 4.0'ın oluşumunun en önemli unsurlarından biri olan siber-fiziksel sistem örnekleri arasında akıllı şebekeler, otonom taşıt sistemleri, medikal izleme, endüstriyel kontrol sistemleri, robotik cihazlar ve otomatik kontrol elektroniği sayılabilir. Bu sistemler gömülü sistem olarak da tanımlanmaktadır. Siber-fiziksel sistemlerin iki önemli bileşeni vardır. Birincisi, endüstriyel internet üzerinden atanmış internet adresleri ile birbirleriyle iletişim kuran nesneler (sistem, cihaz, makine, sensör gibi) ağıdır. İkincisi ise, bilgisayar bilimi ortamında fiziksel nesnelerin ve davranışların modellenmesiyle oluşturulan sanal bir uygulamadır. Biri gerçek dünyada fiziksel, diğeri bilgisayar ortamında sanal olan iki sistem, uyum içinde ve gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır (Banger, 2017: 47).

Siber fiziksel sistemler, akıllı üretim sistemlerinin vazgeçilmez unsurlarından biridir. Siber fiziksel sistemlerin olmadığı üretimde otomasyon ve süreç sistematik olarak çalışamaz.

Endüstri 4.0 ile siber ve fiziksel dünya arasındaki iletişim makineler vasıtasıyla kurulmaktadır. Bunun en göze çarpan örneği ise “Akıllı Fabrikalar”dır. Örneğin, üretim sürecinin herhangi bir basamağında kaynak problemi yaşanması halinde, gereken kaynak siparişi otonom olarak verilmektedir, meydana gelen aksaklıklar anlık ve yerinde saptanıp düzeltilebilmekte, sistem optimum kapasiteyle ve problemsiz çalışabilmektedir. Siber fiziksel sistemler, Ar-Ge, tasarım ve pazarlama süreçlerinde de aktif kullanılıp fayda sağlamaktadır. Örneğin, bir fabrika fiziksel anlamda inşa edilmeden simülasyon aracılığı ile kurulup gereken tüm fizibilite çalışmaları bu simülasyon aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Özetle siber fiziksel sistemler, dolayısıyla da Endüstri 4.0, hali hazırda tahmin etmekte zorlandığımız çözüm yollarının bulunması, etkin kaynak kullanımının sağlanması, verimliliğin artırılması anlamında ümit vaat etmektedir (Siemens Türkiye, 2016: 10).

Sürekli artan sayıda sensör ve ağa bağlı makineler, büyük veri olarak bilinen veri miktarında istikrarlı bir artışa yol açmıştır. Bu durumda CPS, büyük verileri yönetmek, akıllı, esnek ve kendi kendini uyarlayan makineler hedefine ulaşmak ve makineler arasında bağlantı sağlamak için gelişmektedir. (Kahraman, 2017: 101). Siber fiziksel sistemlerin sanayi ve imalat gibi sektörlerin yanı sıra enerji, ulaşım,

savunma, sağlık, tarım, yapı denetimi ve kentsel hizmetler gibi sektörlerde giderek daha fazla kullanılması ön görölmektedir. Siber güvenlik ve gizlilik sorunları, endüstri 4.0 için oldukça endişe verici konulardır. Sistem verilerinin bulutta tutulması ve web üzerinden erişim sağlanması ciddi güvenlik tehditlerini de beraberinde getiriyor. Endüstri tabanlı sistemler, uzaktan kontrol ile yönetilebildikleri ve nesneler arasında iletişim sağlanabildikleri için normal veri sistemlerinden daha fazla risk altındadır. Önemli verilerin sızmasını önlemek ve endüstriyel sistemlerin güvenli bir altyapıda tutulmasını sağlamak için siber güvenlik konusu üzerinde durulması gereken bir konudur. (Banger, 2017: 129).

2.4.6. Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin interneti, endüstri 4.0 tarafından kullanılan en yaygın ve tamamlayıcı teknolojilerden biridir. Üçüncü sanayi devrimi ile birlikte makineler, üzerlerine yüklenen komutları yerine getirme kabiliyetine kavuşmuştur. Nesnelerin interneti ve dördüncü sanayi devrimi ile bu iş süreçleri daha da ilerlemiş ve merkezi fiziksel ürünlerden veriye dayalı hizmetlere dönüştürmüştür. Bu teknoloji, farklı boyut ve özelliklerde farklı amaçlarla çalışabilen cihazların internet bağlantısını destekler (Banger, 2017: 43). Hem birbirleriyle hem de insanlarla iletişim halinde nesnelerin kullanımını ve üretimi daha verimli hale getirir. Günümüzde bu bağlantılar makineden makineye iletişimin ötesine geçerek üretim ve verimlilikte önemli faydalar sağlamaktadır. Bazı kaynaklara göre, bu çalışmaların ekonomik etkisi 2025 yılına kadar her yıl 4 milyar ABD doları olacaktır (Witkowski, 2017, s. 766). Başlangıçta, IoT yalnızca belirli bir cihazlar arası iletişim teknolojisi olarak ortaya çıktı. Günümüzde daha akıllı bir teknolojidir ve gelen verilere göre üretim yöntemini değiştirerek üretim yapabilmektedir. Veriler, insanlarla iletişim kurmak ve gerektiğinde onları değiştirmek için ilgili nesnelere monte edilen sensörler tarafından üretilir. Her yerden izlenebilen bu sistemler ile üretim sürdürülebilir bir süreç haline geliyor. Ancak farklı katmanlardan oluşan bu iletişim sistemlerinin güvenlik yönlerinin ele alınması önemlidir. Siber saldırıların teknolojik gelişmelerle aynı oranda olduğu günümüz dünyasında nesnelere veya iletişim katmanlarına yönelik

saldırılar olumsuz sonuçlar doğurabilmekte ve mahremiyete zarar verebilmektedir (Özdoğan, 2018: 95-97).

Bu kavramın üretim süreçlerine uygulanması, süreçlerin geleneksel biçimden dönüştürülmesine yol açmaktadır. Bu dönüşüm, üretim süreçlerinde yer alan farklı birimler arasındaki iletişim sorunlarının ve aksaklıkların giderilmesini amaçlayan merkezi kontrol yöntemleri yerine merkezi olmayan yapılarla yürütülen süreçlere dayanmaktadır.

Nesnelerin interneti kavramının endüstriyel üretim süreçlerine dahil edilmesi, farklı iş tanımlarının ve uygulamalarının ortaya çıkmasına katkı sağlamaktadır. Anlık ve uzun vadede elde edilen bilgilerden yola çıkarak depolama ve stoklama süreçlerinde stok kayıplarının önüne geçmek için nesnelerin interneti konsepti kullanılmaktadır. Ayrıca endüstriyel süreçlerde kestirimci bakım, üretim - kalite kontrol aşamalarında Nİ kavramı etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Üretim ve montaj hatlarında kullanılan farklı ve yeni bakış açılarındaki iş modelleri, sensörler ve akıllı okuyucular ile yapılandırılan süreçlerle optimum bilgi aktarımına dayalı verimlilik ve tasarrufa katkı sağlamaktadır (Görçün, 2017: 148-149).

Nİ kavramı genellikle merkezi olmayan ve heterojen bir süreçler zincirinde kontrol, hesaplama ve kombinasyon operasyonlarının yürütülmesinde yer almaktadır. Tesis içerisine yerleştirilen sensörler ve akıllı okuyucular aracılığıyla elde edilen veriler, tesis içindeki lojistik faaliyetler, koşulların kontrolü ve operasyonel süreçlerin optimizasyonu hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Elde edilen bilgiler aynı zamanda süreçlerin şeffaflığını da sağlamaktadır. Süreçlerin şeffaflığının artırılması, elde edilen verilerin objektif olarak değerlendirilmesine ve optimal modellenmesine yol açmaktadır. Farklı bileşenlerden gelen verilerin doğru şekilde modellenmesi ve kullanılması, kalite süreçlerinin iyileştirilmesine, temel nedenlerin belirlenmesine ve maliyetlerin düşürülmesine neden olmaktadır (Arslan ve Kırbaş, 2016: 38-41). Nİ kavramının aktif olarak kullanıldığı üretim süreçlerinde gizlilik, kontrol kaybı, bilgi ve veri güvenliği gibi risk faktörleri dikkate alınarak belirli önlemlerin alınması gerekmektedir. Tesis ve süreç konfigürasyonu döneminde Nİ konseptinin geliştirilmesinde otomasyon, bilgi toplama, yer değiştirme ve yapay zeka uygulamaları

da kullanılabilir. Nİ uygulamaları sağlık yönetimi, gezegen araştırmaları, şehir yönetimi gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Sistem kullanıcıları ve farklı alanlarda faaliyet gösteren yöneticiler, uygulamaları izlemek ve geliştirmek için süreçler tasarlamalıdır (Bozuklu, 2016: 22). Nİ ile ilgili uygulamalar, insan zekası, çevre koşulları ve toplanan veriler temelinde hareket ederek problem tespiti ve çözümlü sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Nİ uygulamalarının endüstriyel üretim süreçlerinde aktif olarak kullanılması, süreçlerdeki gelişmelerin sürdürülebilirliğine de katkı sağlamaktadır (Banger, 2016: 186).

Nİ uygulamaları tarafından toplanan heterojen verilerin değerlendirilmesi, endüstriyel süreçlerdeki talep değişikliklerine verimli ve etkin bir şekilde yanıt verilmesini sağlamaktadır. Nİ uygulamalarının güvenlik, esneklik ve izlenebilirlik gibi önemli özellikleri sağlaması gerekmektedir. Nİ'nin uygulama ve iş modelleri, kullanım alanına göre değişiklik göstermektedir. Nİ kavramı kendi içinde hiyerarşik bir yapıya sahiptir. Sensörler, izleme ve denetleme sistemleri, giyilebilir teknolojiler, tesisin farklı lokasyonlarında konuşlandırılan hiyerarşik yapının bileşenleridir. Hiyerarşik yapıya dahil edilen her bileşenin kendine özgü görevleri vardır. Sistemin geliştirilmesi ve optimizasyonu, hiyerarşik yapının bileşenleri arasında bilgi alışverişi ve bilgilerin depolanmasından sonraki aşamada kullanılan gelişmiş analitik değerlendirme yöntemleri sayesinde mümkün olmaktadır (Öztuna, 2017: 69).

Nesnelerin birbirleriyle doğru iletişim kurabilmeleri ve kusursuz çalışabilmeleri için bireysellik ve doğru konumlandırma önemli faktörlerdir. Hiyerarşik yapının doğru konumlarda işletilmeyen unsurları, bilginin edinilmesinde ve aktarılmasında sorunlu unsurlar haline gelmektedir. Akıl yürütme ve muhakeme yeteneğine sahip sistemler, hem süreçlerde hem de organizasyon yapısında kıvraklığın, verimliliğin ve özgünlüğün artırılmasında etkin rol oynamaktadır. Bu faktörlerin iyileştirilmesi ve güncellenmesi ekonomik avantajlar sağlamanın yanı sıra iş güvenliğine yönelik çalışmaları da etkin kılmaktadır.

Nİ kavramı, yatay entegrasyon kapsamında ortak olarak faaliyet gösteren kuruluşlar arasında tedarik zinciri süreçlerinin değerlendirilmesine, takibine ve iyileştirilmesine katkıda bulunur. Ayrıca izlenebilirlik sürecine önemli ölçüde katkı

sağlanması, süreçlerde ihmal edilen durumların güvenlik açıklarına dayalı olarak bertaraf edilmesini sağlar. Sensörlerin ve büyük veri teknolojilerinin gelişmesi sonucunda kestirimci bakım teknikleri, oluşabilecek arızaları önceden engelleyerek üretim sahasında meydana gelen hasar ve kayıpların önüne geçilmesine yardımcı olur. Sunduğu avantajlara ek olarak, çok büyük verilerin saklanması ve değerlendirilmesi, konseptin bir dezavantajıdır. Nİ kavramlarının uygulamaları için uluslararası standartlaştırılmış bir yapı bulunmadığından, belirli uygulamaların kötüye kullanılmasına hangi yaptırımların uygulanabileceği konusunda bazı endişeler bulunmaktadır.

Ayrıca organizasyonel süreçlere destek sağlayan Nİ kavramının bileşenlerinin bir kısmı veya tamamı, sistemin geçici veya kalıcı olarak tahrip olmasına neden olacak şekilde siber saldırılara maruz kalabilmektedir. Yatay entegrasyon kapsamında birleştirilen kuruluşlar arasında izlenebilirlik ve süreç bütünlüğünü sağlamak için Nİ kavramı aktif olarak kullanılmaktadır. Ancak farklı kuruluşlar arasındaki işbirliği süreçlerinde kullanılan uygulamalar arasında uyum ve bağlantı sorunları bulunmaktadır (Görkem ve Bozuklu, 2016: 63).

Nİ kavramı, bir kuruluşa ve bileşenlerine değer yaratmak ve katkıda bulunmak için kurumsal hedeflere uygun olarak çalışmalıdır. Nİ kavramındaki teknik sorunlar, kavramın verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Nİ konsepti ile ortaya çıkması muhtemel risk faktörleri doğru bir şekilde yönetildiğinde organizasyonel süreçlere önemli katkılar sağlamaktadır (Özkan, 2019: 44).

2.4.7. Sistem Entegrasyonu

En son Sanayi Devrimi 4.0 ile birlikte parça üretimden seri üretime önemli bir geçiş yapan firmaların büyümesini sağlayan en önemli faktör entegrasyondur. Firmaların entegrasyonu diğer faktörlere göre çok karlı, çok hızlı ve verimli bir yöntemdir (Garbie, 2016: 82-83).

İmalat için kritik kabul edilen entegre yapıların sürekli akışı, Endüstri 4.0'ın temel unsurlarından biridir. Bu akışı desteklemek için sadece belirli noktalarda değil her noktada yatay ve dikey entegrasyonun sağlanması gerekmektedir. Yatay

entegrasyon, üretim ve planlama sürecinin her aşamasının hem kendi aralarında hem de farklı firmaların üretim ve planlama sürecinin aşamaları arasında sürekli bir akış sağlaması anlamına gelir. Bu entegrasyon; Hammadde tedarikinden tasarım, üretim, pazarlama ve teslimata kadar her şeyi içerir. Farklı şirketler arasındaki yatay entegrasyon, yeni iş modellerinin geliştirilmesine de olanak sağlıyor. Yatay entegrasyon uçtan uca entegre sistemler oluştururken, dikey entegrasyon tüm aşamalarda kullanılan teknolojik altyapıda sürekli iletişim ve akışın sağlanması anlamına gelmektedir. Bu alan, örneğin, sensörler, aktüatörler, valfler, motorlar, kontrol panelleri, üretim kontrol sistemleri, ürün yönetimi yazılımı, iş zekası uygulamaları gibi üretim alanındaki birimlerin standardizasyonu ile ilgilenir. Endüstri 4.0'ın dikey ve yatay entegrasyonu sayesinde üretim süreçlerindeki değişikliklere ve sorunlara hızlı bir şekilde müdahale edilebiliyor ve müşteri ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş üretim sağlanarak kaynak verimliliği artırılıyor. Gerekli değişiklikler, işi daha esnek hale getiren basit arayüz güncellemeleri ile zaten mümkün. (Siemens Türkiye, 2016: 24).

2.4.8. Simülasyon

Gerçek hayatta ve iş hayatında alınan kararların çoğu, uygulanması uzun ve karmaşık bir süreç gerektirir. Bir değişikliğin etki ortamını ancak pilot testler yoluyla belirleyebilir ve her değişiklik aynı zamanda önemli riskler ve maliyetler de getirir. 4. Sanayi devriminin temeli olan bilgisayar endüstrisi, gerçek hayata mümkün olduğunca yakın olan sanal deneyimlere veya simülasyon deneyimlerine olanak tanımaktadır. Bir işletmede veya bir operasyonda yapılması gereken değişiklikler önce sanal ortamda modellenir ve olası etkileri araştırılır. İnternet çağının sağladığı büyük verinin gücü ve gerçek olayların analizi üzerine inşa edilen simülasyon programları, herhangi bir çözümle ilgili parametreleri ve kısıtlamaları ortaya koyarak bunları sanal bir ortamda deneyimleme fırsatı sunmaktadır (Scwhab, 2016: 74).

Yüksek hızlı süper bilgisayarlar ile güvenlik, sağlık, sosyal olaylar veya üretim çözümleri hızlı bir şekilde değerlendirilebilir ve gerçek dünya uygulamalarına kıyasla çok daha düşük maliyetle kararlar alınabilir.

2.2.9. Akıllı Robotlar / Akıllı Fabrikalar

Uzun süredir teknoloji dünyasında var olan robot sistemleri, endüstri 4.0 teknolojileri ile farklı bir boyut kazanmıştır. Sadece öngörülen yönergelerle hareket eden, otonom varlıklara dönüşen robotlar, artık yaşam formlarını taklit edebilen, sürekli programlanabilen zeka ve yeteneğe sahip çok disiplinli gelişmiş sistemlere sahip makineler olarak ortaya çıkmaktadır (Alçın, 2016: 91).

Günümüzde robotlar hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Hızla dijitalleşen dünyada robotların sayısı da hızla artmaktadır. Artık robotlar fabrikalardan otellere, kafelerden havaalanlarına kadar her alanda kullanılmaktadır. Bu noktada akla ilk gelen ilk soru “Robotlar işimizi elimizden alacak mı?” oluyor. Kas gücü gerektiren her işi yapabilen robotlar, sektörü başlı başına değiştirecektir. Akla gelen ilk örnek akıllı fabrikalardır. Günümüzde kafelerde bile çalışabilen robotlar, bu anlamda dijital dönüşümün görünen tarafını temsil etmektedirler. 2020 verilerine göre sanayisi en çok robotlaşan ülke Singapur’dur. Böyleki her 10.000 çalışana 918 robot düşmektedir. İkinci sırada Güney Kore (868), üçüncü sırada ise Japonya (364) yer almaktadır. Dünya genelindeki endüstriyel robot sayısının 2020 yılında 2,7 milyonu geçmiştir (<https://optimak.com.tr/dunyadaki-endustriyel-robot-kullanim-oranlari-aciklandi/>).

Otonom robotlar, çevik üretim yöntemleri açısından kilit bir teknolojidir ve Endüstri 4.0 için en hassas uygulamalardan biridir. Otonom robot tekniklerinin imalat sanayinde optimal verimlilikle kullanılması, konuyla ilgili görüşlerde bariz farklılıklar yaratacaktır. Otonom robot uygulamaları teknolojik gelişim ve kullanım sıklığı açısından incelendiğinde otonom robot teknolojileri ile sadece Endüstri 4.0 ve geleceğin fabrikalarının yaratılmasının değil, üretimden eve teslimine kadar tüm süreçlerin mümkün olacağı öngörülmektedir (Yazıcı, 2016: 39).

Günümüzde robotlar, yüksek düzeyde zeka, algılama ve karar verme gerektiren süreçlerde zamanla daha fazla görevi yerine getirebilecekleri bir duruma geldiler. İnsanın, fiziki ve psikolojik yapısı nedeniyle endüstrinin gerektirdiği güveni tam olarak karşılamakta yetersiz kalırken robotların üretim sürecine dahil olduklarında öznel nitelikli herhangi bir kusur, yanlışlık ya da bunlara benzer gerekçelerle olumsuz bir gelişmeye yol açma durumları bulunmamaktadır. Robotlar sadece teknik bir arıza

veya hata durumunda üretimle ilgili arızalar yaratırlar ki bu da tamamen objektiftir (Görçün, 2017: 188).

2.5. ENDÜSTRİ 4.0'IN ETKİLERİ

Bugüne kadar yaşanan sanayi devrimlerinin en dikkat çekici özelliği, beraberinde yeni değişimleri getirmesi ve sürekli gelişim göstermesidir. Bu değişimlerin küresel ekonomik, sosyal ve politik boyutlarda farklı etkileri vardır. Küresel ekonomik sistemin yapı taşları olan bu etkilerin farkında olunması, işletmeler açısından varlıklarının devamı açısından stratejik öneme sahiptir (Aytar, 2019: 79).

Dördüncü sanayi devrimi, tüm endüstride, makinelerin üretim süreçlerini otonom olarak ve emek kullanmadan kontrol etmeye başlamasıyla başlamıştır (Yıldız, 2018: 548). İşletme fonksiyonlarını hemen her alanda etkileyen bu yeni teknolojiler ile şirketlerin çevikliğini artırmayı, maliyetlerini düşürmeyi, hataları azaltmayı ve güncel iş yaklaşımlarına bağlı kalmayı hedeflemektedir (Barutçu, 2019: 71). Öte yandan dijitalleşen yeni teknolojik gelişmeler şirketlerde değişimin hızını ve boyutunu artırmaktadır (Özkan, Al ve Yavuz, 2018: 17).

Ekonomik hayatta büyük değişimlere yol açan sanayi devrimlerinin etkileri öncelikle üretim fonksiyonuna yönelik olsa da bu durum diğer işletme fonksiyonlarını da olumlu yönde etkilemiş ve bilgi teknolojisinin gücünden yararlanabilmişlerdir.

Bu etkilere yönetim açısından bakıldığında;

Endüstri 4.0 süreci, Taylorizm'in bir uyarlamasını ifade eden “Bilimsel Yönetim” olarak da bilinen “Dijital Taylorizm” veya “Yeni Taylorizm” yönetim tarzını doğurmuştur. Dijital Taylorizm, Taylorizm veya Bilimsel Yönetim olarak bilinen modern bir liderlik tarzı anlayışına dayanmaktadır. Dijital Taylorizmin dört ana özelliği vardır: standardizasyon, mekanizasyon, kesinlik ve dakiklık (Demirel, Alp, Murat ve Salih, 2018: 431).

Standardizasyon: Endüstri 4.0 sürecindeki değişiklikler, dijital araçlar olmadan yönetilemeyecek faaliyetlere yol açmıştır. İmalat ve teslimat gibi faaliyetler standart

hale getirildi. Standartlaştırılmış her iş parçasında herkesin buna göre çalışabilmesi sağlandı. Bu standardizasyon, öngörülebilirliği ve hata olasılığını en aza indirdi.

Mekanizasyon: Bu özellik, İnternet ve sanal üretim sistemlerinin endüstriyel üretim süreçlerine entegrasyonu yoluyla “Akıllı İşletme” kavramının ortaya çıkmasıyla ilgilidir. Geleneksel sistemde birbirleriyle haberleşemeyen araba ve araçların yerini, içine kurulan yazılım ve donanımlar sayesinde kendi durumlarını takip edebilen diğer cihazlarla haberleşebilen akıllı makineler almıştır.

Kesinlik: Yöneticiler, otomasyon süreci boyunca işyerlerini sürekli olarak izler. Dijital Taylorizm, iş yaparken olası sorunlara çözüm bulma konusunda hassastır. Yöneticiler, üretim sürecindeki değişiklikleri farklı şekillerde izleyebilirler. Makine verileri kaydedildiği için önceki iş adımları ve makinenin bakım süreci hakkında bilgi edinilir. Ayrıca makinenin performansını aynı anda izlemek ve benzer makinelerin performansını karşılaştırmak mümkündür.

Dakiklik: Dijital Taylorizm'de tüm işler makineler tarafından yapıldığından, işin ne zaman yapıldığını, ne kadar sürdüğünü ve işin ne zaman tamamlanacağı tam olarak bilinmektedir.

Öte yandan, yönetim açısından bakıldığında, Endüstri 4.0 tasarımının organizasyon yapısını etkileyen dört genel özelliği bulunmaktadır. Birincisi formalite düzeyi, ikincisi denetim otoritesi, üçüncüsü organizasyondaki bilgi düzeyi ve son olarak profesyonellik düzeyidir. Endüstri 4.0 süreci organik organizasyon yapısını geliştirmekte ve bu yapıdaki çalışanlar katma değeri daha yüksek yenilikleri tespit edebilmektedir (Aytar, 2019: 85).

Liderlik çerçevesinde yürütülen planlama, organizasyon, uygulama, koordinasyon ve kontrol süreçlerinin dijitale dönüştürülmesi, bu süreçlerin entegrasyonu ve bu gelişimin örgüt kültürüne entegrasyonunun yeni bir liderlik tipi ile sonuçlanması beklenmektedir. (Aytar, 2019: 86).

Kuruluşların faaliyetlerini yürütürken ve geleceğe yönelik kararlar alırken ellerindeki verileri sistematik olarak analiz etmeleri gerekmektedir. Endüstri 4.0 yaklaşımında bu verilerin anında ve zaman kaybı olmadan analiz edilebileceği bir

sistem planlanmaktadır. Bu nedenle kuruluşlar, çevik yönetimin dışında toplanan verilere dayalı olarak değişim stratejilerini hemen belirleyecektir. Endüstri 4.0 tasarımını uygularken şirketler, sağlam temellere dayanan kararlar verme yeteneğini kaybetmemek için idari konuları dikkatli bir şekilde tartmalıdır.

Bu etkilerin imalat boyutundan ele alındığında; Her teknolojik gelişmeden sonra firmalar organizasyon yapılarını bu değişimlere göre tasarlarlar. Yaşanan tüm olaylar ekonomik, sosyal ve politik olmak üzere çok boyutlu anlamlara sahiptir. İşletmeler, örgütsel amaçları doğrultusunda varlıklarını sürdürebilmek için teknolojik gelişmelere ayak uydurmak zorundadırlar. Üretim aynı zamanda teknolojideki değişikliklerin ve uygulamaların en açık şekilde görüldüğü iş fonksiyonudur. Üretim ve teknoloji birbiriyle yakından ilişkili ve birbirinden ayrı düşünülemez kavramlardır. Bu nedenle tarihteki her endüstriyel gelişmenin üretim üzerinde birincil etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir (Barutçu, 2019: 38-40).

Günümüzde dördüncü sanayi devrimi olarak ifade edilen Endüstri 4.0 sürecinde siber-fiziksel sistemlerin kullanılması özellikle imalat sektöründe bir paradigma kaymasına neden olmaktadır. Endüstri 4.0 ile üretim yöntemleri ve paydaşlarla etkileşimler açısından çok boyutlu yeni bir döneme giriyoruz. Bu devrimin temel nedeni, dijital gelişimin sunduğu imkanlarla daha verimli, esnek ve rekabetçi bir süreç yaratmaktır (Aytar, 2019: 81).

Endüstri 4.0'ın gelişimi, büyük ölçüde üretim süreçlerinin dijitalleştirilmesine ve restorasyonuna yol açmıştır. Bu bağlamda, Endüstri 4.0'ın getirdiği üretim süreçlerinde meydana gelen değişikliklere yaygın olarak “dijital üretim” adı verilmektedir. Bu bağlamda dijital üretim, dijital üretim süreçlerini ifade etmektedir (EBSO, 2015: 27-28).

Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışının en bariz gerçekleşmesi imalat ve üretim alanında olacaktır. Aslında bu yaklaşımın ortaya çıkmasının temel nedeni üretimin esnekliğini, verimliliğini, hızını ve kalitesini artırmaktır. Sürekli veri alışverişi yapan makineler ve robotlar ile fabrikalar esnek bir şekilde çalışabilir ve üretim kapasiteleri en üst düzeye çıkarılabilir. İnsan dışı üretim hatları ve simülasyon ve sanal gerçeklik gibi simülasyon tekniklerinin kullanılması, üretimi hızlandıracak ve envanter

gereksinimlerini azaltacak ve bu da üretkenliği artıracaktır. Sensörler sayesinde üretim sürecinin anında kontrolü ve olası hataların önüne geçilerek kalite artırılır. (Pamuk ve Soysal, 2018: 8).

Yıkıcı üretim teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanmasına dayanan Endüstri 4.0'ı anlamak, endüstrinin gelecekte hangi üretim yönteminin kullanılacağını anlamasına yardımcı olur. Hızlı üretim yöntemleri ile sorun giderme, ürün tasarımının sürekli iyileştirilmesi, sürekli veri analizi, artırılmış gerçeklik (AR) yardımıyla operatör algısının ve becerilerinin iyileştirilmesi yoluyla önleyici bakım faaliyetlerinin yönetilmesi, böylece operatör kaynaklı değişikliklerin en aza indirilmesi mümkün olacaktır (Dengiz, 2017: 43-44). Robotiğin gelişmesiyle birlikte esnek imalat ve akıllı imalat süreçlerinin kullanımı hızlanacaktır (Özsoylu, 2017: 54).

Endüstri 4.0 teknolojilerinden biri olan modelleme (similasyon) sayesinde artık yeni bir nesne kurulmadan veya bu nesnede değişiklik yapılmadan önce test etmek mümkün. Arena programı bu tür programlara sadece bir örnektir. Bu programlar sayesinde şirketler, uygulamaya geçmeden önce sanal ve gerçek durumları karşılaştırabilmektedir. Bugün imalat endüstrisinde, tabletler, bilgisayarlar ve hatta akıllı saatler sayesinde operatör, konveyör bandındaki bir arıza hakkında anında bilgilendirilebilmektedir. Ayrıca akıllı saat içerisindeki veriler ve analizler kolaylıkla bilgisayara aktarılarak bulut sistemler üzerinden değerlendirilebilmektedir (Pamuk ve Soysal, 2018: 8).

Endüstri 4.0'ın gelişile birlikte ürünler ve üretim yöntemleri önemli ölçüde değişecektir. Üretim sürecinde %30 hıza ve %25 verimliliğe ulaşılabilecektir. Büyük veri, ürün kalitesini ve müşteri memnuniyetini artıracaktır. Endüstri 4.0 ile daha kaliteli ve yenilikçi üretim, daha müşteri dostu ürünler, daha az kaynak ve üretkenlik, verimlilik ve otomasyonun daha sık kullanılması ile optimizasyona dayalı bir üretim yaklaşımı hakim olacaktır (Özsoylu, 2017: 61).

Endüstri 4.0 gelişiminin günümüz imalat sanayisine etkileri, Endüstriyel İnternet olarak da bilinen Nesnelerin İnterneti (IoT), Akıllı İşletmeler, Akıllı Ürünler ve Akıllı Servislerin omurgasını oluşturmaktadır (Alçın, 2016: 25). Üretimde zaman ve mekan birimini oluşturan, üretimin aynı anda koordine edildiği, gerekli üretim

bilgilerinin dış alanlardan elde edildiği ve sensörler ile kayıp ve israfın ortadan kaldırıldığı, kaynak tasarrufundaki değişiklikleri de içermektedir (Alçın, 2016: 20).

Mevcut endüstriyel uygulamalarda üretim, lojistik ve hizmet alanlarında siber-fiziksel bir sistemin kullanılması, günümüz şirketlerini önemli ekonomik potansiyele sahip Endüstri 4.0 şirketlerine dönüştürecektir. Fraunhofer Enstitüsü ve Bitkom Industrie tarafından hazırlanan ortak bir rapor, Almanya'daki brüt değerın Endüstri 4.0'ın başlamasından sonra 2025 yılına kadar 267 milyar Euro artabileceğini tahmin edilmektedir (Hero, 2017: 101). İlk örneğini Çin'de görülen karanlık (liht out) fabrikalar, insan emeğini en düşük düzeyde kullanan fabrikalardır. Karanlık fabrikalarda üretim 24 saat kesintisiz devam etmektedir. Karanlık fabrikalarda verimlilik artım olmuş, maliyetler düşmüş, işgücü talebi azalmış ve rekabet üstünlüğü sağlanmıştır. (Demirel, Alp, Murat ve Salih 2018: 433).

Akıllı robotlar, Nesnelerin İnterneti, büyük veri ve analiz, yatay/dikey yazılım entegrasyonu, simülasyon, sanal gerçeklik, katmanlı üretim (3D baskı), bulut bilişim ve siber güvenlik sistemleri gibi teknolojik gelişmeler bu devrimi körüklemekte önemli rol oynamaktadırlar. Endüstri 4.0'ın ortaya çıkmasıyla birlikte bu teknolojik gelişmeleri üretim sistemlerine entegre ederek daha hızlı, esnek ve verimli üretim adımları oluşturmayı ve daha kaliteli malları daha düşük maliyetlerle üretmeyi hedeflemektedir.

Endüstri 4.0 ile üretimde daha kişiselleştirilmiş (kalite, fiyat ve işlevler açısından müşteri tercihlerine duyarlı), yüksek kaliteli ve uygun maliyetli (zaman, işçilik ve kaynak tüketimi) yaklaşımın hakim olması beklenmektedir. Müşteriler ideal ürünlerden ziyade önemli olan ve bireysel ihtiyaçlarını karşılayan ürünleri tercih etmektedirler (Özsoylu, 2017: 58-59).

Sanayi-Endüstri 4.0'a dayalı, uyumlu insan-makine etkileşimi mantığına dayanan tüm şirketler, analog teknolojilerin dijitalleşmesine ve sibermatik sistemlerin entegrasyonuna güvenerek ihtiyaçlarına uygun ürünler üretebilmişlerdir (Özkan, Al, & Yavuz, 2018: 18).

Bu etkiler pazarlama perspektifinden incelendiğinde; Artan bilgi hacmi, internetin yaygın kullanımı ve bu bilgilerle uğraşan şirketlerin beklentileri göz önüne

alındığında, yeni pazarlar açmak için fırsatlar ortaya çıkmıştır. Diğer bir deyişle, Dördüncü Sanayi Devrimi'nin en önemli bileşeni olan inovasyon hareketi, yeni ürünler aracılığıyla yeni pazarların yaratılmasını sağlamaktadır. Tüketicilerin internete bağlanabilecek çok sayıda cihaza sahip olması, şirketlerin tüketici bilgilerine erişmesini kolaylaştıracak ve böylece şirketler kişiselleştirilmiş teklifler sunabilecektir. Bu sayede firmalar Dördüncü Sanayi Devrimi'nin sunduğu fırsatlardan yararlanarak çeşitli alternatifler oluşturma şanslarını artırmaktadır (Özkan, Al ve Yavuz, 2018: 17-18).

Finansmanda bu etkiler dikkate alındığında; günümüzde fikir aşamasındaki girişimler ve faaliyette olan şirketler için en önemli sorunlardan birinin sermaye ve finansman temini olduğu görülmektedir. Şirketler amaçlarına ulaşmak için modern yönetim yöntemlerini kullanırlar. Kalite yönetimi, değişim yönetimi, hedeflere göre yönetim, yeniden yapılanma vb. süreçler ve yöntemler, yüksek düzeyde teknik destek ve önemli yatırımlar gerektirir. Endüstri 4.0 kavramı bir endüstriyel dönüşüm sürecidir. Bu nedenle Endüstri 4.0 yatırımlarına kapsamlı bir şekilde yaklaşılmalıdır. Endüstri 4.0, endüstrinin, şirketlerin, tedarikçilerin ve müşterilerin farklı ağlarla etkileşimine dayanan ve evrensel etkiye sahip ulusal bir alanı kapsamaktadır. Endüstri 4.0 devrimi ile toplam üretim maliyetlerinde %5-8 avantaj öngören Almanya'nın, önümüzdeki on yılda 250 milyar avroluk yatırım yapmayı planlamaktadır (Aytar, 2019: 88).

Endüstri 4.0'ın birçok iş avantajı vardır. Başlıcaları finansal faydalardır. Bazı kaynaklara göre Endüstri 4.0, üretim, lojistik ve yönetim maliyetlerini %30'a varan oranlarda azaltmaktadır (Filizöz ve Orhan, 2018: 112).

Endüstri 4.0 ile başlatılan inisiyatif sistemlerinin geliştirilmesi ve mevcut süreçlerin dönüştürülmesi çok yüksek bir yatırım gerektirmektedir. Örneğin, 180 makineli bir KOBİ'nin siber-fiziksel sistemi etkinleştirmek için makine başına yaklaşık 2.000 Euro yatırım yapması, yani toplam 360.000 Euro bağış yapması gerektiği bilinmektedir. Bu yatırım sadece anlık (gerçek zamanlı) verilerin toplanmasına yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda veri analizi için de ayrı bir yatırımdır. Ancak dünyada birçok ülkenin Endüstri 4.0 ile ilgili gelişmelerle ilgili

yatırıma başladığı biliniyor. Özellikle konseptin sunulduğu Almanya'da bazı şirketler Endüstri 4.0'ı geliştirmekte ve iş süreçlerinde uygulama aşamasına geçmek üzeredir. Ayrıca Siemens, Mercedes, BMW, Hitachi, Bosch, Panasonic, Honeywell, Mitsubishi Electric, ABB, Schneider Electric ve Emerson Electric gibi büyük şirketler de Endüstri 4.0 ve siber odaklı Nesnelerin İnterneti (IoT), fiziksel sistemler (CFS) gibi projelere büyük miktarda yatırım yapmaktadırlar (Aytar, 2019: 88).

Robotik, üretimde özellikle Çin ve Japonya'da yaygınlaşırken, gelecekteki üretim planları, üretim sürecinde çok sayıda gelişmiş robot içerecek. Gelişmiş robotik teknolojisinde robotlar kablosuz ağlar üzerinden sensörleri aracılığıyla birbirleriyle iletişim kurabilmektedir. Böylece Endüstri 4.0 ile yüksek yatırım maliyetlerinin düşmesi ve maliyet tasarrufu sağlanması beklenmektedir.

İnsan kaynaklarının ölçümünden bu etkileri dikkate alındığında; Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışının merkezinde insanı içermeyen bir üretim süreci var gibi görünse de, teknoloji ve yönetim süreçleri arasındaki boşluğu kapatmak için yetenekli programlama, bakım ve onarım becerilerine sahiptir, sanal dünya ile fiziksel dünya arasındaki ilişkiyi tanımlayan ve bunları müşterilerin ihtiyaçları ile uyumlu hale getiren çok iyi gözlemciler, planlayıcılar ve aktif çalışanlar gerektirir. Bu açıdan Endüstri 4.0, insanın hiç katılmadığı bir üretim süreci olarak değil, makine ve ürün ile insan etkileşiminin geliştirildiği siber-fiziksel bir sistem olarak anlaşılmaktadır (Demirel, Alp, Murat & Salih, 2018: 433).

Endüstri 4.0 boyunca üretim süreçlerini izleyen ve kontrol eden insan kaynakları, üretimin temel unsurlarından biri olmaya devam edecektir (Asiltürk, 2018: 536). Bu, insan faktörünün önemini artırır ve çalışanlarınızın beceri ve nitelikleri geleceğin inovasyon odaklı organizasyonlarının başarısının anahtarı olacaktır. Şirketler bütüncül personel yönetimi için çabalarırken, bu nedenle sürekli gelişen teknolojilerle şekillenen bilgi ve yeteneklerin paylaşımı için farklı stratejik yaklaşımlara ihtiyaç duyarlar (Filizöz ve Orhan, 2018: 112).

İnsan kaynağı ihtiyacı değişecek ve nitelikli insan kaynağının değeri artacaktır. Önceden kas gücüne dayalı insan emeğine ihtiyaç duyulurken, son devrimde bilgi ve iletişim teknolojisinde daha karmaşık işleri yapabilen çalışanlara olan ihtiyaç

artacaktır. Özellikle veri analistleri, veri madenciliği vb. meslekler bu mesleklere odaklanacak ve enerji ve medya sektörü önem kazanacaktır (Özsoylu, 2017: 57). Bu nedenle, insan kaynakları yönetimi bağlamında, değerlendirilecek bir kaynak olarak çalışanın entelektüel yönü daha önemlidir. Bu entelektüel birikim ile siber teknolojiye ilgi ve beceriler, eğitim, uyum ve esneklik belirleyici kriterler olacaktır.

İnsan kaynakları disiplini ile yakından ilgili olan Endüstri 4.0 devriminin en çok tartışılan kavramlarından biri de Akıllı İşletme kavramıdır. Akıllı fabrikalara karanlık fabrikalar da denir çünkü ışığa ihtiyaç duymazlar, çünkü üretimde insanlara yer yoktur. Akıllı Fabrika olgusu, dikey entegrasyonun çeşitli yönlerini içeren hiyerarşik bir yapıya sahiptir. Hiyerarşik bir bakış açısından, bu sistemlere kontrol ve koordinasyon görevini üstlenen akıllı bir kişi başkanlık eder. Hiçbir sistemin bilinçli olarak kendi kendini tasarlayamayacağı bilgisinden hareketle, gündeme gelen her yeni fikir için yazılım geliştiricilerin, deneyimli mühendislerin ve uzman ekiplerin bu fikirleri yazılıma çevirmesi gerektiği söylenebilir. Bu anlamda Endüstri 4.0 sürecine dahil olan çalışanlar, verileri okuyup kodlayabilmeleri ve bilgi aktarımı için araçları kullanabilmeleri ile akıllı fabrikanın beyni olacaktır.

Endüstri 4.0 devriminin beklenen en büyük etkisi, değişen insan kaynakları anlayışı olabilir. Endüstri 4.0'ın gelişmesiyle birlikte yeni becerilerin oluşması, çalışma alanlarının oluşturulması ve dijital becerilerin geliştirilmesi gibi insan kaynakları alanında bilimsel girdi ve anlayış sağlanmak istenmektedir. Bu bağlamda, Endüstri 4.0 yaklaşımından hiyerarşisiz uzman bilgisine dayalı matris organizasyon yapılarına daha fazla destek beklenmektedir. İletişim ve etkileşimi temel alan Endüstri 4.0 yaklaşımının temel felsefesi de informal organik organizasyonel yapıların egemenliğini sağlayacaktır (Aytar, 2019: 87).

Bu etkilerin muhasebe açısından ele alındığında; bilgi teknolojisinin günden güne gelişimi, iş süreçlerine daha fazla etki etmektedir. Üretimden pazarlamaya, insan kaynaklarından finansa kadar şirketin tüm alanları bilgi teknolojilerinden yararlanmaktadır. Muhasebe de yaşa bağlı bu ihtiyaçlara ayak uydurmakta ve bu gelişen teknolojilerden en fazla yararlanmaktadır (Can & Kıymaz, 2016: 107).

Muhasebe gelişiminin Endüstri 4.0'ın ortaya çıkmasına yol açacağı iki uygulama vardır. Bunlar; Entegrasyon ve gerçek zamanlı muhasebe (Can & Kıymaz, 2016: 111). Bilgi teknolojisi yaygınlaşmadan önce kaynak planlaması, basit ofis uygulamaları ve muhasebe programları manuel olarak kontrol edilmekteydi. Ancak bu durum firmalarda stok kontrol tutarsızlıklarına ve maliyetlerin hesaplanmasında bazı zorluklara yol açarken, bazı firmalarda her alıcı ve satıcı için çok sayıda ürün ve hammaddeye sahip olması, her bir hammadde ve ürün için ayrı dosyaların açılmasına, ayrıca işlemlerin muhasebeleştirilmesi ve raporlanması ile ilgili zorluklara neden olmuştur (Barutçu, 2019: 75). Endüstri 4.0'da insan müdahalesi olmadan akıllı sistemler kullanılarak çözülebileceği öngörülmektedir. Endüstri 4.0'ın geliştirilmesi, departmanlar arasında meydana gelen sorunların insan müdahalesi olmaksızın akıllı sistemlerle tespit edilmesini ve çözümlenmesini sağlayacaktır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE ENDÜSTRİ 4.0

3.1. Dünyada Endüstri 4.0

20. yüzyılda internetin yaygın kullanımı ve hızlı teknolojik gelişmeler ülkeler arasında rekabete yol açmış ve katma değeri yüksek yeni nesil ürünlerin ortaya çıkmasına katkı sağlamıştır. Endüstri 4.0'ın dünya pazarına girmesiyle birlikte yapay zeka, İot (Nesnelerin İnterneti), bulut bilişim vb. sistemlerin uygulama alanı yaygınlaşmakta ve ürünlerin üretilme şeklinin bu sistemlere entegre edilmesi çok daha kolay hale gelmiştir (Tuncay ve Kutay, 2016: 599).

Endüstri 4.0 konseptinin ilk kez Almanya'da ortaya çıkması, bu konsepte ilişkin teknoloji yatırımlarının ve maliyetlerinin ağırlıklı olarak Almanya'da yapıldığını gösterse de, araştırmalar bunu doğrulamamaktadır. Dünya çapında tanınmış bir danışmanlık firması olan Mckinsey'in 3 ana kıtada (Amerika, Asya, Avrupa) önde gelen 3 ülkede yaptığı araştırma sonucunda, 2015 yılında bu konsepte yapılan Ar-Ge yatırımının büyük bir kısmı beklentilerin aksine ABD'nin öncü olduğunu göstermiştir. Araştırmaya göre Almanya'nın Ar-Ge harcamalarında Endüstri 4.0 bileşenlerinin payı %15, Amerika'da %29, Japonya'da ise %15 olarak belirlenmiştir. Endüstri 4.0 ile ilişkili gelir tahsilat oranı Almanya'da %19, Amerika'da %30 ve Japonya'da %11 olmuştur (McKinsey&Company, 2018).

Endüstri 4.0 şirketlerin Ar-Ge faaliyetlerini yönelik yatırımlarını da arttırmıştır. Avrupa komisyonunun 2020 verilerine göre dünya genelinde Ar-Ge faaliyetlerine yapılan yatırım 905 milyar euro olmuştur. Bu faaliyetlere en çok yatırım yapan firmalar şunlardır (Avrupa Komisyonu, 2021, <https://iri.jrc.ec.europa.eu/data>):

1. ALPHABET (ABD)- 23.2 Milyar Euro
2. MICROSOFT (ABD)- 17.2 Milyar Euro
3. HUAWEI (Çin)- 16.7 Milyar Euro
4. SAMSUNG (Güney Kore)- 15.6 Milyar Euro
5. APPLE (ABD)- 14.4 Milyar Euro

6. VOLKSWAGEN (Almanya)- 14.3 Milyar Euro
7. FACEBOOK (ABD)- 12.1 Milyar Euro
8. INTEL (ABD)- 11.9 Milyar Euro
9. ROCHE (İsviçre)- 10.8 Milyar Euro
10. JOHNSON & JOHNSON (ABD)- 10.1 Milyar Euro

Bu göstergelere ek olarak Avrupa Parlamentosu ve Araştırma Komisyonu tarafından hazırlanan “Akıllı, Yenilikçi ve Sürdürülebilir Sanayiye Yatırım: AB için Yeni Bir Sanayi Politikası Stratejisi” raporu kapsamında ekonomik, toplumsal, çevresel dönüşüm amacıyla Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımına yönelik atılımlara vurgu yapılmıştır. Bu kapsamda ülkeler kendi ulusal fonlarıyla bu teknolojilerin gelişimine yönelik programları desteklemektedir. Bu programlardan bazıları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.1 : Ülkelerin Endüstri 4.0’ a Yönelik Yürüttüğü Ulusal Programlar

Sanayi 4.0 – Almanya	Sanayi Planı 4.0 - İtalya
MADE (Danimarka Üretim Akademisi) – Danimarka	Sanayi 4.0 - Portekiz
Akıllı Sanayi – İsveç	Bağlı Sanayi 4.0 - İspanya
Sanayi 4.0 – Çek Cumhuriyeti	Değişim - Belçika
Sanayi 4.0 Ulusal Teknoloji Platformu - Macaristan	Akıllı Sanayi - Hollanda
Sanayi 4.0 – Avusturya	Geleceğin Sanayi Birliği-Fransa

Kaynak: https://www.ab.gov.tr/siteimages/resimler/Sanayi%204_0%20web.pdf

Tabloda belirtilen ülkelerden biri olan İtalya, Geleceğin Fabrikaları adlı bir girişime katkıda bulunmak için ulusal bir projeyi hayata geçirmiş ve regüle fabrikaları, yüksek verimliliği ve sürdürülebilir iş modellerini destekleyerek bu projeye entegre edilecek ürünleri bu projeye uyarlayarak başarıya ulaşmayı hedeflemektedir. Aynı şekilde Fransa, Geleceğin Sanayisi projesi kapsamında KOBİ'lere 1 milyar avroluk bir fon ayırmış ve yeni ürün ve hizmetlerin sergileneceği Teknoloji Vitrinleri projesini hayata geçirmiştir.

Dünyadaki diğer sanayileşmiş ülkeler de Endüstri 4.0 uygulamalarını desteklemektedir. İmalat devi ABD, Almanya'yı örnek alarak 2013 yılında Ulusal İmalat İnovasyon Ağ girişimini başlatmıştır. Girişim, ABD'li sanayicileri, üniversiteleri ve devlet kurumlarını üretim teknolojilerini geliştirmek ve

ticarileştirmek için birlikte çalışmayı hedeflemektedir. Bu girişimin gerçekleşmesi için ayrılan bütçe ise yıllık 1 milyar dolar, toplamda ise 10 milyar dolar ayrılmıştır (Avrupa Birliği Bakanlığı, 2018: 3).

Bir diğer sanayi devi olan Japonya, imalat endüstrisindeki akıllı uygulama sayısı bakımından Almanya ve ABD'nin gerisinde kalmaktadır. Bu nedenle Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı, başta KOBİ'ler olmak üzere Japon şirketlerini üretimi dijitalleştirmeye teşvik etmiş ve bu günümüzde de devam etmektedir. Bu doğrultuda 28 Nisan 2016'da Bakanlık, Almanya Federal Ekonomi ve Enerji Bakanlığı ile yoğun işbirliği amacıyla ortak bir anlaşma imzalamıştır. Ayrıca, Japonya, Endüstri 4.0 sürecini farklı bir açıdan ele almakta ve insan faktörünü daha fazla öne çıkaran yeni bir vizyon belirlemektedir. Toplum 5.0 (Society 5.0) olarak adlandırılan bu konsept, toplumu ve teknoloji arasında sağlıklı bir ilişki kurmayı amaçlamaktadır. Endüstri 4.0 anlayışına insani ölçekte katkıda bulunmak isteyen Japonya; “Akıllı toplum” stratejisi çerçevesinde Toplum 5.0 etiketi altında yorumlamayı uygun görmektedir (<https://magg4.com/dunyada-endustri-4-0a-onculuk-eden-3-ulke-almanya-abd-ve-japonya/>).

3.2. Türkiye’de Endüstri 4.0

Endüstri 4.0 kavramı dünyaya yayılırken Türkiye de bu sürece entegre olmaya çalışmaktadır. Ülkenin ihracatta lokomotifi olan otomotiv sektörü başta olmak üzere tekstil, makine mühendisliği, metalurji, savunma ve havacılık gibi sektörlerin gelişmesi ve dijital üretim süreçlerine geçişi ile birlikte Endüstri 4.0 teknolojilerinin önemi daha da artmaktadır.

Türkiye'nin yüksek teknoloji ürünü ihracatı ve Ar-Ge harcamalarının GSYİH'ya oranı dikkate alındığında, Endüstri 4.0'ın gerektirdiği dijital dönüşüm için kat edilmesi gereken uzun bir yol olduğu söylenebilir (TÜSİAD, 2017). Dünya Ekonomik Forumu tarafından yayınlanan Küresel Rekabet Edebilirlik Raporu'nda ülkeler ekonomik gelişme aşamalarına göre üç ana grupta sınıflandırılmıştır (Schwab ve Sala-i-Martin, 2017: 25):

1. Aşama: faktör odaklı (vasıfsız işgücüne ve doğal kaynaklara dayalı – kişi başına düşen GSYİH 2000 dolardan az),
2. Aşama: verimlilik odaklı (üretim süreçlerinde üretkenlik ve kaliteye odaklanan ülkeler – kişi başına düşen GSYİH 3000 ile 8999 dolar arasındadır),
3. Aşama: yenilik odaklı (gelişmiş üretim teknikleriyle katma değerli üretime dayalı – kişi başına düşen GSYİH 17000 dolardan fazla)

Türkiye, verimlilik odaklı aşamadan inovasyon odaklı aşamaya geçiş sürecindedir (TÜSİAD ve BCG, 2017: 32). 2020 Küresel Rekabet Edebilirlik Raporu'nda Türkiye 137 ülke arasında 59. sırada yer alıyor. Alt bileşenler dikkate alındığında, Türkiye teknolojik hazırlık sıralamasında 61., inovasyon sıralamasında 67. ve işgücü piyasası verimliliği sıralamasında 126. sırada yer almaktadır (http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2020.pdf).

Endüstri 4.0 ile üretim, robot kullanımının diğerlerinden daha yüksek olduğu gelişmiş ülkelere kayacak ve bu nedenle üretim maliyet endeksinin düşmesi beklenmektedir. Bu senaryo, üretim maliyetinin düşük olduğu BRICS ülkeleri veya Türkiye gibi gelişmekte olan pazarlar için bir tehdit oluşturabilmektedir (Aulbur vd., 2016; TÜSİAD, 2016; Ansal ve Yıldırım, 2018). 2017 yılında Türkiye'de orta ve yüksek teknoloji sanayi katma değerinin toplam imalat katma değeri içindeki payı %32,21 olmuştur (Birleşmiş Milletler Sanai Kalkınma Örgütü, 2019). Bu oran, Türkiye'nin rakipleri olan hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerin oranından düşüktür (Gür vd., 2017: 147).

Gelişen teknolojik ortamda, Birleşmiş Milletler Sanai Kalkınma Örgütü (2019), gelişmiş dijital üretim (ADP) teknolojilerine katılım düzeylerine göre 2017 yılında 500.000'den fazla sakini olan 167 ekonomiyi gruplandırmıştır. Bu gruplandırma aşağıda gösterilmiştir:

1. Öncüler: Çin, Fransa, Almanya, Japonya, Güney Kore, Hollanda, İsviçre, Çin'in Tayvan Eyaleti, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri.
2. Üretimde Takipçiler (yenilikçi veya ihracatçı olarak): Avustralya, Avusturya, Belçika, Brezilya, Kanada, Hırvatistan, Çekya, Danimarka, Finlandiya, Hong Kong Özel Yönetimi (Çin), Hindistan, İrlanda, İsrail, İtalya,

Litvanya, Lüksemburg, Norveç, Polonya, Rusya Federasyonu, Singapur, Slovakya, İspanya, İsveç.

3. Kullanımdaki Takipçiler (ithalatçı olarak): Cezayir, Arjantin, Bangladeş, Beyaz Rusya, Kolombiya, Macaristan, Endonezya, İran, Malezya, Meksika, Portekiz, Romanya, Suudi Arabistan, Güney Afrika, Tayland, Türkiye, Vietnam.

4. Üretimde Geç Kalanlar (yenilikçi veya ihracatçı olarak): Bosna Hersek, Bulgaristan, Şili, Dominik Cumhuriyeti, Estonya, Yunanistan, Kırgızistan, Letonya, Moldova, Yeni Zelanda, Nijerya, Filipinler, Slovenya, Ukrayna, Birleşik Arap Emirlikleri, Venezuela.

5. Kullanıma Geç Gelenler (ithalatçılar olarak): Kosta Rika, Fildişi Sahili, Ekvador, Mısır, El Salvador, Etiyopya, Malavi, Sırbistan, Tunus, Türkmenistan, Uganda, Özbekistan, Zambiya.

6. Geri kalanlar: Birleşmiş Milletler İstatistik Bölümü'ne göre 2017'de 500.000'den fazla sakini olan diğer tüm ekonomiler

Görüldüğü gibi Türkiye bu gruplandırmada “kullanımdaki takipçiler” grubunda yer almaktadır. Türkiye, gelişmiş dijital üretim teknolojilerinin büyük kısmını ithal ederek üretimde kullanmaktadır.

Türkiye tekstil, otomotiv gibi sektörlerde rekabet etmeye çalışıyor. Öte yandan tekstil endüstrisindeki nanoteknolojik atılımlar, paslanmaz tekstil ürünlerinin artan pazar payı ve otomotiv yedek parçalarında 3D yazıcıların kullanılması bu iki sektördeki bazı gelişmelere örnek olarak verilebilir. Anlaşılacağı üzere Türkiye için ihracat ve istihdam açısından önemli potansiyele sahip her iki sektörde de ileride kayıplar yaşanabilir. Türkiye ucuz işgücü ile rekabet ettiği için artık teknoloji odaklı ülkelerle rekabet etmek durumundadır (Gür vd., 2017: 149).

Diğer birçok ülke gibi Türkiye de teknolojiye ayak uydurabilmek için Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu tarafından Endüstri 4.0 ile ilgili bazı programlar geliştirilmiştir. 65. Hükümet Programı, 10. Kalkınma Planı (2014-2018), 2023 Hedefleri, Türkiye Sanayi Strateji Belgesi (2015-2018), Orta Vadeli Program (2018-

2020) ve 100 Günlük Eylem Planı bu programların başında gelmektedir (Şen vd., 2018).

Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu Kararları: Türkiye'nin konumunu güçlendirmek ve dijital dönüşümü hızlandırmak için bir sanayi stratejisi belirlemek amacıyla BTYK'nin Şubat 2016'da gerçekleştirdiği 29. toplantısında bazı kararlar alınmıştır. Akıllı üretim sistemlerine geçiş için ülkenin sanayisinin yüksek teknolojlili üretimde uluslararası rekabet gücünü artıracak, Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) çeşitli sorumluluklar üstlenmiştir. Alınan kararlar aşağıda listelenmiştir (TÜBİTAK, 2017).

- a. Yürütme, Uygulama ve İzleme Modeli (BTSB): Sektör paydaşlarının koordinasyonunda ülkemiz dinamiklerini takip ederek eğitim, istihdam ve sektörel politikalara ilişkin analizleri içeren uygulama ve izleme modelinin geliştirilmesi
- b. Hedef Odaklı Ar-Ge: Kritik ve öncü teknolojilerde yetkinliği sağlayacak hedef odaklı Ar-Ge faaliyetlerinin artırılması (CPS, yapay zeka, sensörler, robotlar, IIoT, büyük veri, siber güvenlik, bulut bilişim vb.).
- c. Teşvik ve Destek Mekanizmaları: Yerli firmalarımızın kritik ve öncü teknolojiler üretmelerini sağlamak için üretim altyapıları için gerekli teşvik ve destek mekanizmalarının geliştirilmesi.

65. Hükümet Programı: Eski Başbakan Binali Yıldırım tarafından 2016 yılında Türkiye Büyük Millet Meclisi'ne (TBMM) sunulan programda dördüncü sanayi devrimi kavramı yer aldı. Açıklama şu şekildedir: “Bilgi toplumu amacını gerçekleştirmek için özellikle bilgi-iletişim teknolojileri alanında dördüncü sanayi devrimine geçiş çalışmaları hızlandırılacaktır” (AK Parti, 2016).

100 Günlük Eylem Planı: Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın eylem planlarından bazıları aşağıda listelenmiştir (TCCB, 2018).

- a. Ülkede yerel imkanlarla yüksek teknolojlili ürünlerin geliştirilmesine yönelik Yüksek Teknoloji Destek Programlarının oluşturulması

- b. KOBİ'lere teknoloji ve imalat sanayileri başta olmak üzere yerli ve milli üretim için yaklaşık 1.225 milyon TL destek sağlanması
- c. Bilgi güvenliği projeleri
- d. Ar-Ge merkezi sayısının %9 artırılması
- e. Yetkinlik ve Dijital Dönüşüm Merkezlerinden (Model Fabrika) ikisinin hizmete açılması ve beş merkezin inşaatına başlanması
- f. Yerli ve milli teknolojilerin geliştirilmesi.

10. Kalkınma Planı (2014-2018): Kalkınma planının dört ana hedefi vardır: (1) Nitelikli insan güçlü toplum, (2) Yenilikçi üretim ve sürdürülebilir ekonomik büyüme, (3) Yaşanabilir alanlar ve sürdürülebilir çevre ve (4) Uluslararası kalkınma için işbirliği. Bu ana hedeflerin altında yer alan alt amaçlardan bazıları şunlardır: Ülkenin bilgi toplumuna dönüşümünü hızlandırmak için bilgi iletişim teknolojilerinin yaygın ve etkin kullanımı, ihracatta orta ve yüksek teknoloji sektörlerinin payının artırılması, kaliteli eğitim verilmesi ve nitelikli insan yetiştirmek.

Türkiye Sanayi Strateji Belgesi (2015-2018): Türkiye Sanayi Stratejisi Vizyonu, “orta-yüksek ve yüksek teknoloji ürünlerinde Afro-Avrasya'nın tasarım ve üretim üssü olmak” olarak tanımlanmaktadır. Bu vizyon doğrultusunda Türkiye Sanayi Stratejisi'nin genel amacı, türk sanayisinin dünya ihracatından daha fazla pay alan, katma değeri yüksek teknoloji ürünleri, nitelikli işgücüne sahip ve çevreye ve topluma karşı da duyarlı bir sanayi yapısına dönüşümünü hızlandırmaktır. Genel amaca ulaşmak için üç ana stratejik hedef belirlenmiştir. Bu hedefler aşağıda sunulmuştur (Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2015).

- a. Bilgi ve teknolojiye dayalı katma değeri yüksek yerli üretimin geliştirilmesi.
- b. Kaynakları etkin kullanarak yeşil ve daha rekabetçi bir sektöre dönüşümü sağlamak.
- c. Sosyal ve bölgesel kalkınmaya katkı sağlayan, nitelikli işgücüne sahip bir sektör geliştirmek.

Orta Vadeli Program (2018-2020): Eski Başbakan Yardımcısı Mehmet Şimşek'in açıkladığı Orta Vadeli Program'da teknolojik dönüşüme sıkça vurgu yapılmıştır. Bazı örnekler aşağıda listelenmiştir (TKB, 2017):

- a. Yatırım ödeneklerinin tahsisinde teknoloji ve Ar-Ge altyapılarına öncelik verilecektir.
- b. Biyoteknoloji, bilişim, ileri malzeme teknolojileri desteklenecektir.
- c. Bilgi iletişim teknolojilerinin yaygınlaştırılması için yeni teknoloji alanlarında yerel bilgi platformları desteklenecektir.
- d. Bilgi iletişim teknolojilerine dayalı akıllı uygulamalara geçiş hızlandırılacaktır.

2023 Hedefleri: Hedef 2023'e uygun olarak planlanan başarılarla ulaşmak için yüksek teknolojlili endüstriyel üretimi artırmayı, diğer bir deyişle Endüstri 4.0 süreçleriyle tam entegrasyonu sağlamayı hedeflemektedir. Bu kapsamda teknolojik faaliyetin yoğun olduğu Ar-Ge merkezlerinin sayı ve kalitesinin artırılması gerekmektedir. Hükümet, Türkiye Cumhuriyeti'nin 100. yılı olan 2023 yılına kadar uygulanacak reformları 63 madde olarak sıralamıştır. 51 ve 52. maddelerde “Ar-Ge ve bilgi ve teknoloji ihracatında dünyanın önde gelen ülkelerinden biri olmak” yer almıştır. Geriye kalan bazı maddeler ise doğrudan olmasa da dolaylı olarak teknolojik dönüşümle ilgilidir (Ak Partinin 2023 Hedefleri, 2012).

2023 hedefi vizyonuna ek olarak, Türkiye'nin en önemli teknoloji projelerinden biri olan Türk Otomobili, 2022'de piyasaya çıkacak ve birçok önemli teknolojik bileşeni bünyesinde bulunduracaktır. Aynısı 2025 yılında uçuşunun yapılması planlanan ilk milli TFX savaş uçağı için de söylenebilir. Değer katmak için oluşturulan yüzlerce projede en ileri teknolojiler kullanılmaktadır. Türkiye'de kullanılan bu teknolojilerin düzeyini belirlemek için bu projeler önemli bir ölçüt olarak görülebilir. Üretilen otomobil, uçak ve diğer projelerin üretim süreçlerinde araştırma geliştirme olarak Endüstri 4.0 uygulamaları kullanılmakta ve birçok kilometre taşı en ileri teknoloji ürünü olarak belirlenmekte ve aynı zamanda gelecekteki süreçler hakkında fikir edinme fırsatına dönüşmektedir (Avrupa Birliği Bakanlığı, 2018).

Son yıllarda “Teknoloji Geliştirme Bölgeleri” nin artması ve bu bölgelerde yer alan firmaların faaliyetleri ile ürün ve hizmet çeşitliliği artmış, ülkenin dış ticaretine 3,4 milyar dolarlık katkı sağlanmıştır. Bahsedilen ürün ve hizmet çeşitliliği arasında Endüstri 4.0 dijital teknolojilerine yönelik yapılan projeler ve bunlara yönelik dağılım hem firma hem Ar-Ge Merkezi bazında Tablo 2.’de ve Tablo 3.’de gösterilmiştir (Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2019, https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/2023_Dijital-Turkiye-Yol-Haritasi.pdf).

Tablo 3.2 : Firma Bazında Teknoloji Geliştirme Bölgelerinde Yürütülen Dijital Teknoloji Projelerinin Dağılımı

Bileşenler	TGB Firma Sayısı
Yapay Zeka	94
Büyük Veri ve İleri Analtik	70
Sanallaştırma	62
Bulut Bilişim	46
Nesnelerin İnterneti	27
Siber Güvenlik	22
Endüstriyel Otomasyon ve Siber Teknolojiler	13
Yeni Nesil Sensör Teknolojileri	13
Ekleme İmalat	7
Toplam	354

Kaynak: (Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2019)

Tablo 3.2’de görüldüğü gibi Türkiye’de Teknoloji Geliştirme Bölgeleri’nde yürütülen dijital teknoloji projelerinin Firma bazında en çok proje Yapay Zeka alanında gerçekleşmiştir. Toplam projelerin %27’sini (94) yapay zeka ile ilgili projeler oluşturmaktadır. Tabloda ikinci yerde ise Büyük Veri ve İleri Teknoloji ile ilgili projeler yer almaktadır. Bunu Sanallaştırma, Bulut Bilişim ve Nesnelerin İnterneti izlemektedir. Tablodan da görüldüğü üzere en az proje ise Ekleme İmalat alanında yapılmaktadır ki, bu projelerin toplam sayısı 7’dir.

Tablo 3.3: Ar-Ge Merkezi Bazında TGB’lerde Yürütülen Dijital Teknoloji Projelerinin Dağılımı

Bileşenler	Ar-Ge Merkezi Sayısı
Yapay Zeka	22
Büyük Veri ve İleri Analitik	32
Sanallaştırma	15
Bulut Bilişim	8
Nesnelerin İnterneti	15
Siber Güvenlik	4
Endüstriyel Otomasyon ve Siber Teknolojiler	7
Yeni Nesil Sensör Teknolojileri	8
Eklemeli İmalat	14
Toplam	125

Kaynak: (Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2019)

Tablo 3’de görüldüğü gibi Türkiye’de Teknoloji Geliştirme Bölgeleri’nde yürütülen dijital teknoloji projelerinin Ar-Ge bazında en çok proje Büyük Veri ve İleri Teknoloji alanında gerçekleşmiştir. Toplam projelerin %25,6’sını (32) Büyük Veri ve İleri Teknoloji ile ilgili projeler oluşturmaktadır. Tabloda ikinci yerde ise Yapay Zeka ile ilgili projeler yer almaktadır. Bunu Sanallaştırma, Nesnelerin İnterneti ve Eklemeli İmalat izlemektedir. Tablodan da görüldüğü üzere en az proje ise Siber Güvenlik alanında yapılmaktadır ki, bu projelerin toplam sayısı 4’tür.

Endüstri 4.0 uygulamalarının da yoğun olarak kullanıldığı Türkiye’de, şirketler birçok alanda faaliyet göstermeye devam etmektedir. Bu faaliyetlerin bir kısmı hizmet sektöründe, bir kısmı havacılık sektöründe, bir kısmı makine/metal sektöründe ve daha onlarca sektör olmak üzere farklı sektör gruplara ayrılmıştır. Bu şirketlerin çoğu yerel sermayeli şirketlerden oluşsa da, bazıları da yabancı kökenlidir. Türkiye’nin en büyük ve değerli şirketleri arasında tespit edilen firmaların ise birçoğunun kökeninin yabancı menşeli olduğu veya en az 1 yabancı ortaklı olduğu gözlemlenmiştir. Bu açıdan bakıldığında Türkiye’nin büyük atılımlar yapan ve yeni nesil teknolojiler geliştiren bir ülke olmadığı, teknolojilerini yabancı şirketlerin öncülüğünde geliştiren

ve Endüstri 4.0 uygulamalarını hayata geçiren bir ülke olduğu söylenebilir (Sürmen, 2019: 33).

Akıllı üretim sistemleri için öncü ve kritik teknolojilerdeki mevcut durumu ve ihtiyaçları ortaya çıkarmak amacıyla, TÜBİTAK tarafından ilgili teknolojik alanlarda TÜBİTAK'tan Ar-Ge desteği almış yaklaşık 1000 özel sektör kuruluşuna Haziran 2016'da kapsamlı bir anket uygulanmıştır. Anket sonuçlarına göre firmaların sadece %22'sinin bu konuda kapsamlı bilgiye sahip olduğu saptanmıştır . Ayrıca, firmaların yaklaşık %50'si 3-5 yıl içinde teknolojileri entegre etmek için stratejiler tanımlamıştır. Çarpıcı bir sonuç, bu şirketlerin dijital olgunluk düzeylerinin Endüstri 2 ile Endüstri 3 arasında olmasıdır. Araştırma sonucuna göre dijital olgunluğun en yüksek olduğu üç endüstri şunlardır: (1) malzemeler (kauçuk ve plastik), (2) bilgisayarlar, elektronik ve optik ürünler ve (3) otomotiv ve beyaz eşya yan sanayi. Aynı zamanda teknolojik gelişmeler de değerlendirilmiştir. En yüksek katma değeri sağladığı düşünülen üç teknolojik gelişme, otomasyon ve kontrol sistemleri, gelişmiş robotik sistemler ve katmanlı imalat olarak saptanmıştır (TÜBİTAK, 2017).

TÜSİAD ve BCG tarafından 2016 yılında hazırlanan raporda “Endüstri 4.0 Türkiye için neden hayati önem taşımaktadır?” bölümü yer almaktadır. Bu bölümde Türkiye'nin bir yol ayrımında olduğundan bahsedilmektedir. Türkiye ya küresel rekabet gücünü kaybedecek ya da gelişmiş ülkelere katılmak için dev bir adım atacaktır. Ülke şimdiye kadar lojistik avantajlardan ve düşük işçilik maliyetlerinden yararlanmıştır. Öte yandan, işgücü maliyeti düşük olan ülkelere kalifiye işgücüne ve teknolojik otomasyona yatırım yapan ülkelere üretim geri dönmektedir. Raporda Türkiye'nin mevcut rekabetçi konumunu sürdürmek için çeşitli yapısal zorluklarla karşı karşıya olduğu vurgulanmıştır. Bu sorunların başında ihracatta ithalata yüksek bağımlılık, toplam üretimde katma değerli ürünlerin düşük payı, yetkinlik eksikliği ve yüksek çalışan devir hızı gelmektedir. (TÜSİAD, 2016).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

TÜRKİYE’DE PANEL VERİ ANALİZİNİN ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Araştırmanın Önemi

Endüstri 4.0, dünya ekonomilerinde olduğu gibi Türkiye ekonomisinde de oldukça önemli bir yere sahiptir. Endüstri 4.0 uygulamalarının en önemli etkisi ülke ekonomisinin üretim kesiminde olmaktadır. Bu öneminden dolayı yapılan çalışmada Endüstri 4.0 uygulamalarının Türkiye ekonomisine olan etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda saptanan bulgulardan yola çıkarak Türkiye ekonomisini istikrarlı bir seviyede geliştirmek için uygun politikalara öneriler verileceği planlanmaktadır.

4.2. Araştırmanın Amacı

Yapılan çalışmada “Global Innovation Index 2020” raporuna göre 2020 yılının en yüksek gelirli 10 ülke (İsviçre, İsveç, ABD, İngiltere, Hollanda, Danimarka, Finlandiya, Singapur, Almanya ve Güney Kore) ekonomisi ve orta gelir grubunda olan Türkiye verileri kullanılmıştır. Söz konusu ülkelerin çalışmada ele alınmasının nedeni, sanayileşmenin ülke ekonomileri üzerinde oldukça büyük bir etki yaratmasıdır. Aynı zamanda karşılaştırma açısından Türkiye de çalışmaya dahil edilmiş ve ülkemizin sanayi sektöründe olan ilerlemesi incelenmiştir. Çalışmada ele alınan ülke ekonomileri için 2000-2020 dönemi temel yıl alınmıştır.

4.3. Araştırmanın Yöntemi

Çalışmada ele alınan 11 ülke için endüstri 4.0 uygulamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen 11 ülke için 21 yıllık veriler kullanılarak statik panel analizi yapılacaktır. Panel veri analizi yapılmasının temel amacı hem tüm panel geneli için hem de ayrı ayrı ülkeler bazında elde edilen sonuçların yorumlanmasıdır. İlk olarak konu doğrultusunda ekonometrik model oluşturulmuştur. Söz konusu ekonometrik modelde yer alan değişkenlerin temel istatistik değerleri incelenmiştir. Çalışmada değişkenler arasındaki ilişki klasik model

tahminlemesiyle incelenmiştir. Daha sonra ise sabit etkiler ve tesadüfi etkiler tahmincisi modele uygulanmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Sabit etkiler ve tesadüfi etkiler tahmincisi arasında seçim yapmak için Hausman testi kullanılmıştır. Daha sonra seçilen model ile klasik model arasındaki seçim Olabilirlik Oran testi yardımıyla yapılmıştır. Uygun model seçimi sonrasında ele alınan modelde temel varsayım testleri yapılmıştır. Bu testler değişen varyans, otokorelasyon ve birimler arası korelasyon testleri olmaktadır. Modelde değişen varyansın olup olmadığı Levene, Brown ve Forsythe Değişen Varyans testiyle incelenmiştir. Otokorelasyon durumu Lagrange Çarpımı testi yardımıyla incelenmiştir. Birimler arası korelasyon incelemesi zamanı ise Pesaran, Friedman ve Frees'in testleri kullanılmıştır. Son olarak ise temel varsayım testlerinin sonuçlarına göre uygun dirençli tahminci kullanılmıştır.

4.4. Bulgular

Seçili 11 Avrupa ülke verileri doğrultusunda Endüstri 4.0 uygulamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan çalışmada 2000-2020 dönemi temel alınarak uygun panel veri analizleri yapılmıştır. İlk önce elde edilen değişkenlerin tanımlanması tablo şeklinde özetlenecektir. Aşağıdaki tabloda değişkenlerin kısaltmaları, değişkenlerin tanımı ve değişkenlerin elde edildiği kaynak gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Modellerde Kullanılan Değişkenlerin Tanımlanması

Analiz Dönemi (2000-2020)		
Değişkenlerin Kısaltması	Değişkenlerin Tanımı	Değişkenlerin Veri Kaynağı
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla	World Bank
YTI	Yüksek Teknoloji İhracatı	World Bank
KIE	Küresel İnovasyon Endeksi	World Bank
PBS	Patent Başvuru Sayısı	World Bank
ARGE	Ar-Ge Harcamaları	World Bank

Kaynak: World Bank

$$GSYIH_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 YTI_{it} + \beta_2 KIE_{it} + \beta_3 PBS_{it} + \beta_4 ARGE_{it} + u_{it}$$

Yukarıda konu doğrultusunda oluşturulan ekonometrik model yer almaktadır. Şimdi ekonometrik modelde yer alan değişkenlerin temel istatistik değerleri incelenecektir.

Tablo 4.2: Değişkenlerin Tanımsal İstatistikleri

Değişkenler	Gözlem Sayı	Ortalama	Hata	Min.	Mak.
GSYIH	231	2.299114	3.09909	- 9.79024	14.52564
YTI	231	22.00356	11.95893	1.85710	53.22024
KIE	231	7.346504	27.95918	- 62.4008	113.2
PBS	231	41324.94	76187.8	277	296357
ARGE	231	2.485099	.8354156	.47909	4.29163

Tablo 4.2’de değişkenlerin tanımsal istatistik değerleri özetlenmiştir. Tabloya bakıldığı zaman değişkenlere ait gözlem sayısı, ortalama, hata, minimum ve maksimum değerleri görülmektedir. Tabloda 11 ülkeye ait 21 yıllık veriler yani toplamda 231 (11*21=231) gözlemle panel analizi yapılacağı görülmektedir. Burada önemli olan değerler minimum ve maksimum değerler olmaktadır. Minimum değerlerle maksimum değerler arasındaki farkın oldukça büyük olduğu veriler geometrik dağılım göstermektedir. Geometrik dağılım gösteren verilerle yapılan çalışmalarda değişkenlerin logaritmalarının alınması gerekmektedir. Çalışma doğrultusunda elde edilen verilere bakıldığı zaman serilerin geometrik dağılım değil de aritmetik dağılım gösterdiği görülmektedir. Çalışmada kullanılan değişkenler aritmetik seri özelliği gösterse de tüm değişkenleri aynı boyuta getirmek ve elde edilen bulguları yüzde üzerinden yorumlamak için değişkenlerin logaritmaları alınmıştır.

Panel veri analizlerinde zaman boyutu ve birim boyutunun geçerli olup olmaması açısından farklı durumlar söz konusu olmaktadır. Hem zaman hem de birim boyutunun geçerli olduğu durumlarda iki yönlü panel veri analizi yapılmaktadır. Diğer durumlarda ise tek yönlü panel veri analizi tercih edilmektedir. Çalışmada birim ve

zaman boyutunun geçerliliği olabilirlik oran testi yardımıyla incelenmiştir. Aşağıdaki tabloda Olabilirlik Oran test sonuçları özetlenmiştir.

Tablo 4.3: Birim ve Zaman Etkilerinin Varlığını (İki Yönlü Modelin Geçerliliğinin)

Sınamak İçin Olabilirlik Oranı Test

Olabilirlik Oranı Testi	
chi2(2)	556.50
Prob>chi2	0.0000

Yukarıdaki tabloda birim ve zaman boyutunun her ikisinin geçerli olup olmadığını test etmek için kullanılan Olabilirlik Oran test sonuçları görülmektedir. Burada temel hipotez iki yönlü modelin geçerli olmadığını ifade etmektedir. Olabilirlik oran test sonucunda elde edilen chi2 istatistiği 556.50 ve bu istatistiğin olasılık değeri 0.0000 olmaktadır. Elde edilen olasılık değeri 0.05'ten küçük olduğundan H_0 temel hipotezi reddedilmektedir. Yani ele alınan ekonometrik modelde iki yönlü model geçerli olmaktadır.

İki yönlü modelin geçerli olduğu test sonucunda elde edilmiştir. Bundan sonraki aşamalarda tüm testler iki yönlü model temel alınarak yapılacaktır. İlk olarak ekonometrik model klasik model yardımıyla tahminlenecektir. Aşağıdaki tabloda klasik model tahmini sonucunda elde edilen bulgular özetlenmiştir.

Tablo 4.4: Klasik Model

Bağımlı Değişken: GSYİH	
Değişkenler	Klasik Model
YTI	-0.272***
KIE	-0.076
PBS	0.469***
ARGE	-0.562***
Sabit	24.913***
R-kare	0.77
F[önem]	0.0000
Gözlem Sayısı	143
Birim Sayısı	11

Not: *: %10, **: %5 ve ***: %1 önem düzeyini göstermektedir.

Tablo 4.4’de ele alınan değişkenler arasındaki ilişki klasik model ile tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre modelin genel anlamlılığını ifade eden F testi modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Modelin açıklama gücünü gösteren R^2 değeri yaklaşık %77 olarak hesaplanmıştır. Yani yüksek teknoloji ihracatı, küresel inovasyon endeksi, patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ekonomik büyümedeki toplam değişimin yaklaşık %77’sini açıklamaktadır. Geriye kalan diğer açıklama oranı ise modele dahil edilmeyen değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Değişkenlerin anlamlılık düzeylerine bakıldığında zaman sadece küresel inovasyon endeksinin anlamsız şekilde tahminlendiği görülmektedir. Diğer değişkenler ve sabit terim ise %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde anlamlı olmaktadır. Bağımsız değişkenlerden patent başvuru sayısı ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkiye sahiptir, diğer değişkenler ise ekonomik büyümeyi negatif yönde etkilemektedir.

Klasik modelde kullanılan bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantının olup olmadığı VIF kriteri yardımıyla incelenmiştir. Çoklu doğrusal bağlantı model sonucunu etkileyecek ve sapmalı sonuçlar elde edilmesine neden olacaktır. Aşağıdaki tabloda bağımsız değişkenler arasındaki çoklu doğrusal bağlantı durumu için yapılan test sonucu görülmektedir.

Tablo 4.5: Çoklu Doğrusal Bağlantı

Değişkenler	VIF	1/VIF
YTI	1.64	0.61
KIE	1.63	0.61
PBS	1.08	0.93
ARGE	1.07	0.94
Mean VIF	1.35	

Tablo 4.5’de klasik modelde yer alan değişkenlerin çoklu doğrusal bağlantı durumu VIF istatistiği yardımıyla incelenmiştir. Tablo sonuçlarına bakıldığında zaman tüm bağımsız değişkenlerin VIF değerlerinin 5’ten küçük olduğu, dolayısıyla değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı probleminin bulunmadığı görülmektedir.

Klasik model tahmininden sonra değişkenler arasındaki ilişki sabit etkiler modeli yardımıyla tahminlenmiştir. Sabit etkiler model sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 4.6: Sabit Etkiler Modeli

Bağımlı Değişken: GSYİH	
Değişkenler	Sabit Etkiler Modeli
YTI	-0.265***
KIE	-0.019*
PBS	0.298***
ARGE	0.299***
Sabit	25.55***
R-kare	0.64
F[önem]	0.0000
Gözlem Sayısı	143
Birim Sayısı	11

Not: *: %10, **: %5 ve ***: %1 önem düzeyini göstermektedir.

Tablo 4.6’da ele alınan değişkenler arasındaki ilişki sabit etkiler model ile tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre modelin genel anlamlılığını ifade eden F testi modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Modelin açıklama gücünü gösteren R^2 değeri yaklaşık %64 olarak hesaplanmıştır. Yani yüksek teknoloji ihracatı, küresel inovasyon endeksi, patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ekonomik büyümedeki toplam değişimin yaklaşık %64’ünü açıklamaktadır. Geriye kalan diğer açıklama oranı ise modele dahil edilmeyen değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Değişkenlerin anlamlılık düzeylerine bakıldığında zaman sadece küresel inovasyon endeksinin %10 anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu görülmektedir. Diğer değişkenler ve sabit terim ise her üç anlamlılık düzeyinde anlamlı olmaktadır. Bağımsız değişkenlerden patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkiye sahiptir, yüksek teknoloji ihracatı ve küresel inovasyon endeksi ise ekonomik büyümeyi negatif yönde etkilemektedir.

Sabit etkiler modeli tahmin edildikten sonra değişkenler arasındaki ilişki tesadüfi etkiler modeli yardımıyla tahminlenmiştir. Tesadüfi etkiler model tahmin sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 4.7: Tesadüfi Etkiler Modeli

Bağımlı Değişken: GSYİH	
Değişkenler	Tesadüfi Etkiler Modeli
YTI	-0.269***
KIE	-0.018*
PBS	0.319***
ARGE	0.254***
Sabit	25.37***
R-kare	0.67
Wald[önem]	0.0000
Gözlem Sayısı	143
Birim Sayısı	11

Not: *: %10, **: %5 ve ***: %1 önem düzeyini göstermektedir.

Tablo 10’de ele alınan değişkenler arasındaki ilişki tesadüfi etkiler model ile tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre modelin genel anlamlılığını ifade eden Wald testi modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Modelin açıklama gücünü gösteren R^2 değeri yaklaşık %67 olarak hesaplanmıştır. Yani yüksek teknoloji ihracatı, küresel inovasyon endeksi, patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ekonomik büyümedeki toplam değişimin yaklaşık %67’sini açıklamaktadır. Geriye kalan diğer açıklama oranı ise modele dahil edilmeyen değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Değişkenlerin anlamlılık düzeylerine bakıldığında zaman sadece küresel inovasyon endeksinin %10 anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu görülmektedir. Diğer değişkenler ve sabit terim ise her üç anlamlılık düzeyinde anlamlı olmaktadır. Bağımsız değişkenlerden patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkiye sahiptir, yüksek teknoloji ihracatı ve küresel inovasyon endeksi ise ekonomik büyümeyi negatif yönde etkilemektedir.

Sabit etkiler ve tesadüfi etkiler modeli tahmin edildikten sonra bu iki tahminci arasından seçim yapılması gerekmektedir. Hausman testi yardımıyla iki tahminci arasından tercih yapılacaktır. Aşağıdaki tabloda Hausman test sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.8: Dirençli Hausman Testi

Bağımlı Değişken: GSYİH	
Chi2(4)	11.99
Prob>chi2	0.0175

Tablo 4.8’de verilen dirençli Hausman test sonucuna göre sabit etkiler tahmincisi etkin ve tutarlı sonuçlar vermektedir. Yani sonuç olarak sabit etkiler modeli tesadüfi etkiler modeline tercih edilecektir.

Hausman test sonucunda sabit etkiler modelinin daha etkin ve tutarlı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Şimdi sabit etkiler modeli ile klasik model arasında seçim yapmak için olabilirlik oran testi kullanılacaktır. Aşağıdaki tabloda Olabilirlik Oran test sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.9: Olabilirlik Oran Testi

Olabilirlik Oranı Testi	
chibar2	448.52
Prob>chibar2	0.0000

Yukarıdaki tabloda sabit etkiler modeli ile klasik model arasında seçim yapmak için kullanılan olabilirlik oran test sonuçları verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre olasılık değeri 0.000 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 0.05’ten küçük olduğundan çalışmada sabit etkiler modeli tercih edilecektir.

Hausman ve Olabilirlik Oran test sonuçlarına göre sabit etkiler modeli tesadüfi etkiler modeli ve klasik modele göre daha etkin ve tutarlı sonuçlar vermektedir. Fakat sabit etkiler modelinde temel varsayım testlerinin yapılması ve varsayımdan sapmaların kontrol edilmesi gerekmektedir. Değişen varyans, otokorelasyon ve birimler arası korelasyon sorunları sabit etkiler model sonuçlarını da olumsuz yönde etkilemektedir.

Şimdi sabit etkiler modelinde temel varsayım testlerinin yapılması gerekmektedir. Bunlar değişen varyans, otokorelasyon ve birimler arası korelasyon testleridir. Söz konusu üç varsayımdan sapma durumunda elde edilecek sonuçlar sapmalı ve tutarsız olmaktadır. Bu sebeple sabit etkiler modelinde varsayımdan

sapmaların kontrol edilmesi varsayımdan sapmalar olursa duruma göre varsayımdan sapmalara karşı dirençli sonuçlar veren dirençli tahmincilerin kullanılması gerekmektedir.

İlk olarak sabit etkiler modelinde değişen varyans durumu Levene, Brown ve Forsythe'nin değişen varyans testiyle incelenecektir. Elde edilen test sonuçları aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 4.10: Levene, Brown ve Forsythe Değişen Varyans Testi

W_0	3.0582452
Prob>F	0.0016
W_{50}	2.5794175
Prob>F	0.0069
W_{10}	2.9725066
Prob>F	0.0021

Yukarıdaki tabloda sabit etkiler modeli için yapılan Levene, Brown ve Forsythe'nin test sonuçları görülmektedir. Test sonucunda 3 test istatistiği verilmiştir. Burada temel hipotez sabit etkiler modelinde değişen varyansın olmadığı şeklindedir. Elde edilen test sonuçlarına göre H_0 temel hipotezi reddedilmektedir. Yani sabit etkiler modelinde değişen varyans sorunu bulunmaktadır.

Sabit etkiler modelinde otokorelasyon durumu Durbin-Watson ve Baltagi-Wu'nun testleri yardımıyla incelenmiştir. Elde edilen test sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 4.11: Durbin-Watson ve Baltagi-Wu Otokorelasyon Testi

Otokorelasyon	
Durbin-Watson	0.297
Baltagi-Wu	0.434

Tablo 4.11'de sabit etkiler tahmincisinde otokorelasyon durumu Durbin-Watson ve Baltagi-Wu'nun test istatistik değerleri yardımıyla incelenmiştir. Elde

edilen sonuçlara göre istatistik değerleri 2’den küçük olduğundan sabit etkiler modelinde otokorelasyon önemli düzeyde olmaktadır.

Son olarak sabit etkiler modelinde birimler arası korelasyon durumu incelenmiştir. Birimler arası korelasyon Pesaran, Friedman ve Frees’in testleri yardımıyla kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlar izleyen tabloda özetlenmiştir.

Tablo 4.12: Birimler Arası Korelasyon

Pesaran	
χ^2	10.876
$\text{Önem} > \chi^2$	0.0000
Friedman	
χ^2	50.377
$\text{Önem} > \chi^2$	0.0000
Frees	
Frees’ Test İstatistik	4.129
Alpha=0.01	0.3169
Alpha=0.05	0.4325
Alpha=0.10	0.6605

Yukarıdaki tabloda sabit etkiler tahmincisinde birimler arası korelasyon, Pesaran, Friedman ve Frees’in testleriyle incelenmiştir. Her üç test için H_0 temel hipotezi “Birimler arası korelasyon yoktur” şeklinde kurulmaktadır. Burada Pesaran ve Friedman testi olasılık değerleri üzerinden incelenmektedir. Her iki test sonucunda elde edilen istatistik değerlerin olasılıkları 0.05’ten küçük olduğu için H_0 temel hipotezi reddedilmektedir. Yani Pesaran ve Friedman testleri sonucunda modelde birimler arası korelasyonun olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Frees testi ise test istatistik değerinin kritik değerlerle karşılaştırılması şeklinde incelenmektedir. Elde edilen Frees istatistik değeri tüm kritik değerlerden büyük olduğu için H_0 temel hipotezi reddedilmektedir. Yani Frees testi sonucunda da modelde birimler arası korelasyon olduğu saptanmaktadır. Her üç test sonucu birbirini desteklemektedir. Test sonuçlarına göre H_0 temel hipotezi reddedilmektedir. Yani sabit etkiler modelinde birimler arası korelasyon vardır.

Sonuç olarak ele alınan ekonometrik model için yapılan sabit etkiler modelinde değişen varyans, otokorelasyon ve birimler arası korelasyon varsayımından sapmaları

olmaktadır. Söz konusu varsayımdan sapmalar sabit etkiler modeli sonuçlarının sapmalı olmasına neden olmaktadır. Bu sebeple varsayımdan sapmaları dikkate alan dirençli tahmincilerin tahminlenmesi gerekmektedir. Panel veri analizlerinde değişen varyans, otokorelasyon ve birimler arası korelasyonun olması durumunda Huber Eicker ve White Tahmincisinin kullanılması uygun olmaktadır. Aşağıdaki tabloda dirençli tahminci sonuçları görülmektedir.

Tablo 4.13: Huber Eicker ve White Tahmincisi

GSYİH	Katsayı	Robust Standart Sapma	t-değeri	P> t
YTI	-0.265	0.1002156	-2.64	0.025
KIE	-0.019	0.006072	-3.11	0.011
PBS	0.298	0.0698551	4.27	0.002
ARGE	0.299	0.1365402	2.20	0.053
Sabit	25.55	0.6130166	41.68	0.000
F	9.73			
Önem>F	0.0018			
R ²	0.64			

Yukarıdaki tabloda otokorelasyon, değişen varyans ve birimler arası korelasyonun olduğu durumda dirençli sonuçlar veren Huber, Eicker ve White dirençli tahminci sonuçları özetlenmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığı zaman modelin anlamlılığının F testi yardımıyla incelendiği görülmektedir. F test sonucuna göre model anlamlı şekilde tahminlenmiştir. Modelin açıklama gücünü gösteren R² değeri %64 olmaktadır. Yani yüksek teknoloji ihracatı, küresel inovasyon endeksi, patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ekonomik büyümedeki toplam değişimin yaklaşık %64'ünü açıklamaktadır. Geriye kalan diğer açıklama oranı ise modele dahil edilmeyen değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Değişkenlerin anlamlılık düzeylerine bakıldığı zaman yüksek teknoloji ihracatı ve küresel inovasyon endeksinin %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu görülmektedir. Araştırma ve geliştirme harcamaları değişkeni sadece %10 anlamlılık düzeyinde, patent başvuru sayısı ve sabit terim ise tüm anlamlılık düzeylerinde anlamlı olmaktadır. Bağımsız değişkenlerden patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ekonomik

büyüme üzerinde pozitif etkiye sahiptir, yüksek teknoloji ihracatı ve küresel inovasyon endeksi ise ekonomik büyümeyi negatif yönde etkilemektedir.

Genel olarak ele alınan panel veri için yapılan tahmin sonuçları değerlendirilecek olursa yüksek teknoloji ihracatı, küresel inovasyon endeksi, patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamalarının GSYİH üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu söylenilebilmektedir. Fakat değişkenlerden yüksek teknoloji ihracatı ve küresel inovasyon endeksi ekonomik büyüme üzerinde negatif bir etkiye sahiptir. Patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ise ekonomik büyüme üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir. Panelde ele alınan tüm ülkeler için yapılan tahmin sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 4.14: Ülkelerin Sonuçları

Danimarka	
GSYİH	Katsayı
YTI	-0.384*
KIE	0.805**
PBS	0.117**
ARGE	0.483***
Sabit	26.99***
Finlandiya	
GSYİH	Katsayı
YTI	-0.017
KIE	0.403*
PBS	0.172***
ARGE	0.307**
Sabit	16.43***
Almanya	
GSYİH	Katsayı
YTI	0.494**
KIE	0.512**
PBS	0.281***
ARGE	0.413***
Sabit	10.42***
Güney Kore	
GSYİH	Katsayı
YTI	0.931***
KIE	-0.107**
PBS	0.034*
ARGE	-0.142**

Sabit	5.97*
Hollanda	
GSYIH	Katsayı
YTI	-0.701**
KIE	-0.125*
PBS	0.405**
ARGE	0.111
Sabit	60.29***
Singapur	
GSYIH	Katsayı
YTI	-0.469
KIE	0.144**
PBS	0.114**
ARGE	0.132*
Sabit	-5.59**
İsveç	
GSYIH	Katsayı
YTI	-0.369*
KIE	0.089
PBS	0.616**
ARGE	0.214***
Sabit	-2.52*
İsviçre	
GSYIH	Katsayı
YTI	0.292*
KIE	-0.225
PBS	0.201**
ARGE	0.838*
Sabit	-13.44***
Türkiye	
GSYIH	Katsayı
YTI	0.937***
KIE	0.261*
PBS	0.249**
ARGE	0.844**
Sabit	-11.31***
ABD	
GSYIH	Katsayı
YTI	0.116*
KIE	0.048**
PBS	0.179***
ARGE	0.569***
Sabit	-23.14**
İngiltere	
GSYIH	Katsayı

YTI	-0.116**
KIE	0.087**
PBS	0.103*
ARGE	0.945***
Sabit	18.37**

Yukarıdaki tabloda panelde yer alan tüm ülkeler için ayrı ayrı regresyon denklemleri kurulmuş ve elde edilen sonuçlar özetlenmiştir. Tablo 4.13 ve tablo 4.14 birlikte değerlendirildiği zaman yüksek teknoloji ihracatı ve küresel inovasyon endeksinin genel panel için negatif olmasının hangi ülkelere kaynaklandığı görülebilmektedir. Almanya, Türkiye ve ABD’de söz konusu bağımsız değişkenler ekonomik büyüme üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olmaktadır. Her üç ülkenin teknoloji alanında uzmanlaşması, global dünya ekonomi şartlarına ayak uydurabilmesi, yeni keşiflere yapılan teşvikler ve araştırma geliştirme harcamalarına önem verilmesi söz konusu ülkelerde yüksek teknoloji ihracatı, küresel inovasyon endeksi, patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamalarının istikrarlı bir ekonomik büyümede anahtar rolü oynadığını göstermektedir. Son olarak vurgulamak gerekirse arzu olunan istikrarlı ekonomik büyüme için ülkelerin bu unsurları dikkate alması ve bu doğrultuda uygun politikalar geliştirmesi gerekmektedir.

SONUÇ

Çalışmada “Global Innovation Index 2020” raporu esas alınarak 2020 yılının en yüksek gelirli 10 ülke (İsviçre, İsveç, ABD, İngiltere, Hollanda, Danimarka, Finlandiya, Singapur, Almanya ve Güney Kore) ekonomisi ve orta gelir grubunda olan Türkiye verileri kullanılarak bir araştırma yapılmıştır. Söz konusu çalışmada 2000-2020 dönemi temel alınarak söz konusu ülkelerde endüstri 4.0 uygulamalarının ülke ekonomilerine olan etkileri incelenmiştir.

Çalışmada statik panel veri analizi uygulanmıştır. İlk olarak konu doğrultusunda ekonometrik model oluşturulmuştur. Söz konusu ekonometrik modelde yer alan değişkenlerin temel istatistik değerleri incelenmiştir. Modelde birim ve zaman etkilerini incelemek için yani çift yönlü modelin geçerli olup olmadığını incelemek için olabilirlik oranı testi yapılmıştır. Olabilirlik oran test sonucunda elde edilen χ^2 istatistiği 556.50 ve bu istatistiğin olasılık değeri 0.0000 olmaktadır. Elde edilen olasılık değeri 0.05’ten küçük olduğundan H_0 temel hipotezi reddedilmektedir. Yani ele alınan ekonometrik modelde iki yönlü model geçerli olmaktadır.

İki yönlü modelin geçerliliği test edildikten sonra ilk aşamada klasik model tahmini yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre modelin genel anlamlılığını ifade eden F testi modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Modelin açıklama gücünü gösteren R^2 değeri yaklaşık %77 olarak hesaplanmıştır. Yani yüksek teknoloji ihracatı, küresel inovasyon endeksi, patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ekonomik büyümedeki toplam değişimin yaklaşık %77’sini açıklamaktadır. Geriye kalan diğer açıklama oranı ise modele dahil edilmeyen değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Değişkenlerin anlamlılık düzeylerine bakıldığı zaman sadece küresel inovasyon endeksinin anlamsız şekilde tahminlendiği görülmektedir. Diğer değişkenler ve sabit terim ise %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde anlamlı olmaktadır. Bağımsız değişkenlerden patent başvuru sayısı ekonomik büyümeye üzerinde pozitif etkiye sahiptir, diğer değişkenler ise ekonomik büyümeyi negatif yönde etkilemektedir.

Klasik modelde yer alan değişkenlerin çoklu doğrusal bağlantı durumu VIF istatistiği yardımıyla incelenmiştir. Tablo sonuçlarına bakıldığı zaman tüm bağımsız

değişkenlerin VIF değerlerinin 5'ten küçük olduğu, dolayısıyla değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı probleminin bulunmadığı görülmektedir.

Klasik model tahmininden sonra ekonometrik model doğrultusunda sabit etkiler modeli tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre modelin genel anlamlılığını ifade eden F testi modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Modelin açıklama gücünü gösteren R^2 değeri yaklaşık %64 olarak hesaplanmıştır. Yani yüksek teknoloji ihracatı, küresel inovasyon endeksi, patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ekonomik büyümedeki toplam değişimin yaklaşık %64'ünü açıklamaktadır. Geriye kalan diğer açıklama oranı ise modele dahil edilmeyen değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Değişkenlerin anlamlılık düzeylerine bakıldığı zaman sadece küresel inovasyon endeksinin %10 anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu görülmektedir. Diğer değişkenler ve sabit terim ise her üç anlamlılık düzeyinde anlamlı olmaktadır. Bağımsız değişkenlerden patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkiye sahiptir, yüksek teknoloji ihracatı ve küresel inovasyon endeksi ise ekonomik büyümeyi negatif yönde etkilemektedir.

Yapılan çalışmada sonraki aşamada tesadüfi etkiler modeli tahmin edilmiştir. Sonuçlara göre modelin genel anlamlılığını ifade eden Wald testi modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Modelin açıklama gücünü gösteren R^2 değeri yaklaşık %67 olarak hesaplanmıştır. Yani yüksek teknoloji ihracatı, küresel inovasyon endeksi, patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ekonomik büyümedeki toplam değişimin yaklaşık %67'sini açıklamaktadır. Geriye kalan diğer açıklama oranı ise modele dahil edilmeyen değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Değişkenlerin anlamlılık düzeylerine bakıldığı zaman sadece küresel inovasyon endeksinin %10 anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu görülmektedir. Diğer değişkenler ve sabit terim ise her üç anlamlılık düzeyinde anlamlı olmaktadır. Bağımsız değişkenlerden patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkiye sahiptir, yüksek teknoloji ihracatı ve küresel inovasyon endeksi ise ekonomik büyümeyi negatif yönde etkilemektedir.

Sabit etkiler ve tesadüfi etkiler modeli tahmin edildikten sonra bu iki tahminci arasından seçim yapılması gerekmektedir. Hausman test sonucunda sabit etkiler modelinin daha etkin ve tutarlı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Şimdi sabit etkiler modeli ile klasik model arasında seçim yapmak için olabilirlik oran testi kullanılacaktır. Olabilirlik oran test sonuçlarına göre olasılık değeri 0.000 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 0.05'ten küçük olduğundan çalışmada sabit etkiler modeli tercih edilecektir.

Hausman ve Olabilirlik Oran test sonuçlarına göre sabit etkiler modeli tesadüfi etkiler modeli ve klasik modele göre daha etkin ve tutarlı sonuçlar vermektedir. Fakat sabit etkiler modelinde temel varsayım testlerinin yapılması ve varsayımdan sapmaların kontrol edilmesi gerekmektedir. Değişen varyans, otokorelasyon ve birimler arası korelasyon sorunları sabit etkiler model sonuçlarını da olumsuz yönde etkilemektedir.

Sabit etkiler modeli için yapılan Levene, Brown ve Forsythe değişen varyans test sonuçlarına göre 3 test istatistiği elde edilmiştir. Burada temel hipotez sabit etkiler modelinde değişen varyansın olmadığı şeklindedir. Elde edilen test sonuçlarına göre H_0 temel hipotezi reddedilmektedir. Yani sabit etkiler modelinde değişen varyans sorunu bulunmaktadır.

Sabit etkiler tahmincisinde otokorelasyon durumu Durbin-Watson ve Baltagi-Wu'nun test istatistik değerleri yardımıyla incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre istatistik değerleri 2'den küçük olduğundan sabit etkiler modelinde otokorelasyon önemli düzeyde olmaktadır. Yukarıdaki tabloda sabit etkiler tahmincisinde birimler arası korelasyon, Pesaran, Friedman ve Frees'in testleriyle incelenmiştir. Her üç test sonucu birbirini desteklemektedir. Her üç test için H_0 temel hipotezi "Birimler arası korelasyon yoktur" şeklinde kurulmaktadır. Test sonuçlarına göre H_0 temel hipotezi reddedilmektedir. Yani sabit etkiler modelinde birimler arası korelasyon vardır.

Sonuç olarak ele alınan ekonometrik model için yapılan sabit etkiler modelinde değişen varyans, otokorelasyon ve birimler arası korelasyon varsayımdan sapmaları olmaktadır. Söz konusu varsayımdan sapmalar sabit etkiler modeli sonuçlarının sapmalı olmasına neden olmaktadır. Bu sebeple varsayımdan sapmaları dikkate alan

dirençli tahmincilerin tahminlenmesi gerekmektedir. Panel veri analizlerinde değişen varyans, otokorelasyon ve birimler arası korelasyonun olması durumunda Huber Eicker ve White Tahmincisinin kullanılması uygun olmaktadır.

Yapılan Huber, Eicker ve White dirençli tahminci sonuçlarına göre model anlamlı şekilde tahminlenmiştir. Modelin açıklama gücünü gösteren R^2 değeri %64 olmaktadır. Yani yüksek teknoloji ihracatı, küresel inovasyon endeksi, patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ekonomik büyümedeki toplam değişimin yaklaşık %64'ünü açıklamaktadır. Geriye kalan diğer açıklama oranı ise modele dahil edilmeyen değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Değişkenlerin anlamlılık düzeylerine bakıldığı zaman yüksek teknoloji ihracatı ve küresel inovasyon endeksinin %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu görülmektedir. Araştırma ve geliştirme harcamaları değişkeni sadece %10 anlamlılık düzeyinde, patent başvuru sayısı ve sabit terim ise tüm anlamlılık düzeylerinde anlamlı olmaktadır. Bağımsız değişkenlerden patent başvuru sayısı ve araştırma geliştirme harcamaları ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkiye sahiptir, yüksek teknoloji ihracatı ve küresel inovasyon endeksi ise ekonomik büyümeyi negatif yönde etkilemektedir.

Çalışmada Türkiye ekonomisi için yapılan analiz sonuçlarına bakıldığı zaman ülkemizin Almanya ve ABD gibi büyük ekonomiler ile benzerlik gösterdiği mutlaka vurgulanmalıdır. Analiz sonuçlarına göre yüksek teknoloji ihracatı ekonomik büyüme üzerinde oldukça önemli bir etki yaratmaktadır. Yüksek teknoloji ihracatındaki %1 artış ekonomik büyüme üzerinde yaklaşık %0.94 değerinde bir artış sağlamaktadır. Türkiye'nin son yıllarda özellikle askeri alanlarda yaptığı başarılı çalışmalar bugün ekonomik büyüme üzerinde kendi etkisini göstermektedir. Örnek vermek gerekirse 2020 Karabağ Savaşı'nda kullanılan Bayraktar TB2 İHA'ların savaş meydanında kazandığı başarılar Türkiye'nin yüksek teknoloji alanında ne kadar ilerlediğini göstermektedir.

Türkiye ekonomisi için küresel inovasyon endeksi ve patent başvuru sayısının da ekonomik büyüme üzerindeki önemi yapılan analiz sonuçlarında görülmektedir. Ülkenin tüm dönemler boyunca yeni icatlara önem vermesi, girişimcilere yapılan maddi ve manevi destekler, telif hakları uygulamaları son yıllarda daha baskın hale

gelmiş ve yapılan politikalar ekonomik büyüme üzerinde olumlu etkilerini yaratmıştır. Yine ekonomik büyüme üzerinde önemli bir etkiye sahip olan araştırma ve geliştirme harcamaları da Türkiye devletinin her daim ön planda tuttuğu unsurlardan biri haline gelmiştir. Analiz sonuçlarına bakıldığında zaman araştırma ve geliştirme harcamalarındaki %1’lik bir artışın ekonomik büyüme üzerinde %0.84’lük bir artış yaratacağı görülmektedir.

Son olarak Türkiye ekonomisi için tüm bulgular değerlendirildiğinde zaman politika yapıcıların doğru yolda olduğu, önem verdikleri (çalışmada ele alınan) tüm unsurların ekonomik büyüme üzerinde büyük bir etki yarattığı görülmektedir. Aynı şekilde yüksek teknoloji ihracatının teşvik edilmesi, patent başvuru sayılarının artması için çalışmalar yapılması, araştırma geliştirme harcamalarının daim göz önünde tutularak uygun bütçe sınırlaması altında istikrarlı bir şekilde yükseltilmesi gerekmektedir. Tüm bu bulguları kapsayacak uygun politikaların geliştirilmesi ve başarılı bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir.

“Global Innovation Index 2020” raporuna göre 2020 yılının en yüksek gelirli 10 ülke (İsviçre, İsveç, ABD, İngiltere, Hollanda, Danimarka, Finlandiya, Singapur, Almanya ve Güney Kore) ekonomisi için endüstri 4.0 uygulamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkilerinin de incelenmesi gerekmektedir. Elde edilen sonuçlara göre Finlandiya ekonomisi için yüksek teknoloji ihracatının, Hollanda ekonomisi için araştırma ve geliştirme harcamalarının, Singapur ekonomisi için yüksek teknoloji ihracatının, İsveç ekonomisi için küresel inovasyon endeksinin ve İsviçre ekonomisi için küresel inovasyon endeksinin ekonomik büyüme üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Bu sonuçlardan sadece Singapur ekonomisi için elde edilen sonucun beklenilenin tam tersi şeklinde elde edilmesi dikkatleri çekmektedir. Çünkü literatüre bakıldığında Singapur ekonomisinde yüksek teknoloji ihracatının ekonomik büyüme üzerinde oldukça önemli etkisi olduğu görülmektedir. Ayrıca Almanya, Güney Kore, İsviçre ve ABD gibi ekonomilerinde yüksek teknoloji ihracatının önemli bir paya sahip olduğu ülkeler için sonuçların tam şekilde literatüre uygun olduğu saptanmıştır. Söz konusu ülke ekonomilerinin gelişiminde endüstri 4.0 uygulamalarının çok büyük önem taşıdığı ve uzun dönemli ekonomik büyüme için söz konusu uygulamalara devam edilmesi gerektiği öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Akbulut U. (2009). **Sanayi Devrimleri Dünyanın Gidişini Değiştirdi**, <http://www.uralakbulut.com.tr/wp-content/uploads/2009/11/SANAY%C4%B0DEVIR%C4%B0M%C4%B0D%C3%9CNYANING%C4%B0D%C4%B0%C5%9E%C4%B0N%C4%B0-DE%C4%9E%C4%B0%C5%9ET%C4%B0RD%C4%B0-HAZ%C4%B0RAN> 2011.pdf. Erişim Tarihi: 19.08.2021.
- Alçın, S. (2016). **Endüstri 4.0 Ve İnsan Kaynakları**. *Popüler Yönetim Dergisi*. 63(1). 47.
- Alçın, S. (2016). **Üretim İçin Yeni Bir İzlek: Sanayi 4.0**. *Journal of Life Economics*. 3(2). 19-30.
- Arslan K. ve Kırbaş İ. (2016). **Nesnelerin İnterneti Uygulamaları İçin Algılayıcı/Eyleyici Kablosuz Düğüm İlk Örneği Geliştirme**. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. ss.35-43
- Asiltürk, A. (2018). **İnsan Kaynakları Yönetiminin Geleceği: İK 4.0**. *Journal of Awareness*, 3(Özel), 527-544.
- Avrupa Birliği Bakanlığı, https://www.ab.gov.tr/siteimages/resimler/Sanayi%204_0%20web.pdf. Erişim tarihi: 03 12.2021.
- Avrupa Komisyonu, 2021, <https://iri.jrc.ec.europa.eu/data>. Erişim tarihi: 12.11.2021.
- Aytar, O. (2019). **Endüstri 4.0 Ve Bu Paradigmanın Örgüt Yönetimi Üzerindeki Olası Etkileri**. *İş, Güç Endüstri İlişkileri ve İnsan Kaynakları Dergisi*. 21(2), 75-90.

- Aytar, O. (2019). **Endüstri 4.0 Ve Bu Paradigmanın Örgüt Yönetimi Üzerindeki Olası Etkileri.** *İş, Güç Endüstri İlişkileri ve İnsan Kaynakları Dergisi*. 21(2), 75-90
- Banger, G. (2016). *Endüstri 4.0 ve Akıllı İşletme*. Dorlion Yayınları.
- Banger, G. (2017). *Endüstri 4.0 Ekstra*. Ankara: Dorlion Yayınları.
- Bartodziej, C. J. (2017). *The Concept Industry 4.0: An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics*. Berlin: Springer Gabler.
- Barutçu, H. C. (2019). *Endüstri 4.0 Uygulamalarının Üretim Süreçlerine Etkisi: Bosch Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi Örneği*. İstanbul: İstanbul Gelişim Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- Barutçu, H. C. (2019). *Endüstri 4.0 Uygulamalarının Üretim Süreçlerine Etkisi: Bosch Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi Örneği*. İstanbul: İstanbul Gelişim Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- Bayraktar, Ö. (2017). *Dijital İşletme Bilimi*. İstanbul: Selis
- Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2019). https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/2023_Dijital-Turkiye-YolHaritasi.pdf . Erişim tarihi: 19.11.2021.
- Bosch Ltd., (2021), History-Future of Industry <http://www.sanayidegelecek.com/en/sanayi-4-0/tarihsel-gelisim/> [Erişim Tarihi: 21.09.2021]

- Bozuklu M. (2016). *Çevresel Veriler İle Gerçek Zamanlı Nesnelerin İnterneti Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. Tokat: Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bradley, J. M., & Atkins, E. M. (2015). **Optimization And Control Of Cyber-Physical Vehicle Systems**. *Sensors*. 15(9). 23020-23049.
- Can, A. V., & Kıymaz, M. (2016). **Bilişim Teknolojilerinin Perakende Mağazacılık Sektörüne Yansımaları: Muhasebe Departmanlarında Endüstri 4.0 Etkisi**. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(CİEP Özel Sayısı), 107-117.
- Çevik, G. Z. (2018). *Endüstri 4.0 Bağlamında Türkiye'nin Yerine İlişkin Güncel ve Gelecek Eksenli Bir Analiz*. Yüksek Lisans Tezi.
- Deane, P. (2000). *İlk Sanayi İnkılabı*. (çev: Güran, T.). Türk Tarih Kurumu.
- Demchenko, Y., Membrey, P., Grosso, P., and Laat, C.D. (2013). **Adressing Big Data Issues in Scientific Data Infrastructure**. *First International Symposium on Big Data and Data Analytics in Collaboration (BDDAC 2013)*. California, USA. pp. 48 – 55.
- Demirel, E., Alp, M., Taşdemir, M. ve Torlak, S. (2018). Dijital Taylorizmin İnsan, Üretim ve Ekonomik Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. *Journal of Social and Humanities Sciences Research*. 5 (18), 430-438.
- Dengiz, O. (2017, Mayıs). *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 15(1).

- Dilberoglu, U., Gharehpapagh, B.,
Yaman, U., and Dolen, M. (2017). The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 11, pp. 545 – 554.
- Doğruel Anuşlu, M. &
Fırat, S. Ü. (2020). *Ülkelerin Endüstri 4.0 Seviyesinin Sürdürülebilir Kalkınma Düzeylerine Etkisinin Analizi* . Endüstri Mühendisliği , I.EİM Kongresi , 44-58 .
- EBSO, (2015). Sanayi 4.0, http://www.ebso.org.tr/ebsomedia/documents/sanayi-40_81017283.pdf. Erişim tarihi: 12.09.2021.
- Engelman R. (2018). U.S History Scene Web Sitesi, Second Industrial Revolution, <http://ushistoryscene.com/article/second-industrial-revolution/>, Erişim Tarihi: 08.10.2021.
- Ercan T. Ve Kutay M. (2016). Endüstride Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulamaları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimler Dergisi*. ss.599-607
- Filizöz, B., & Orhan, U. (2018). *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*, 19(2), 110-117.
- Fortune, **Akıllı Üretim Çağı: Endüstri 4.0**, <http://www.fortuneturkey.com/akilliuretim-cagi-endustri-40-42841>. Erişim Tarihi: 13.09.2021).
- Garbie, İ. (2016). *Sustainability in Manufacturing Enterprises Concepts, Analyses and Assessments for Industry 4.0*. Switzerland :Springer
- Ghariya S., (2017), *Industry 4.0 Design Principles*
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Thailand: Apress
- Görçün, Ö.F. (2017). *Endüstri 4.0*. İstanbul: Beta Yayınları

- Görkem L. ve Bozuklu M. (2016). Nesnelerin İnterneti: Yapılan Çalışmalar ve Ülkemizdeki Mevcut Durum. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, S.13. ss.63.
- Hermann, M., Pentek, T., and Otto, B., Horst, D.J., Duvoisin, C.A., and Vieira, R.D.A. (2015). *Design Principles For Industrie 4.0*
- (2018). Additive Manufacturing at Industry 4.0 : A Review. *International Journal of Engineering and Technical Research*. 8(8), pp. 3 – 8.
- http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2020.pdf
- <https://magg4.com/dunyada-endustri-4-0a-onculuk-eden-3-ulke-almanya-abd-ve-japonya/>
- Ise, O.A. (2016). Integration and Analysis of Unstructured Data for Decision Making: Text Analytics Approach. *International Journal of Open Information Technologies*. 4(10), pp. 82 – 88.
- Kahraman, F. (2017). *Çalışma İlişkileri Bakımından Dördüncü Sanayi Devrimi ve Sivas İlinde Farkındalık Üzerine Bir Araştırma*. Cumhuriyet Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Sivas.
- Karademir, M. (2016). *Dördüncü Sanayi Devrimi*. http://www.tasam.org/tr-TR/Icerik/25733/dorduncu_sanayi_ adresinden alındı. Erişim Tarihi: 12.12.2021.
- Khan, M. (2006). *Consumer Behaviour and Advertising Management*. New Delhi: New Age International Publishers.
- Kılıç , Ö. E. (2014, Aralık). Robotlar. *Bilim ve Teknik Dergisi* (565) Dergi eki poster, TÜBİTAK:<http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/>

- sites/default/files/posterler/robotlar_poster.pdf
adresinden alındı. Erişim Tarihi: 15.07.2021.
- Koc, T., Teker, S., (2019). Industrial Revolutions And Its Effects On Quality Of Life. *PressAcademia Procedia (PAP)*.V.9. p.304-311
- Küçükkalay, M. (1997). Endüstri Devrimi Ve Ekonomik Sonuçlarının Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi. *Sosyal Bilimler Dergisi*. (2), 51-68.
- Lee J., Kao H., and Yang, S. (2014). *Service Innovation And Smart Analytics For Industry 4.0 And Big Data Environment. Procedia Cirp*: [Url:Http://Www.Sciencedirect.Com/Science/Article/Pii/S2212827114000857]. Erişim Tarihi: 03.03.2021.
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E.R., and Ramos, L.F. (2018). Past, Present and Future of Industry 4.0 - A Systematic Literature Review and Research Agenda Proposal. *International Journal of Production Research*. 55(1), pp. 3609 – 3629.
- Mart 2016, <http://www.tusiad.org/indir/2016/sanayi-40.pdf>. Erişim Tarihi: 04.12.2021.
- McKinsey&Company. *Industry 4.0 : How To Navigate Digitization Of The Manufacturing* sector,https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Operations/Our%20Insights/Industry%2040%20How%20to%20navigate%20digitization%20of%20the%20manufacturing%20sector/Industry-40-How-to-navigate-digitization-ofthe-manufacturing-sector.ashx. Erişim Tarihi: 15.12.2021.

Mishra, B.S.P., and
Pattnaik, K.

(2016). *Introduction To Big Data Analysis*.
Hyperlink“https://www.researchgate.net/publication/321542562_Techniques_and_Environments_for_Big_Data_Analysis_Parallel_Cloud_and_Grid_Computing” Techniques and Environments for Big Data Analysis: Parallel, Cloud, and Grid Computing. pp. 1 – 20.

Ongun M.T.

(2013). *Sanayileşme ve Uluslararası Ekonomik İlişkiler*. 2.Baskı. Gazi Kitapevi.

Optimak.

<https://optimak.com.tr/dunyadaki-endustriyel-robot-kullanim-oranlari-aciklandi/>. Erişim Tarihi: 12.09.2021.

Özdoğan, A.

(2017). *Endüstri 4.0: Dördüncü Sanayi Devrimi ve Endüstriyel Dönüşümün Anahtarı*. İstanbul: Pusula 20 Teknoloji ve Yayıncılık A.Ş.

Özdoğan, O.

(2017). *Endüstri 4.0: Dördüncü Sanayi Devrimi Ve Endüstriyel Dönüşümün Anahtarları*. İstanbul: Pusula.

Özkan, M., Al, A., & Yavuz, S.

(2018). Uluslararası Politik Ekonomi Açısından Dördüncü Sanayi-Endüstri Devrimi’nin Etkileri Ve Türkiye. *Siyasal Bilimler Dergisi*, 1(1), 1-30.

Özkan, T. Ö.

(2019). *A Contemporary Analysis Of Industry 4.0 For Logistics, Supply – Chain Management And Transportation*. Bahçeşehir University, 1-114. İstanbul.

Özsoylu, A.F.

(2017). Endüstri 4.0. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 21(1). 41-64.

- Öztuna, B. (2017). *Endüstri 4.0 :Dördüncü Sanayi Devrimi İle Çalışma Yaşamının Geleceği*. Ankara: Gece Kitaplığı.
- Pamuk, N. S., & Soysal, M. (2018). Yeni Sanayi Devrimi Endüstri 4.0 Üzerine Bir İnceleme. *Verimlilik Dergisi*(1), s. 41-66.
- Pamuk, N. S., & Soysal, M. (2018). Yeni Sanayi Devrimi Endüstri 4.0 Üzerine Bir İnceleme. *Verimlilik Dergisi* (1), s. 41-66.
- Rifkin, J. (2014). *Üçüncü Sanayi Devrimi: Yanal Güç, Enerjiyi, Ekonomiye ve Dünyayı Nasıl Dönüştürüyor*. (çev: Sıral, P., Başekim, M.), İletişim Yayınları.
- Rübman, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). *Industry 4.0: The Future Of Productivity And Growth In Manufacturing Industries*. The Boston Consulting Group.
- Sarikulak, Ö. (2008). *Endüstri Devrimlerinin Performans Göstergelerine Etkilerinin İncelenmesi İle Endüstri 4.0 Analizi*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- Scenarios : A Literature Review. 49th Hawaii International Conference on System
- Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution. The Fourth Industrial Revolution* (1st U.S. E). New York: Crown Publishing Group.
- Sciences (HICSS).
- Siemens Türkiye. (2016). *Endüstri 4.0 Yolunda*. <http://siemens.e-dergi.com/pubs/Endustri40/Endustri40/Default.html#p=1> adresinden alındı. Erişim Tarihi: 05.11.2021.

- Soylu, A. (2018). Endüstri 4.0 Ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımları. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. (32). 43-57
- Sun, J., Peng, Z., Zhou, W., Fuh, J. Y., Hong, G. S. and Chiu, A. (2015). A Review On 3D Printing For Customized Food Fabrication. *Procedia Manufacturing*, (1), 308-319.
- Sürmen, H. K. (2019). Eklemeli İmalat (3b Baskı): Teknolojiler Ve Uygulamalar. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*. 24(2), 373-392.
- Şimşek, T. (2017). Endüstri 4.0 ile Geleceğe Bakış ve Beklentiler. <http://www.endustri40.com/endustri-4-0-ile-gelecege-bakis-ve-beklentiler/>. Erişim Tarihi: 20.07.2021.
- Thomas, D.S., and Gilbert, S. (2014). *Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing*. National Institute of Standards and Technology Technical Report. USA.
- Tunçkan, E. (2018). Endüstrileşme Olgusu Ve Endüstriyel Reklamcılık. *Selçuk İletişim Dergisi*. 5(2). 113-120.
- Tusiad, Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gerekliklik Olarak Sanayi 4.0, Plan ve Bütçe Komisyonu Sunumu. https://www.tbmm.gov.tr/develop/owa/komisyon_tutanaklari.mv_goruntule?pTutanakId=5346, (e.t. 26.12.2021)
- TBMM
- Ulusoy, Y. (2016). 4. Sanayi Devrimini Yaşıyoruz. <http://www.yilmazulusoy.com/tr/makaleler/4.sanayi-devrimini-yasiyoruz> adresinden alındı. Erişim Tarihi: 08.07.2021.

- Ümit Fırat S., Fırat O. (2017). Sanayi 4.0 Devrimi Üzerine Karşılaştırmalı Bir İnceleme: Kavramlar, Küresel Gelişmeler ve Türkiye. *İstanbul: Toprak İşveren Dergisi* . Sayı 114, sayfa: 10-23.
- Üstündağ A., Çevikcan E. (2018). *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. İstanbul: Springer
- Witkowski, K. (2017). İnternet of Things, Big Data, Industry 4.0 Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. *Procedia Engineering*, 182, s. 763-769.
- World Bank. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD> , Erişim tarihi: 19.10.2021
- World Bank. <https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.TECH.CD> , Erişim tarihi: 19.10.2021
- World Bank. <https://data.worldbank.org/indicator/IP.PAT.RESD> , Erişim tarihi: 19.10.2021
- World Bank. <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS> , Erişim tarihi: 19.10.2021
- Xu, X., Wang, L., and Newman, S.T., (2011). Computer - Aided Process Planning – A Critical Review of Recent Developments and Future Trends. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 24(11), pp. 1 – 31.
- Yazıcı, A. (2016). Endüstri 4.0 Ve Otonom Robotlar. http://www.emo.org.tr/ekler/91f2bb2a057879e_e_k.pdf?dergi=1069 adresinden alındı. Erişim Tarihi: 01.03.2021.
- Yazır, S. (2018). *Türkiye'de Bulut Bilişimin Teknolojik Gelişimi Ve Bulut Platformu Üzerinde Örnek Bir Kişisel Web Uygulmasının Sunulması*. Necmettin Erbakan Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.

- Yıldız, A. (2018). Akıllı Fabrikalar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 22(2), 546-556. 80
- Yıldız, S. C. & Fırat, S. Ü. (2020). *Türkiye’deki Üniversite Öğrencilerinin Endüstri 4.0 Bilgi Düzeylerinin Belirlenmesi*. Endüstri Mühendisliği , I.EİM Kongresi , 1-16 .
- Yılmaz, N. (2017). *Almanya’nın Endüstri 4.0 Vizyonu*. <http://www.endustri40.com/almanyain-endustri-4-0-vizyonu>, [Erişim Tarihi: 08.06.2021]

