



ANKARA
HACI BAYRAM VELİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİ VE DÖNGÜSEL
EKONOMİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR İŞLETME
PERFORMANSINA ETKİSİ
ASANSÖR SEKTÖRÜNDE UYGULAMA**

Mevlüt KÖKSAL

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Oğuzhan YAVUZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İŞLETME ANABİLİM DALI
İŞLETME BİLİM DALI**

KASIM 2022



**ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİ VE DÖNGÜSEL EKONOMİNİN
SÜRDÜRÜLEBİLİR İŞLETME PERFORMANSINA ETKİSİ
ASANSÖR SEKTÖRÜNDE UYGULAMA**

Mevlüt KÖKSAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İŞLETME ANABİLİM DALI
İŞLETME BİLİM DALI**

**ANKARA HACI BAYRAM VELİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2022

ETİK BEYAN

Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mevlüt KÖKSAL
10/11/2022

ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİ VE DÖNGÜSEL EKONOMİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR
İŞLETME PERFORMANSINA ETKİSİ
ASANSÖR SEKTÖRÜNDE UYGULAMA
(Yüksek Lisans Tezi)

Mevlüt KÖKSAL

ANKARA HACI BAYRAM VELİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
Kasım 2022

ÖZET

Bu çalışma, Endüstri 4.0 Teknolojileri ile Döngüsel Ekonomi arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu kavramların Sürdürülebilir Performans üzerindeki etkilerini araştırmaya yöneliktir. Endüstri 4.0 Teknolojileri ve Döngüsel Ekonomi 'nin Sürdürülebilir Performans üzerindeki etkisi literatür taraması ve anket çalışmasıyla analiz edilmiştir. Türkiye genelindeki 2772 asansör işletmesine Evet/Hayır, Çoktan Seçmeli ve 5'li Likert Tipli soruların yer aldığı toplam 55 soru yöneltilmiş ve %10,9'luk bir geri dönüş sağlanmıştır. Alınan veriler Yapısal Eşitlik Modellemesi kullanılarak değerlendirilmiş ve analiz edilmiştir. Yapılan analiz neticesinde Döngüsel Ekonomi ile Sürdürülebilir Performans arasında ve Döngüsel Ekonomi ile Endüstri 4.0 Teknolojileri arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Araştırmada ayrıca dolaylı analiz yöntemiyle Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Döngüsel Ekonomi üzerinden Sürdürülebilir Performans'a pozitif ve anlamlı bir etkisi olduğu da saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Sürdürülebilir Performans 'ını artırmak isteyen işletmelerin öncelikle Döngüsel Ekonomi'yi sonrasında Endüstri 4.0 Teknolojilerini uygulamaya geçirmeleri yerinde olacaktır.

Bilim : 110304
Kodu

Anahtar : Sanayi, Ekonomi, Döngüsellik, Performans, İşletme
Kelimeler

Sayfa : 189
Adedi

Tez : Doç. Dr. Oğuzhan YAVUZ
Danışmanı

INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES AND CIRCULAR ECONOMY
IMPACT ON SUSTAINABLE BUSINESS PERFORMANCE
APPLICATION IN THE ELEVATOR INDUSTRY
(M.Sc. Thesis)

Mevlüt KÖKSAL

ANKARA HACI BAYRAM VELİ UNIVERSITY
THE INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
November 2022

ABSTRACT

This study aims to determine the relationship between Industry 4.0 Technologies and Circular Economy and to investigate the effects of these concepts on Sustainable Performance. The effect of Industry 4.0 Technologies and Circular Economy on Sustainable Performance has been analyzed by literature review and survey study. A total of 55 questions including Yes/No, Multiple Choice and 5-point Likert-Type questions were asked to 2772 elevator companies across Turkey and a 10.9% response was obtained. The obtained data were evaluated and analyzed using Structural Equation Modeling. As a result of the analysis, a positive and significant relationship was determined between the Circular Economy and Sustainable Performance and between the Circular Economy and Industry 4.0 Technologies. In the study, it was also determined that Industry 4.0 Technologies had a positive and significant effect on Sustainable Performance through the Circular Economy, with the indirect analysis method. According to the results obtained, it would be appropriate for businesses that want to increase their Sustainable Performance to implement the Circular Economy first and then Industry 4.0 Technologies.

Science :110304
Code

Key Words : Industry, Economy, Circularity, Performance, Business

Page : 189
Number

Supervisor : Assos. Prof. Dr. Oğuzhan YAVUZ

TEŞEKKÜR

Yapılan çalışmada bana tecrübesi ve bilgisiyle yol gösteren değerli hocam Doç. Dr. Oğuzhan YAVUZ'a ve emekleri ve sevgileriyle benim bugünlere gelmemi sağlayan sevgili babam Ahmet KÖKSAL ile sevgili annem Emine KÖKSAL'a ve ablam Esen KÖKSAL ile kız kardeşim Esra KÖKSAL'a teşekkürü borç bilirim, iyi ki varlar.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
TABLoların LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
KISALTMALAR	xi
1.GİRİŞ	1
2.ENDÜSTRİ 4.0.....	5
2.1. Sanayi Devrimleri Tarihi Gelişimi.....	5
2.1.1.Birinci Sanayi Devrimi	8
2.1.2.İkinci Sanayi Devrimi	13
2.1.3.Üçüncü Sanayi Devrimi	17
2.1.4.Dördüncü Sanayi Devrimi	27
2.2.Endüstri 4.0 ve Bileşenleri.....	30
2.2.1.Simülasyon.....	32
2.2.2.Entegre Sistemler	33
2.2.3. Bulut Bilişim Sistemleri.....	35
2.2.4.Artrılmış Gerçeklik	38
2.2.5. 3 Boyutlu Yazıcı (Eklemeli Üretim).....	42
2.2.6.Nesnelerin İnterneti.....	44
2.2.7.Akıllı Fabrikalar.....	53
2.2.8.Siber-Fiziksel Sistemler	59
2.2.9.Büyük Veri.....	64
2.2.10.Otonom Robotlar.....	70
2.3. Türkiye’de ve Dünya’da Endüstri 4.0 Araçları.....	76
2.4. Endüstri 4.0’ın İşletme Bilim Dalında Kullanım Alanları	80
3.DÖNGÜSEL EKONOMİ	85
3.1.Döngüsel Ekonomi Tanımı	85
3.2.Döngüsel Ekonomi Tarihi Gelişimi	87
3.3.Döngüsel Ekonomi Süreci	88
3.4.Döngüsel Ekonomi İlkeleri	94
3.5.Resolve Modeli	98
3.6.Döngüsel Ekonominin Faydaları	101
3.7.Döngüsel Ekonominin Karşılaştığı Engeller.....	106

3.8.Doğrusal Ekonomi ve Döngüsel Ekonomi İlişkisi.....	109
3.9.Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik İlişkisi	118
3.10.Döngüsel Ekonomi ve Endüstri 4.0 İlişkisi	124
3.11.Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir İşletme Performansı İlişkisi	130
4.ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİ ve DÖNGÜSEL EKONOMİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR İŞLETME PERFORMANSINA ETKİSİ.....	137
4.1.Araştırmanın Konusu	137
4.2.Araştırmanın Amacı	137
4.3. Araştırmanın Kapsamı	137
4.4. Araştırmanın Yöntemi	138
4.4.1.Yapısal Eşitlik Modeli	139
4.4.2.Yapısal Eşitlik Modeli Kapsamında Kullanılan Analizler	142
4.4.2.1.Doğrulayıcı Faktör Analizi	142
4.4.2.2.Uyum İyiliği İndisleri.....	142
4.4.2.3.Yapısal Modelin Analizi	143
4.5.Araştırmanın Modeli	143
4.6.Araştırmanın Evreni ve Örneklemi	152
4.7.Araştırmanın Varsayımları.....	152
4.8. Anket Formunun Güvenilirlik Analizi	152
4.9.Anket Formu ve Verilerin Toplanması	154
4.10. BULGULAR.....	155
4.10.1.Katılımcılara Yönelik Sosyo-Demografik Özellikler	155
4.10.2.İşletmelere Yönelik Sosyo-Demografik Özellikler.....	157
4.10.3 Değişkenlere Ait Cronbach's Alfa Değerleri.....	158
4.10.4.KMO (“Kaiser-Meyer-Olkin”) Testi ve Bartlett Testi.....	158
4.10.5.Doğrulayıcı Faktör Analizi	159
4.10.6.Uyum İyiliği İndisleri.....	162
4.10.7.Yol-Regresyon Analizi	163
5.DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	167
KAYNAKÇA.....	171
EKLER.....	183
EK-1: Asansör Firmalarına Uygulanan Anket.....	183
ÖZGEÇMİŞ	189

TABLoların LİSTESİ

Tablo

Sayfa

Tablo 2.1: IoT 'da Kullanılan Temel Veri Aktarım Teknolojileri	48
Tablo 2.2: Geleneksel Fabrika Konseptiyle Akıllı Fabrika Konseptinin Karşılaştırılması.....	58
Tablo 2.3: Siber Fiziksel Sistemlerde Tarihsel Süreç ya da Olgular	61
Tablo 2.4: Siber-Fiziksel Sistemlerin Uygulandığı Sektörler	62
Tablo 2.5: Büyük Veri Kavramının Tarihsel Gelişimi.....	67
Tablo 2.6: Veri Büyüklüklerinin Sayısal Büyüklük Açısından Örneklenmesi	68
Tablo 2.7: Endüstri 4.0 Stratejisi Oluşturan Çeşitli Ülkeler	77
Tablo 2.8: Türkiye’de ve Dünya’da Endüstri 4.0 Uygulamaları ve Araçları.....	79
Tablo 2.9: Endüstri 4.0 Teknolojilerinin İşletme Bilim Dalında Kullanım Alanları	83
Tablo 3.1: Döngüsel Ekonomi Kavramıyla İlgili Tanımlar	87
Tablo 3.2: Resolve Çatı Bileşenleri	99
Tablo 3.3: Doğrusal ve Döngüsel Ekonomi Arasındaki Çatı Farklar	117
Tablo 3.4: Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi Arasındaki İlişki	128
Tablo 3.5: Sürdürülebilir Performans ve Döngüsel Ekonomi Arasındaki İlişki	135
Tablo 4.1: Yapısal Eşitlik Modeli’nde Temel Kavramlar.....	141
Tablo 4.2: Uyum İyiliği İndisleri ve Eşik Değerleri	143
Tablo 4.3: Çalışma Kapsamında Resolve Modeline Yönelik Geliştirilen Öncüller	146
Tablo 4.4: Sürdürülebilir Performans Göstergeleri.....	149
Tablo 4.5: Endüstri 4.0 Göstergeleri	150
Tablo 4.6: Ölçeğin Geneline Ait Cronbach’s Alfa Katsayısı.....	153
Tablo 4.7: Ölçekteki Mevcut Değişkenlere Ait Cronbach’s Alfa Katsayıları	154
Tablo 4.8: Kişi Bazlı Demografik Değişkenlerin Frekans Analizi	156
Tablo 4.9: İşletme Bazlı Değişkenlerin Frekans Analizi	157
Tablo 4.10: Sürdürülebilirlik, Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi’nin Frekans Analizi.....	158
Tablo 4.11: Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ve Bartlett Testi	159
Tablo 4.12: Korelasyon Matrisi ve Ave Değerleri.....	160
Tablo 4.13: Ölçüm Modeli İçin Faktör Yükleri ve Composite Reliability	161
Tablo 4.14: Uyum İyiliği İndislerinin Karşılaştırılması.....	162
Tablo 4.15: Modelin Regresyon Ağırlıklarına İlişkin Verisi	163
Tablo 4.16: Endüstri 4.0’ın Döngüsel Ekonomi Üzerinden Sürdürülebilir Performansa Etkisi	165

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil

Sayfa

Şekil 2. 1: Birinci Sanayi Devriminin Zaman İçerisinde Yayılımı	9
Şekil 2. 2: Watt'ın Buhar Makinesi	11
Şekil 2. 3: Dizel Motorun İşletmelere Getirdiği Avantajlar.....	14
Şekil 2. 4:1900 Yılında Dünyada Sanayi Üretimi.....	17
Şekil 2. 5:1780'lerden Günümüze Sanayi Devrimi Aşamaları	28
Şekil 2. 6: Endüstri 4.0 Sisteminin Alt Sistemleri	32
Şekil 2. 7: IoT Katmanları	47
Şekil 2. 8: Akıllı Fabrika Sistemini Oluşturan Temel Kavramlar.....	55
Şekil 2. 9: Endüstri 4.0 Temel Uygulama Yapısı	77
Şekil 2. 10: Endüstri 4.0'ın İşletmelere Sağlayacağı Faydalar	81
Şekil 3. 1:Döngüsel Ekonomi Akış Diyagramı.....	92
Şekil 3. 2: Resolve Modeli Kullanan Bazı İşletmeler.....	101
Şekil 3. 3:Doğrusal Ekonomi Akış Diyagramı.....	111
Şekil 3. 4: Döngüsel Ekonomi 'nin Akış Diyagramı.....	115
Şekil 3. 5: Sürdürülebilir İşletme Performansı ve Alt Bileşenleri.....	133
Şekil 4. 1: Yapısal Eşitlik Modelinde Temel Kavramlar.....	140
Şekil 4. 2: Yapısal Eşitlik Modeli'nin Uygulama Aşamaları.....	141
Şekil 4. 3: Çalışma Kapsamında Oluşturulan Yapısal Eşitlik Modeli.....	151
Şekil 4. 4: Oluşturulan Anketin Google-Formlar Aracılığıyla Görünümü.....	155
Şekil 4. 5: Yapısal Eşitlik Model'ine göre Modelin Analiz Sonucu.....	164

KISALTMALAR

Çalışmada kullanılan kelimeler açıklamalarıyla aşağıda sunulmuştur.

Kısaltması	Açıklaması
Endüstri 4.0	Dördüncü Sanayi Devrimi
IoT	Nesnelerin İnterneti
CPS	Siber-Fiziksel Sistemler
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla



1.GİRİŞ

Birinci Sanayi Devrimi'yle beraber üretimde kas gücünün yerini makine almış, üretim artmış, işletme sayıları ve üretim kapasiteleri büyümüştür. İkinci ve Üçüncü Sanayi Devrimi ise üretimi daha da arttırmış ve var olan işletmelerin küresel düzeyde büyümesine ve yayılmasına ortam sağlamıştır. Sanayi devrimleriyle beraber ortaya çıkan ve üretilen ürünün çok sayıda olması, mümkün olduğunca satılması ve tüketilmesi felsefesine dayanan “Doğrusal Ekonomi” anlayışı, her ne kadar işletmelerin üretim kapasitelerini arttırsa da tüketim sonrasında oluşan sıkıntıları görmezden gelmiştir. Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0)'nin yaşanmakta olduğu günümüzde, Endüstri 4.0'ın önceki sanayi devrimlerinden farklı olarak makine ve siber dünya arasında haberleşmeyi mümkün kılması ve üretim noktasındaki hata ve kayıpları sıfıra indireceği düşüncesi, var olan ekonomik anlayışa ters bir tutum takınmaktadır.

Doğrusal Ekonomi' nin, tüketim sonucunda oluşturduğu atıkların devasa boyutlara ulaşarak çevreyi kirletmesi, insan ve canlı yaşamında tehlike yaratacak sağlık sorunlarına yol açması, toplumları kültürel ve istihdam noktasında tehdit etmesi gibi nedenler küresel çapta kaygılara yol açmıştır. Oluşan kaygılara uluslararası alanda çözüm olacak bir yaklaşım olan; gelecek nesilleri yaşam hakkından mahrum bırakmadan günümüz insanının ihtiyaçlarını karşılaması olarak adlandırılan ve sosyal, ekonomik ve çevresel boyutları olan “Sürdürülebilirlik” yaklaşımı ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilirlik yaklaşımının insanoğlunun ekonomik gelişimini engellemeksizin, gelişim esnasında oluşan çevresel ve sosyal negatif etkileri mümkün olduğunca en aza indirme gayesi, yaklaşımın temel felsefesini oluşturur. Doğrusal Ekonomi anlayışına yöneltlen eleştirilerin bir sonucu olarak Sürdürülebilirlik temelli yeni alternatifler, ekonomik modeller ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilirlik yaklaşımını baz alan ve ekonomik gelişimin yanında sosyal ve çevresel boyutları da dikkate alan yaklaşımlardan birisi de Döngüsel Ekonomi olmuştur.

Döngüsel Ekonomi 'nin “3R” (Reduce=Azaltım, Reusing=Yeniden Kullanım, Recyling=Geri Dönüşüm) anlayışını baz alarak, ürünlerin atık etiketi almak yerine üretime tekrardan kazandırılması amacı gütmesi, materyal ve enerji çevrimi yoluyla doğadan ham madde çıkarımının önüne geçmesi ve fosil yakıtların kullanımını azaltma düşüncesi, tersine lojistik uygulamaları yoluyla toplumda yeni iş sahaları ve

istihdam yaratma gayesi gibi çalışmalar modelin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlu bir yapı sergilediğini göstermektedir. Döngüsel Ekonomi 'nin sahip olduğu 3 boyutlu göstergelerin belirttiği özellikler, Döngüsel Ekonomi 'nin, var olan mevcut ekonomik anlayışa ters bir yön izlediğini göstermektedir.

Ortaya çıkan Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi anlayışı, toplumlarla beraber işletmelerin de ilgisini çekmeye başlamış ve Sürdürülebilir İşletme Performansı denilen, işletmenin ekonomik performansının yanında çevresel ve sosyal ilişkilerini de değerlendiren bir yaklaşım ortaya çıkmıştır. Endüstri 4.0 Teknolojilerinin üretim hata ve kayıplarını sıfıra indireceği düşüncesi ve Döngüsel Ekonomi anlayışının çevresel, sosyal ve ekonomik alanda işletmeleri destekleyeceği düşüncesi, Sürdürülebilir İşletme Performansı'nın nasıl geliştirilmesi gerektiği sorusunu beraberinde getirmiştir.

Çalışma, Endüstri 4.0 Teknolojilerinin ve Döngüsel Ekonomi modelinin Sürdürülebilir İşletme Performans'ı üzerinde doğrudan ve dolaylı etkilerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde “Sanayi” kelimesinin tanımı verilerek, Dünyadaki değişikliklere neden olan iki büyük dönüşümsel süreçten biri olan “Sanayi Devrimi” nin nasıl oluştuğuna ilişkin bilgi verilmiş sonrasında sırasıyla Birinci, İkinci ve Üçüncü Sanayi Devriminin oluşum aşaması, getirdiği yenilikler ve dönüşümler anlatılmaya çalışılmıştır. Çalışmanın ana bölümlerinden birini oluşturan Endüstri 4.0, meydana gelişi, kavramsallığı ve 10 büyük alt teknolojisiyle beraber açıklanmaya çalışılmıştır. Bölümde ayrıca Endüstri 4.0 Teknolojilerinin işletme bilim dalında kullanım alanları ve ülkemizde ve Dünya’da Endüstri 4.0 çalışmaları hakkında bilgilendirme yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde Döngüsel Ekonomi, tanımı, tarihi, süreci, avantajları, dezavantajları, ilkeleri ve ilkelerden biri olan Resolve modeli açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca, Doğrusal Ekonomi 'yle Döngüsel Ekonomi arasında, Endüstri 4.0 Teknolojileri ile Döngüsel Ekonomi arasında ve Döngüsel Ekonomi ile Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir İşletme Performansı arasındaki ilişkiler irdelenmeye çalışılmıştır. Kavramlar arasındaki ilişkilerin irdelenmesine yönelik olarak daha önce yapılan çalışmalara ait veriler toplanmış, sınıflandırılmış ve tablolara dökülerek kavramlar arasındaki ilişkinin netleşmesi sağlanmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde Sürdürülebilir İşletme Performansı'yla, Döngüsel Ekonomi ve Endüstri 4.0 Teknolojileri arasında ilişkinin belirlenmesine yönelik, Evet/Hayır, Çoktan Seçmeli ve 5'li Likert Tipli soruların yer aldığı bir ölçek geliştirilmiştir. Ölçekte, kavramlar arasındaki ilişkiye ek olarak işletme ve çalışan bazlı sorulara da yer verilmiştir. Oluşturulan ölçekle ülke çapındaki asansör firmalarına yönelik bir alan çalışması yapılmıştır.

Alan çalışması sonucunda elde edilen verilerden hareket edilerek Amos programı aracılığıyla, “Yapısal Eşitlik Modeli” oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin analiziyle beraber kavramlar arasındaki ilişkilerin boyutu tespit edilmiştir. Ayrıca kavramlar arasındaki ilişkilere yönelik değerlendirme yapılmış ve konuya ilişkin önerilere yer verilmiştir.



2.ENDÜSTRİ 4.0

Endüstri 4.0 bölümünde, kronolojik bir çerçevede sanayi devrimlerinin oluşma aşamaları, nasıl bir gelişim süreci izledikleri ve nasıl değişikliklere kapı araladıkları verilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın ana kapsamını oluşturan Endüstri 4.0, oluşum aşaması yönünden ve barındırdığı ileri teknolojik katmanlar yönünden incelenmiştir. Endüstri 4.0, diğer devrimlerin aksine sahip olduğu 10 teknoloji katmanından meydana gelmekte olup, teknolojik katmanların anlaşılması, devrimin sahip olduğu düşüncenin de anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

2.1. Sanayi Devrimleri Tarihi Gelişimi

Endüstri kelimesi köken olarak Latince'deki "İndustria" sözcüğünden gelmekle beraber Fransızca'ya bu kavram "Industrie" şeklinde girmiştir. Türkçede ise çoğunlukla Fransızca'da kullanıldığı gibi "Endüstri" kavramı tercih edilmektedir. (Kıraç, 2001: 1). Türk Dil Kurumu'nda ise "Endüstri" sözcüğü, "Sanayi" kelimesine karşılık gelmektedir (<https://sozluk.gov.tr/>, Erişim tarihi:15.03.2021). Endüstri kavramı, "Genel olarak büyük ölçekli işletmelerin, hammaddelerden hareketle bir mamul madde oluşturmak için yaptığı her türlü faaliyet ve kullandıkları ekipman" olarak düşünülebilir. Tek bir işletme boyutundan ziyade, geniş bir açıdan bakıldığında ise "Endüstri" kavramının, her türlü ürün ve hizmet üretimine karşılık geldiği söylenebilir (Tunçkan, 2008: 114). Endüstri kelimesi sadece üretim anlamına gelmemekte, aynı zamanda üretilen malların ve hizmetlerin tüm farklı biçimleri anlamına da gelmektedir (Aliyu, 2018: 1).

Güran (2013: 9); insanoğlunun ekonomi tarihini, uzun periyotlu ekonomik büyümeyi mümkün kılan ve toplumların ekonomik göstergelerini temelden etkileyen iki köklü değişikliğe dayandırmış ve bunlardan ilkinin "Tarım Devrimi" olarak belirtmiş diğerini ise "Sanayi Devrimi" olarak açıklamıştır. İnsanoğlunun ekonomi tarihi üzerinde tarım ve sanayi olgusunun ön planda olduğunu ileri süren bir başka araştırmacı ise Maney (2013)'dür. Maney, 2013 yılında Forbes dergisinde kaleme aldığı makalesinde ekonomik devrimleri ikiye ayırmış, bunlardan birisini "Tarım Devrimi" olarak diğerini ise "Sanayi Devrimi" olarak belirtmiştir. Maney (2013), ayrıca her iki devrimin insanlara, yiyecekleri ve hizmetleri temin etmede güçlü yollar sunacak çözüm arayışlardan ortaya çıktığını belirterek devrimleri de kavramsal olarak birbirlerine

yakınlaştırmıştır (<https://www.forbes.com/sites/economane/2013/03/01/the-biggest-story-of-our-lives-economic-revolution/?sh=61d3c6654e6d>,Erişim tarihi:21.03.2022).

Dünya'nın koşullarında iletişimsizliğin hüküm sürdüğü ve toplulukların birbirinden habersiz olduğu yaklaşık MÖ 10500 ile 6000 yılları arasında meydana gelen ve topluluklarda değişik zamanlarda ortaya çıkan, toplulukların göçebe ve avcı toplayıcı yaşam tarzından tarımsal ve hayvansal kaynaklı bir yaşam tarzına geçişini ifade eden devrimsel boyuta "Tarım Devrimi" denilmektedir (Sadowski, 2017: 1). Tarım devrimi beraberinde yeni bir ekonomik değişikliğe neden olmuş, insanoğluna kendi doğal çevresinden yararlanma imkânı tanımış ve bitkileri ve hayvanları kontrol altına almasını sağlayarak, yiyecek kaynaklarına daha güvenli ulaşmasını sağlamıştır (Güran, 2013: 9).

Ekonomi tarihinde bahsedilen köklü değişikliklerinden bir diğeri ise "Sanayi Devrimi" dir. Temel olarak üretimin; tarım ya da hayvancılık üzerine kurulu bir ekonomi anlayışından ya da sisteminden makine temelli bir ekonomi anlayışına ya da sistemine geçişini ifade eden kavrama "Sanayi Devrimi" denilmektedir (<https://www.britannica.com/event/Industrial-Revolution/The-first-Industrial-Revolution>, Erişim tarihi:20.03.2022). Sanayi Devrimi'yle beraber insanların bir ürün üretmek için saatlerce ve zor şekilde çalışmalarına ve üretim işini gerçekleştirmek için gerekli olan iş enerjisini kendilerinden ya da sahip oldukları hayvanların kas gücünden sağlamalarına gerek kalmamıştır. Sonuç olarak, makineler üretim sürecinin yerini almış ve insanoğlunun yaşamını değiştirecek bir dönemeç yaratmıştır (Margaret, 2016: 12).

Sanayi Devrimi'nden önce Dünya'nın genel ekonomik durumu incelendiğinde, ekonomik yapının daha çok el işçiliği üretimine ve tarıma dayandığı görülmektedir (Stearns, 2018: 21). Sanayi Devrimi'nin başladığı İngiltere'de insanların çoğu toprakta çalışmıştır. Yeni kıtanın keşfiyle beraber deniz aşırı yerlerden patates, kakao, mısır gibi yeni tür yiyecekler gelmiş, insanlar ise yeni kıtadan gelen yiyecekleri yetiştirerek, öncelikli olarak hayvanlarını beslemişlerdir. Sonuç olarak, tarıma ilave olarak hayvancılık da gelişme göstermiş ve İngiltere Sanayi Devrimi'ne tarım ve hayvancılık yönünden güçlü girmiştir (https://www.coreknowledge.org/wpcontent/uploads/2018/04/CKHG_G6_U5_IndRe

v_SR.pdf, Erişim tarihi:16.09.2021). Üretim ilişkileri Sanayi Devrimi öncesinde, toprağa sahip olan sınıf ile topraktan yoksun ya da emeğiyle işçilik yapan kesim arasında ilişki olarak ortaya çıkmıştır. Üretilen ürünlerin büyük bir kısmı iç pazarlarda tüketilmiş, dış pazarlara gönderilen ürün miktarı ise hem ilkel taşımacılık yüzünden hem de deniz taşımacılığı dışında diğer taşıma türlerinin tam gelişmemiş olmasından dolayı sınırlı kalmıştır. Kentlerde yoğun bir iş gücü mevcut olmakla beraber, nitelikli olmaktan çok uzaktır. Ayrıca işgücünün büyük çoğunluğunu köylerden göç eden köylü kesimi oluşturmuştur. Sanayi Devrimi öncesinde, taşımacılık henüz istenen düzeye gelememiş, üretimden, tedariğe ve tüketim süreçlerine kadar birçok iş akışı sınırlı kalmıştır. İş akışlarının sınırlılığı ise üretim yapan işletmelerin büyüyerek atölye tipi üretimden fabrika düzeyli üretime geçmelerine mâni olmuştur. (Görçün, 2020: 10-11).

Tahmini 1750 ile 1760 yılları arasında İngiltere de ortaya çıkan ve 80 yıla yakın süren Birinci Sanayi Devrimi, insan emeğine ve hayvan gücüne dayanan işgücü teknolojisini, makine dönüşümüne evirerek, insanoğlunun tarihindeki en çarpıcı dönüşümü yaratmıştır. Birinci Sanayi Devrimi, sadece üretim odaklı bir gelişme getirmemiş, ulaşımın ve iletişimin kayda değer gelişmesinde, finansal ve bankacılık sisteminin büyümesinde, ölüm oranlarını azaltarak ve verimliliği arttırarak nüfusun kayda değer şekilde yukarı yönlü ilerlemesinde de etkili olmuş ve çok yönlü bir dönüşümü beraberinde getirmiştir (Haradhan, 2019b: 1). Birinci Sanayi Devrimi, ekonomi alanında önemli değişime yol açarken sadece bununla kalmamış, insanların yaşayışından, eğlenme şekillerine, politik konulara kadar birçok değişikliklere de neden olmuştur (Stearns, 2018: 1).

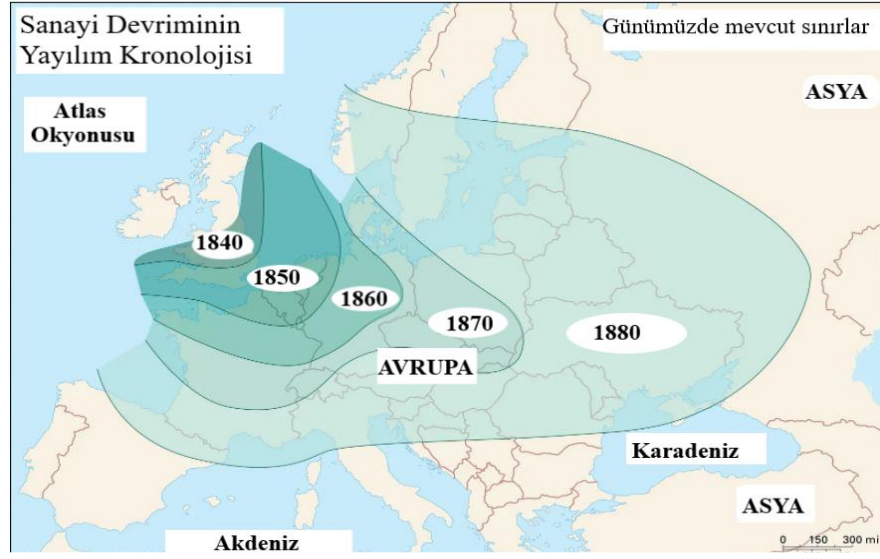
İngiltere'nin sahip olduğu demir ve kömür rezervleri, kolonileşerek ticareti canlandırmaları ve istikrarlı politik yapıları, Birinci Sanayi Devrimi'nin İngiltere'de oluşmasına zemin hazırlamıştır. Sahip olunan olanaklarla İngiltere'de üretim artmış, talebi karşılamak için ise teknolojik gelişimler ön plana çıkmaya başlamıştır. (Özdoğan, 2019: 4).

Birinci Sanayi Devrimi'ni kitlesel üretime öncülük eden, elektriği ortaya çıkaran ve üretime dahil eden, montaj hattı düzeneğini ön plana çıkaran İkinci Sanayi Devrimi izlemiş, akabinde "Dijital Devrim" diye de ifade edilen ve yarı iletkenlerin gelişimiyle birlikte bilgisayarın ve internetin ortaya çıktığı Üçüncü Sanayi Devrimi takip etmiştir (Schwab, 2016: 11).Gelişen süreçte yaşanan sanayi devrimleri sadece üretimdeki

değişimlere etki etmemiş, aynı zamanda toplumları sosyal ve psikolojik olarak etkilemiş, refah seviyelerinde ise dramatik köklü değişikliklere neden olmuştur. İngiltere’de doğan Birinci Sanayi Devrimi akabinde İkinci ve Üçüncü Sanayi Devrimlerini getirmiş, sanayileşme hızı tüm Avrupa ve diğer ülkelere yayılmıştır. Endüstri 4.0 ise önceki sanayi devrimlerden farklı olarak Almanya’da ortaya çıkmış ve gelişme imkânı bulmuştur (Özdoğan, 2019: 4-30). Günümüz dünyasında, sanal ve fiziksel üretim sistemlerinin esnek bir yolla birbirleriyle haberleşmek suretiyle iş birliği yaptığı ve küresel değer zinciri organizasyonunu köklü bir değişime uğratma amacı güttüğü Dördüncü Sanayi Devrimi süreci yaşanmaktadır (Schwab, 2016: 11-12).

2.1.1.Birinci Sanayi Devrimi

Birinci Sanayi Devrimi, İngiltere’de ortaya çıkan ve insanoğlunu Neolitik Çağ’dan şimdiye kadar en derin şekilde etkilediği bilinen bir dönüşüm süreci olarak kabul edilir (Neuss, 2015: 1). İnsan ve hayvan gücüne dayalı üretim biçiminden makine kullanımının ön plana çıktığı üretim biçimine geçişi ifade etmektedir (Küçükkalay, 1997: 52). Birinci Sanayi Devrimi’nin ortaya çıkışı uzun bir zaman aralığını kapsamasına rağmen çoğu tarihçiye göre genel olarak 18.yy’ın ikinci yarısında İngiltere’de başladığıyla ilgili genel bir kanı vardır. Birinci Sanayi Devrimi ile birlikte sanayileşen İngiltere, 1850’lilere gelindiğinde en zengin ülke konumuna yükselmiştir. Zamanla Sanayi Devrimi kıta Avrupa’sına yayılmış, 19.yy’a gelindiğinde ABD ve Almanya dünyada en gelişmiş sanayiye sahip ülkeler olmuştur (Spielvogel, 2013: 597). Birinci Sanayi Devrimi’nin coğrafi olarak yayılması **Şekil 2.1**’de gösterilmektedir. **Şekil 2.1**’de Birinci Sanayi Devrimi’nin coğrafi olarak ilk kez İngiltere’de ortaya çıktığı ve zaman içerisinde Avrupa kıtasına yayıldığı görülmektedir.



Şekil 2. 1: Birinci Sanayi Devriminin Zaman İçerisinde Yayılımı
Kaynak: (<https://www.britannica.com/event/Industrial-Revolution/The-first-Industrial-Revolution>, Erişim tarihi: 20.03.2022)

Birinci Sanayi Devrimi'nin İngiltere'sinde devrime kaynaklık eden gelişmeler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Spielvogel, 2013: 597-598);

- tarımsal üretimin özellikle 17.yy'da artarak, ürünlerin fiyatlarında düşüşü sağlamasıyla, halkın daha çok imal edilmiş ürünler almalarının olanaklı hale gelmesi,
- nüfusun sanayi devrimiyle artarak kurulacak fabrikalar için bir işçi havuzu oluşturması,
- tarımdan ve ticaretten gelen sermayenin değerlendirilmesi ve bankacılık sektörünün faaliyet alanının genişlemesi dolayısıyla, fabrika kuracaklara teşviklerin önünün açılması,
- özellikle üretim işlerinde ihtiyaç duyulan metal ve kömür gibi madenler yönünden zenginlik ile ulaşım yönünden ülkenin birbiriyle bağlantısının sağlanması yolundaki çabalar ve hükümetin özel mülkiyeti koruma yönündeki çalışmaları.

Görçün (2020: 12), Birinci Sanayi Devrimi'ne kaynaklık eden gelişmelerden özellikle ikisine dikkat çekmiştir. Ona göre devrime kaynaklık eden gelişmelerden birisi, burjuva sınıfının yaptığı ticaret ve endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan sermaye

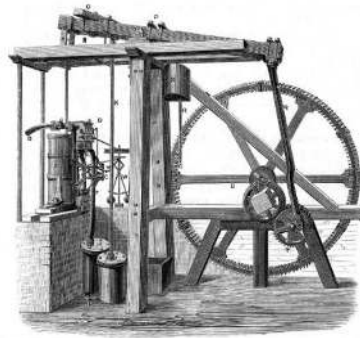
birikimiyken diğeri ise bilimsel birikim sonucu teknoloji alanında yaşanan gelişmelerdir

Birinci Sanayi Devrimi'nin James Watt'ın icadıyla beraber başlayan bir dönem olarak kabul edilmesi buhar makinesinin devrim için önemini ortaya koymaktadır (Üskent, 2006: 1). Buhar makinesinin icadına gidilen yolda birçok araştırmacı buhar makinesinin gelişmesine katkı sağlamıştır. Bu alanda atmosferik basınç bazlı düşünmeyle “Otto von Guericke” öncü olmuştur. Guericke iki yarım küre deneyi yaparak, “Atmosferik buhar makinesi” düşüncesinin önünü açmıştır. 1671 yılında ise bir başka araştırmacı olan “Denis Papin”, buharı kullanarak bir piston altında vakum oluşturmuş ve buhar makinesi için gerekli prensipleri tanıtmıştır. 1699 yılına gelindiğinde ise İngiliz ordusunda çalışan bir mühendis olan “Thomas Savery” tarafından ilk tam ölçekli atmosferik buhar makinesi geliştirilmiştir. Atmosferik buhar makinesi, temelde bir madenden suyu boşaltmak üzere tasarlanmıştır ve suyun ısıtılarak buhar üretileceği bir bölmeden oluşmuştur. Üretilen buhar buradan bir buhar valfi aracılığıyla başka bir bölmeye geçerken sonrasında soğutulmasıyla da suyu çeken bir vakum yaratmıştır. 1712 yılında bir İngiliz demirci olan “Thomas Newcomen” buhar makinesini daha da geliştirerek pratik bir nitelik kazandırmıştır (Clark, 2005: 27). Buhar makinesinden başlangıçta kömür ocaklarındaki suyu dışarı atmada yararlanılmış ve makineye güç sağlamak için kömür kullanılmıştır. Buhar makinesinin işlevini daha da geliştirerek üretim işlerine dahil eden ise “James Watt” olmuştur. James Watt 1776 yılında buhar makinesini geliştirerek üretim endüstrisinden, ulaşım kadar birçok yerde kullanılmasının önünü açmıştır. Birinci Sanayi Devrimi'ne damga vuran önemli bir icat olan buhar makinesinin **Şekil 2.2**'de bir temsili verilmiştir (Mohajan, 2019: 377-378).

Birinci Sanayi Devrimi'nin başlangıç noktası olarak buhar makinesini baz almasının nedeni ise tekstil endüstrisinde yünün yerini pamuğun alması ve pamuğun o dönem dünya ticareti açısından daha büyük talep görmesidir. İnsan emeğinin tekstilde artan talebi karşılamada yetersiz kalması üzerine buhar gücü talebi karşılamada başarılı olmuştur (Görçün, 2020: 13). Birinci Sanayi Devrimi'yle buharlı makineler birçok alanda kullanılma imkânı bulmuştur. Kömür ocaklarında daha derinlerden kömür çıkarılmasında, sanayi sektöründe kas gücünün yerini almasında, taşımacılık alanında hem lokomotiflere entegre edilerek, demir ve kömür gibi hammaddelerin İngiltere'nin

her yerine taşınmasında hem de zamanla gemilerde kullanılmasıyla ithalatın daha ucuza gerçekleşmesinde önemli katkılar sunmuştur (<http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/kok/iktisattarihiau235.pdf>, Erişim tarihi:24.10.2021). Birinci Sanayi Devrimi'nde buhar makinesi önemli bir rol oynamasına rağmen, Birinci Sanayi Devrimi'nde icat edilen tek şey değildir. Birinci Sanayi Devrimi'ne çok sayıda bilim insanı birçok buluşa imza atarak katkıda bulunmuştur. Bazılarına aşağıdaki gibi örnekler verilebilir (Özdoğan, 2019: 4-5):

- James Hargreaves-Bulduğu dönen bir motoru iplik makarası üretimde kullandı.
- Robert Fulton-İlk ticari vapuru üretti.
- Richard Trevithick-Demir yolunda gidebilen ilk buhar lokomotifini üretti.
- Edmund Cartwright-Bez dokumada kullanılan özel bir tezgâh tasarladı.



Şekil 2. 2: Watt'ın Buhar Makinesi

Kaynak: (<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/sanayi-devriminin-itici-gucu-wattin-buhar-makinesi>, Erişim tarihi:21.10.2021)

Birinci Sanayi Devrimi incelendiğinde döneme damga vuran materyallerin pamuk, kömür ve çelik olduğu görülür (Görçün, 2020: 15). Pamuk ürünü ve pamuk ürünün işlendiği tekstil endüstrisi, Birinci Sanayi Devrimi'ni yürüten ana itici güç olmuştur. İngiliz sömürgelerinde pamuğun çok olması ve gelişen sanayiyle birlikte İngiltere'ye gelen pamukların nihai olarak tekstil sektöründe işlenmesi, İngiltere'yi Dünya'da ekonomik açıdan çok büyük bir güç haline getirmiştir(http://docs.neu.edu.tr/staff/erdal.yavuz/13%20.%20The%20Industrial%20Revolution%20and%20Consequences_13.pdf, Erişim tarihi:25.03.2022). Bir diğer materyal olan çelik maddesi ise buhar makinesinin geliştirilmesine kaynaklık etmiş ve demiryollarının yapılmasını sağlamıştır. Kömür ise buhar makinelerinde, demir-çelik

endüstrisinde ve demiryollarında enerji kaynağı olarak kullanılmıştır (Clark, 2005: 38-39).

Binlerce işçinin bir araya gelerek ortaya çıkarabileceği bir ürünün, makine ile üretimi olanaklı hale gelmiş, tekstil ürünlerinin üretim arzında artış sağlanmış, dolayısıyla ürünlerin birim maliyetinde geçmişe kıyasla önemli miktarda azalma yaşanmıştır. Kas gücünün yerini alan makinelerin yoğun bir şekilde kullanılması, üretim yerlerinin yapısında da değişikliğe neden olmuş, kas gücüne dayanan imalathaneler fabrikalara dönüşmüştür (Koca, 2020: 4535). Döneme taşımacılık anlamında ürünleri ve ham maddeleri daha uzak coğrafyalara taşıyabilme kapasitesiyle demir yolları damga vurmuştur. Bir diğer önemli ulaşım türü denizyolu ise daha uzak coğrafyalara ulaşmada belirsiz bir ikili olan rüzgâr gücü ve insan gücüyle kaybettiği konumunu buhar makinelerinin deniz yollarına entegrasyonu ile tekrardan elde etmiştir (Görçün, 2020: 19).

Birinci Sanayi Devrimi'ni ihtiyaç duyduğu işçi kaynağını; ekonomik anlamda Sanayi Devrimi'yle çözülen tarım sektöründen sağlamış, gelen işçi ise makinelerin kontrolü altına girmiştir. Böylece emek-yoğun üretimden, sermaye yoğun üretime doğru bir kayma olmuştur. Hâl böyle iken, işçi kesiminin aldığı ücretlerin düşük olması, yaşam standardı açısından onları zorlamıştır. Hızlı sanayileşmeyle birlikte kentler plansız ve politikasız bir şekilde büyürken kentler ve kasabalar arasındaki farklar artmıştır. Kentler ticari ve sanayi faaliyetlerin merkezi olurken, Londra da Avrupa'nın en büyük şehri olmuştur. Birinci Sanayi Devrimi'yle tıp alanında yaşanan gelişmeler ölüm oranlarında düşüşlere ve doğurganlık oranlarında artışa neden olurken, nüfus ise çarpıcı şekilde artmıştır. 1800 yılında 8,62 milyon olan İngiltere nüfusu 1900 yılına geldiğinde, büyük bir artış göstererek 30,25 milyona ulaşmıştır (Haradhan, 2019b: 10-13; Küçükkalay, 1997:62; <https://ourworldindata.org/grapher/population-of-england-millennium>, Erişim tarihi: 21.10.2021).

Birinci Sanayi Devrimi sosyolojik, politik ve ekonomik açıdan yarattığı değişiklikler ve sonuçlar itibarıyla tarihte bir dönüm noktasıdır. Toplumsal, siyasal ve ekonomik ilişkilerde derinden değişikliklere neden olmuş, teknolojik yeniliklerin ve bilimsel kaynaklı bilgilerin gelişmesine ortam sağlamıştır. Ulaşımdan, tarıma, istihdamdaki artıştan, yaşam standartlarına kadar derin bir etkiye sahip olan Birinci Sanayi Devrimi, diğer devrimlere ön ayak olması yönünden ve dünyanın küreselleşme yolunda atılan

ilk adımı olması yönünden önem arz etmektedir (Haradhan, 2019b: 14; Salğar, 2018: 114).

2.1.2.İkinci Sanayi Devrimi

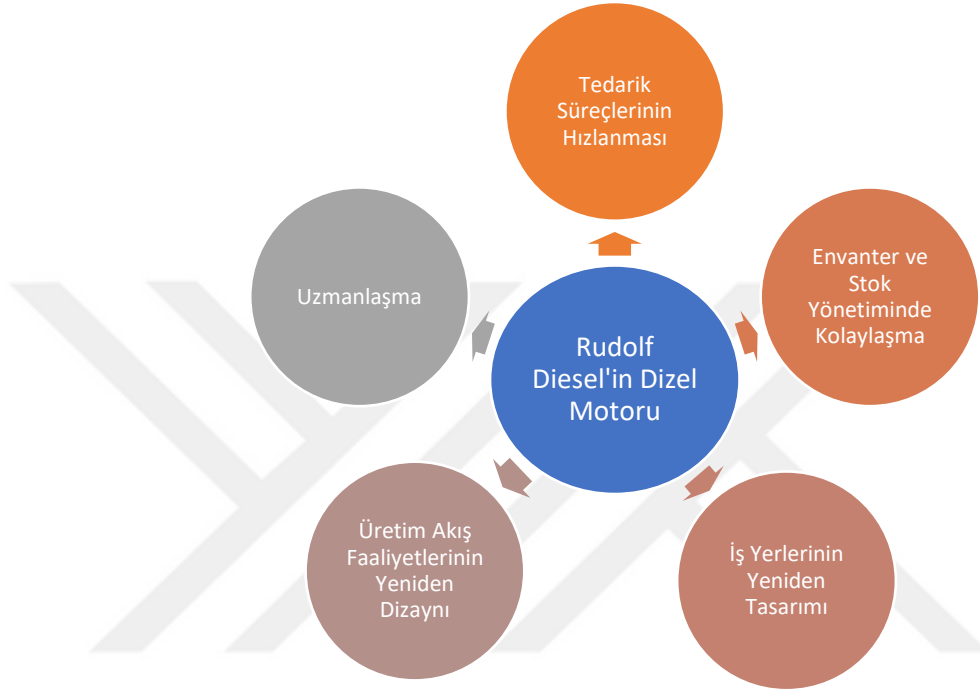
İkinci Sanayi Devrimi ilk defa Patrick Geddes tarafından 1910 yılında tanıtılsa da kavramı ilk kullanan kişi Erick Zimmerman olmuştur. İkinci Sanayi Devrimi, ilk devrimden farklı olarak İngiltere'nin yanı sıra Almanya, Amerika, Fransa, İtalya ve Japonya'da gelişim göstermiştir (Yavuz, 2021: 55). Elektrikli motor ile petrolü kullanan içten yanmalı motorlar, telefon ve telgraf gibi üretim teknolojileri İkinci Sanayi Devrimi'nde kullanılmaya başlanmıştır. 1870'lerden itibaren elektriğin gücünün fark edilmesi ve petrolün enerji kaynağı olarak motorlara uygulanması neticesinde, elektrik motorları ortaya çıkmış ve aydınlatma, telgraf ve fabrika üretim süreçlerinde değişimler meydana gelmiştir (Altıntaş ve Öcal, 2018: 2071). İkinci Sanayi Devrimi süresince, dünya bir miktar daha küreselleşmiş, işçi kesiminde başlayan uzmanlaşma farklı bölümlere ayrılmış, işletmelerin bölümlerinden biri olan üretim ve organizasyon yapıları değişime uğramıştır (Özdoğan, 2019: 6).

Daha önce bilinen bir madde olan petrol, endüstriyel bir materyal haline gelmiş ve enerji kaynağı olarak kömürün yerini almıştır. Petrolün kömürün yerini almasında kömüre karşı çeşitli üstünlükleri rol oynamıştır. Bu üstünlüklere (Görçün, 2020: 51-53):

- Petrolün kömüre karşı akışkan olması,
- Taşınmasının ve depolanmasının kolaylığı,
- Kömüre göre daha yüksek kalori değerine sahip olması,
- Enerji kaybının daha düşük olması, örnek verilebilir.

Buharlı makinelerin zaman içinde verimlilik konusunda isteneni verememeleri, çalışma esnasında sudan dolayı duruşlar yaşanması, denetim ve onarım maliyetlerinin fazla olması gibi etkenler farklı arayışlara neden olmuştur. 1897 yılında Rudolf Diesel adıyla özdeş "Dizel" motoru geliştirmiştir(<https://www.bressingham.co.uk/blog/posts/2017/why-did-diesel-replacesteampower.aspx#:~:text=Firstly%20the%20diesel%20engine%20has,greater%20distances%20between%20refuelling%20stops>, Erişim tarihi:06.04.2022). Dizel motorların kömür yerine petrolü kullanmaları ve ikmal için duruşlara sebebiyet

vermemeleri, boyutlarının buharlı makinelerle göre küçük olmaları dolayısıyla üretim alanlarında geniş yerler açmaları gibi etkenler, **Şekil 2.3**'de gösterildiği gibi işletmelere çeşitli avantajlar getirmiştir. Kısa zamanda fabrikalardaki tüm makineler petrolle çalışan içten yanmalı motora sahip olurken, buharlı makineler ise yavaş yavaş tarih sahnesinden çekilmiştir (Görçün, 2020: 54-58).



Şekil 2. 3: Dizel Motorun İşletmelere Getirdiği Avantajlar

Kaynak: (Görçün, 2020: 54-58)

İkinci Sanayi Devrimi'yle beraber uzmanlaşmanın artmasına rağmen, işçilerin iş yerinde dağınık ve organize olmayan davranışlar sergilemeleri, işlerin istenen şekilde yapılmasını engellemiştir. Kargaşayı ortadan kaldırmak için Taylorizm ve Fordizm gibi üretim metodolojisine kaynak teşkil eden yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir (Görçün, 2020: 58). 19.yy. sonlarında Amerika'da ortaya çıkan Taylorizm yaklaşımı, üretim fonksiyonunun her aşamasının yönetim tarafından kontrol edildiği bir yaklaşım olmuştur. Taylorizm yaklaşımında üretim süreçleri bölümlere ayrılarak, her işçinin tek bir alanda uzmanlaşması hedeflenmiştir (Koca, 2020: 4537). İkinci Sanayi Devrimi'nin işletmelere getirdiği yeniliklerden birisi teknolojik gelişmeler olurken diğeri ise işletme literatürüne kazandırdığı bilimsel yönetim ilkeleridir. Frederick W. Taylor 1911 senesinde "Bilimsel Yönetim İlkeleri" adlı eserini yayınlamış ve işçilerin verimli çalışmadıkları noktasına eğilmiştir. Taylor eserinde işçilerin iş edimi sırasında

gereksiz harekette bulunduklarını ve işçilerin dinlenme sürelerinin iyi ayarlanmamasının ise işçilerde verim kaybına ve yorgunluğa sebebiyet verdiğini belirtmiştir. Taylor, işçilerin zaman kayıplarını telafi etmek ve verimliliklerini arttırmak için kömür ocaklarında zaman ve hareket analizleri yapmış ve işin en iyi yapılış şekliyle ne kadar zamanda tamamlanması gerektiğini hesaplamıştır (Yavuz, 2021: 56). Taylor'un işçiden ve işten beklentisini belirten, "Bilimsel Yönetim İlkeleri" aşağıda verilmiştir (Yavuz, 2021 :56-57; Litter, 1978: 188-189):

- Yapılacak işi en ince ayrıntısına kadar indirgenerek basitleştirilmeli ve standart hale getirilmelidir.
- Bireysel yapılan işi tek görevle sınırlandırmak.
- İşler gelişigüzel değil, bilimsel metotlara göre yapılmalıdır.
- Çalışanın yapılacak işi kendisine göre yapması engellenmeli ve planlama yapılmalıdır.
- Yapılacak iş de beceri gereksinimleri ve iş öğreniş süreleri minimuma indirilmedir.
- Malzeme taşıma ve aktarma durumları minimuma düşürülmelidir.
- Zihinsel işlerle fiziksel işleri yapanların birbirlerinden ayrılması.

Taylorizm yaklaşımdan verimlilik elde edildiyse de bitirilen işlerin başka bir tezgâha aktarımı sırasında ciddi zaman kayıpları yaşanmıştır. Henry Ford, Taylorizm akımını benimsemekle beraber Taylorizm yaklaşımı revize etme yoluna gitmiştir. Taylorizm sadece emek faktörüne odaklanırken "Fordizm" emek faktörünün yerine makineyi esas almıştır. Henry Ford otomobil üretiminde yapılan işleri somun ya da vida sıkma düzeyine kadar mikro parçalara ayırmıştır. Henry Ford'un yaptığı en büyük yeniliklerden birisi iş akışı süreçlerinde yaşanan kaybı önlemek olmuştur. Band Tipi Üretim Sistemi (Montaj hattı) adı verilen yöntemde araç bir üretim bandının üzerinde hareket ediyor, geldiği her iş istasyonunda işin uzmanı işçiler tarafından gerekli operasyon yapılıyor, süreç montaj hattının sonuna kadar devam ediyordu. İşlemlerini tamamlayan otomobil banttan iniyor, böylelikle karmaşa son buluyordu (Görçün, 2020: 58:63; Litter, 1978: 188-189). Montaj hattı aracılığıyla üretilen "Model T", birçok Amerikan vatandaşını otomobil sahibi yapan ilk model olarak tarihe geçmiştir (Özdoğan, 2019: 7-8). Henry Ford getirdiği sistemle işçilerden kalifiye nitelikleri

olarak onları standartlaştırmış, üretim sisteminin işçilerin niteliklerine olan bağımlılığını azaltmak istemiştir. İşçilere olan bağımlılığı azaltan, katı iş bölümü ve son derece farklılaştırılan iş süreçleri oluşturulmuştur (Koca, 2020: 4538).

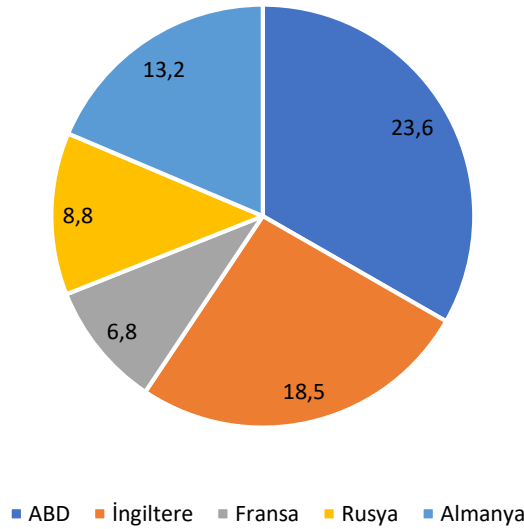
İkinci Sanayi Devrimi'ne damga vuran, fosil yakıtların yerine elektrik enerjisinin kullanılmasıdır. Önceleri de bilinen, ancak sadece aydınlatma amaçlı kullanılan elektrik enerjisi; elektrik alanında yapılan ciddi çalışmalar ve elektrik motorlarının ortaya çıkmasıyla, endüstri sahiplerinin elektrik enerjisi türüne karşı mesafeli duruşlarını sonlandırmıştır. Elektrik enerjisinin fosil yakıtlara göre daha kontrol edilebilir oluşu, üretim bantlarının istenildiği şekilde hareket ettirilerek otomatik ya da yarı otomatik şekilde kullanılması, elektrik enerjisine olan ilgiyi bir adım öne geçirmiştir (Görçün, 2020: 76). Amerikalı mucit Thomas Edison elektrikli ampülü ve elektrik temelli dinamoyu icat ederek elektrik alanına katkı yapmıştır (Haradhan, 2019a: 2). Michael Faraday'ın keşifleri ile elektrik enerjisi teknolojiye kullanılmaya başlanmış, böylece seri üretim kapasitesi artarken üretimin maliyeti ise gerilemiştir (Özdoğan, 2019: 7).

İkinci Sanayi Devrimi kapsamında demir-çelikten kimyaya, elektrikten, otomasyon ve üretim hatlarına, havacılıktan, telekomünikasyona kadar çok sayıda endüstri sektöründe büyüme gözlemlenmiştir. Havacılık alanında 17 Aralık 1903 yılında Amerikalı Wilbur ve Orville Right 12 saniyelik uçuşla, tarihte uçağı kullanan ilk insanlar olmuşlar ve havacılık sektörünün önünü açmaya katkı sağlamışlardır (Özdoğan, 2019: 11-12). Oliver Evans, James Watt'ın buhar makinesinden daha güçlü bir buhar makinesi tasarlarırken, Elias Howe isimli Amerikalı ise ilk dikiş makinesini bulmuştur. Telekomünikasyon alanında Amerikalı bilim adamı Graham Bell "Alo" diye hafızalara kazınacak olan telefonu icat ederek haberleşmeyi sesli yola dönüştürürken, Samuel Morse ise mesajların elektrik sinyalleriyle iletildiği, hızlı haberleşme sistemi olan telgrafi icat etmiştir. Her iki yapılan keşifle haberleşme alanındaki mesafeler ortadan kalkmaya başlamıştır. İngiliz makine mühendisi Charles Babbage, tarihte ilk defa mekaniksel bilgisayar icat ederek bilgisayarın babası unvanını almıştır (Haradhan, 2019a: 2-9).

İkinci Sanayi Devrimi'nde insanların maddi imkanlarının artması ve sağlık ve teknoloji alanında yaşanan gelişmeler toplumsal iyileştirmelere kapı aralamıştır (Özdoğan, 2019: 11). Fransa'da 1800 yılından 1900 yılına gelene kadar bebek ölüm

oranlarında %46,7'lik bir azalma meydana gelirken, aynı tarih aralığında İngiltere'de ise 39 olan ortalama insan ömrü 47 yaşa çıkmıştır (<https://www.statista.com/>, Erişimtarihi: 14.04.2022). 1900'lü yıllara gelindiğinde Birinci Sanayi Devrimi'yle İngiltere'ye has olan sanayi kavramı ve uygulamaları, Avrupa kıtasından pasifiğe kadar yayılmış ve dünyada sanayi üretimi yarışı hız kazanmıştır. Kennedy (1988:149) yaptığı "The Rise and Fall of Great Powers" adlı çalışmasında, 1900'lü yıllardaki dünya sanayi üretimine ait verileri sıralamış ve sıralamada ilk 5 sırayı alan ülkeler **Şekil 2. 4'**de verilmiştir. Sıralamalara bakıldığında ise ABD %23,6 ile ilk sırada bulunurken, ABD'yi %18,5 ile İngiltere, %13,2 ile Almanya, %8,8 ile Rusya ve %6,8 ile Fransa izlemiştir.

1900 Yılında Dünyada Sanayi Üretimi



Şekil 2. 4:1900 Yılında Dünyada Sanayi Üretimi
Kaynak:(Kennedy, 1988: 149)

Birinci Sanayi Devrimi ile İkinci Sanayi Devrimi birçok yönden benzerlik göstermesine rağmen, ayrıldıkları noktalarda vardır. Birinci Sanayi Devrimi ile İngiltere'ye özgü olan sanayileşme mevcudiyeti, İkinci Sanayi Devrimi'yle kırılmış ve Sanayi Devrimi geniş coğrafyalara yayılmıştır (Mokyr, 1998: 14).

2.1.3.Üçüncü Sanayi Devrimi

Üçüncü Sanayi Devrimi'ne özellikle 1950'li yıllardan sonra yaşanan, bilişim ve bilgi alanlarındaki ilerlemeden dolayı "Dijital devrim" denilmektedir. Üçüncü Sanayi

Devrimi dönemine, internet, dijital ürün ve çözümlerle, bilgisayarın ortaya çıkıp hızlı gelişimi damga vurmuştur (Özdoğan, 2019: 13). Üçüncü Sanayi Devrimi sadece insanoğlunun çalışma ya da iş yapış şeklini değiştirmemiş, aynı zamanda insanoğlunun diğer insanlarla ve dünyayla alakalı da algılamalarını, tanımlanmalarını ve görüşlerini de değiştirmiştir (Fitzsimmons, 1994: 295).

Plastiğin ortaya çıkması ve yaygın olarak kullanılması, yarı iletken diye tabir edilen, kontrol edilebilir verinin bir yerden başka bir yere transferine imkân sağlayan aygıtların bulunmasına ortam sağlamış, bilgisayarların gelişimini tetiklemiştir (Görçün, 2020: 87). Bilgisayar, bir bilginin depolanmasında, üzerinde değişiklik yapılmasında ve sonrasında geri kullanılmasında iş gören bir aygıttır. Çalışmasında ya da yönlendirilmesinde talimat içeren programları takip eden, programlanabilir elektromekanik cihaz olarak da tanımlanabilir (Zakari, 2019: 2).

Bilgisayarla ilgili dijital anlamda ilk yapılan çalışma 1937 yılında Howard Aiken tarafından icat edilen Mark 1 adlı bilgisayara dayanır. 1950 yılına gelindiğinde çiplerin atası olarak kabul edilebilen elektron tüplerin ve Ram belleklerin kullanıldığı ENIAC bilgisayarlar devreye girmiştir (Görçün, 2020: 87). Modern anlamda bilgisayarların gelişim aşaması kullanılan teknolojilere göre 5'e ayrılır. Bunlardan ilki elektron tüpleri olurken, zamanla yerini transistörler almış, sonrasında entegre devreler kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojinin seviye atlamasıyla devreye mikroişlemciler ve yapay zekâ girmiştir. Elektron tüplü bilgisayarların çalışmaları son derece pahalı olup, çalışmaları ciddi anlamda elektrik tüketimi gerektirmektedir. Bilgisayar dili yerine makine dilinin kullanılması, geniş yer kaplaması ve bilgisayara veri girişinin kartlarla yapılması elektron tüplü bilgisayarların tipik bir özelliğidir. Elektron tüplerinin yerini transistörlerin almasıyla bilgisayarlarda ikinci döneme geçilmiştir. Transistörler 1947 yılında bulunmasına rağmen, 1950'li yılların sonuna kadar yaygınlaşmamıştır. Transistörlerle beraber bilgisayarlar daha da küçülmüş, hızlanmış, ayrıca enerji verimliliği ve dayanıklılığı artmıştır. Bilgisayarlara girişler halen kartla yapılmasına rağmen, bilgisayar dili, konuşulan dillere göre programlanmaya başlanmış, "Fortran" ve "Cobol" dilleri ağırlık olarak öne çıkmıştır. Transistörlerin daha da küçülerek silikonların üzerine yerleştirilmesiyle entegre devre diye tabir edilen aygıt oluşturulmuştur. Sonuç olarak, bilgisayarların verimliliği ciddi oranda artmıştır. Bilgisayarlara veri girişleri kart yerine klavye, mouse ya da ara yüz programları ile

yapılmaya başlanmıştır. Entegre devrelerden iyi sonuçlar elde edilmesinin ardından, çok sayıda entegre bir silikon çip üzerinde toplanmış ve mikroçip kavramı ortaya çıkmıştır. Bilgisayarlar böylelikle bir avuç içine sığacak duruma gelmiş, IBM firması 1981 yılında evler için ilk bilgisayarını tanıtmış, Apple firması ise piyasaya Macintosh markasıyla çıkmıştır. Günümüzde geliştirilme aşamasında olan ve bilgisayar çağını tamamen değiştirecek olan yapay zekâ temelli bilgisayarlar, kuantum, nanoteknoloji ve moleküler bilimini temel alarak gelişme göstermektedir (Adebisi, 2013: 3-4).

Evlere ilk defa adım atan ve ticari olarak kullanılmaya başlanan bilgisayarlar o dönemde siyah bir ekrana ve Dos diye tabir edilen ve açılımı “Disk Operating System” olan bir disk işletim sistemine sahipti. Bilgisayarları kullanmak pratik olarak görülse de “Dos” komut sistemini kullanmak için bilgisayar dili programlarını bilmek gerekiyordu. Bu durum insanlar arasında kısıt yaratmış ve bilgisayar kullanımını sınırlamıştır. İmdada yetişen ise Windows İşletim sistemini devreye alan Bill Gates ve Paul Allen olmuştur. Windows 1.0 olarak çıkan işletim sistemi, bilgisayarda komut kullanmak yerine pencerelerden oluşan bir görsel komut dizisine sahip olmuştur. Bilgisayar kullanımında diğer iyileştirme ise Steve Jobs’dan gelmiştir. Apple firmasının ürettiği Macintosh bilgisayarlarda “fare” ya da diğer tabirle “mouse” kullanımı başlamış, önceleri klavyeyle yapılan ve komut ezberlemek zorunda kalınan süreç sona ermiştir (Görçün, 2020: 109-110).

Üçüncü Sanayi Devrimi’yle beraber iki farklı sistem, devrimin omurgalarından biri olan bilgisayar ve ilk devrimden gelen ve gelişmeye devam eden makineler beraber kullanılmaya başlanmıştır. Dijitalleşmenin ve bilgisayarın iş dünyasına girmesiyle “CNC” (Computer Numeric Control- Bilgisayar Sayısal Kontrol) diye tabir edilen makineler üretilmeye başlanmıştır. Bilgisayar Sayısal Kontrol, bilgisayar ile onun yazılımını ya da programını makineyle bütünleştiren sistemsel bir yapıdır (Özdoğan, 2019: 14-15). Bilgisayar Sayısal Kontrol, bilgisayar ile makine ve bu ikisi arasındaki anahtarlama aletini içerir. Daha kısa ifade etmek gerekirse, elimizde iş yapacağımız bir makinemiz ve makineye iş yaptıracığımız bir bilgisayarımız, ayrıca ikisi arasındaki haberleşmeyi sağlayacak bir ara yüzümüz vardır. Burada ara yüzün görevi makineyle bilgisayarın haberleşmesini sağlamak ve aralarında koordinasyon kurmaktır (Oyoun, 2020: 2).

Döneme damgasını vuran ve Üçüncü Sanayi Devrimi'nin ilerlemesini ve gelişmesini sağlayan etkilere biri de "İnternet" kavramıdır. İnternet, tüm dünyayı kaplayan bir iletişim aracı olmasının yanında, dijital veri aktarımı sağlayan ve paylaşımı teşvik eden bir kavramdır (Özdoğan, 2019: 17). Türk Dil Kurumu sözlüğüne göre "Genel ağ" anlamına gelmektedir (<https://sozluk.gov.tr/>, Erişim tarihi:15.03.2021). İnternetin ortaya çıkışıyla ilgili ilk düşünceyi J.C.R. Licklider önermiştir. Licklider, 1962 yılında dünya çapında birbirine bağlı olan ve veri alışverişi yapabilen bilgisayarlar kümesi önermiş ve teorisini "Galaksi Ağı" adı altında somutlaştırmıştır (Cerf vd., 2009: 23). Licklider 'in düşüncelerinden hareketle Amerikan Savunma Bakanlığı, ARPA (Advanced Research Projects Agency) projesini başlatmıştır. Arpa projesi, başlangıçta Soğuk Savaş dolayısıyla Sovyetler Birliği'yle yapılacak herhangi bir çatışma sırasında yaşanacak nükleer savaşta askeri birimler arasındaki iletişimin kopmasını önleyecek ve tüm ülkeye yayılacak bir "Askeri ağ" olarak tasarlanmıştır. Arpa projesi, ağ teorisini desteklemiş ve "Arpanet" adını almıştır (Arısoy, 2009: 56). İnternetin tüm ABD'deki üniversiteler arasında kullanılmaya başlanmasıyla, kontrol edilmesi güçleşmiş ve bunun sonucunda 2'ye ayrılmıştır. Milnet ordu içerisindeki ağı içerirken, Arpanet ise sivil kullanımı içermiştir. 1980'li yıllara gelindiğinde, farklı işletim sistemine sahip bilgisayarlarda ortak kullanıma imkân veren TCP/IP protokolü geliştirilmiştir (Gönenç, 2012: 89). TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) olarak isimlendirilen kavram, bilgisayarlar arasındaki haberleşmede kullanılan genel bir protokoldür. Bilgisayarların iletişim için aynı dili kullanmaları gerekmektedir. TCP/IP protokolü ise bilgisayarlar arasındaki iletişimin doğru şekilde kurulmasını temin eder. Sonuç olarak, ağa bağlanan tüm bilgisayarların farklı bir "IP" adreslerinin bulunması gerekir. Aksi takdirde benzerlik olması durumunda, ağ üzerinde çakışma meydana gelir ve iletişim kurulamaz (MEB, 2012: 3).

İnternetin yaygınlaşmasına çeşitli faktörler etki etmiştir ve bunlardan birisi de fiber-optik kablolardır. Fiber optik kabloların çıkması ve yaygınlaşmasıyla, iletişim ve haberleşmenin yanı sıra veri paylaşımı da son derece hızlanmış, verinin etkin bir şekilde iletimi temin edilmiş ve veri kaybı ise büyük oranda azalmıştır. Günümüzde elektronik aletlerin birçoğunda veri paylaşımı ve etkileşim fiber optik kablolar sayesinde yapılmaktadır (Görçün, 2020: 112). İnternetin ortaya çıkışı ve hızla yayılması dünyayı olduğu kadar Türkiye'yi de etkilemiştir. 1990 yılında Türkiye'de ilk internet ODTÜ'de kullanılmaya başlanmıştır. İnternet temel olarak üniversite ve

akademik çevrede yayılmış,1996 yılı ağustos ayında Turnet, 1997 yılında ise akademik kuruluşları birbirine bağlayan Ulaknet hizmete girmiş, böylece Türkiye'nin internet hizmetinin ana omurgası oluşmuştur (Arısoy, 2009: 57).

İnternet kısa bir zaman süresi içerisinde dünya tarihinde görülmeyen bir değişime ve gelişime sebep olmuştur ve günümüzde varlığını ve gelişimini sürdürmeye devam etmektedir. İnternet, insanları sınırlayan zaman ve yer kavramlarını elimine ederek dünyayı bir ip gibi sarmakta, tabiri yerindeyse sınırlarını kendi belirlemektedir (Gönenç, 2012: 87). İnternetin yaygınlaşmasını sayısal veriler üzerinden de görmek mümkündür. 2022 yılı nisan ayında dünya genelinde internet kullanıcı sayısı 5 milyara yükselmiş, bir günde gönderilen mail sayısı ise 333 milyar sınırına dayanmıştır. 2022 yılının şubat ayında yayınlanan veriye göre ülkeler genelinde internet kullanıcı sayılarında ilk üç ülke; Çin, Hindistan ve ABD'dir. Türkiye ise sıralamada on beşinci olmuştur(<https://www.statista.com/>,Erişimtarihi:14.04.2022).

Üçüncü Sanayi Devrimi'nin ses getiren yönü bilgisayar bilimindeki gelişmeler ve internetin ortaya çıkışı olmuştur. İnfomatik yani bilgi devrimi de denilen süreçte, imalat sektörü dijitalleşmiş, bu ise elektronik ve bilgi teknolojilerinin kullanımına yol açarak işletmelerin bilgi üretmesine ve bunları işlemelerine neden olmuştur. Ayrıca, işletmeler bilgi iletişim alanlarında da gelişerek mevcut ekonomik konjonktörü değiştirecek bir hal almıştır (Davutoğlu, 2020: 179). Günümüzde işletmelerin bilgi teknolojileri alt yapılarının 50 senelik bir geçmişi olmakla beraber gelişim aşamaları, sahip oldukları teknolojik düzeylere göre beş alt kategoriye ayrılmaktadır. Bilgi teknolojilerinin beş gelişim aşaması ve aşamalara etki eden teknolojiler aşağıda verilmiştir (Laudon ve Laudon, 2014: 197-201):

- **Genel Amaçlı Ana ve Mini Bilgisayar Çağı:**1959 yılında IBM firmasının 7090 transistörlüyle beraber tanıttığı 1401 model bilgisayar, ticari anlamda bilgisayarların yaygınlaşmasına ortam hazırlamıştır.1965 yılında İBM 360 serisiyle beraber çoklu görev kabiliyeti, sanal hafıza becerisi ve zaman tasarrufu gibi özelliklerle ticari bilgisayarların mesafe kat etmesini sağlamıştır. Ana bilgisayar dönemi oldukça merkezileştirilmiş bir dönem olmuştur. Çünkü yazılım ve donanım alanında altyapının çoğu bileşenleri tek bir satıcı tarafından sağlanmış ve programcılar ise kurumsal veri merkezleri kontrolü altında olmuştur. Ana bilgisayar alanında yaşanan gelişmelerin ardından,

Digital Equipment Corporation (DEC) işletmesi tarafından piyasaya ilk mini bilgisayarlar sürülmüştür. Mini bilgisayarların tanıtımıyla beraber ana merkezli bilgisayar kavramı da değişime uğramıştır. Mini bilgisayarların ana bilgisayarlara göre işlem alanında daha güçlü olup, fiyat alanında daha ucuz olması, mini bilgisayarların işletmenin birimlerinin özelleşmiş ihtiyaçları için bilgi işlemeyi mümkün kılması gibi özellikler değişikliklere kapı aralamıştır.

- **Kişisel Bilgisayar Dönemi (1981'den Günümüze):** İlk kişisel bilgisayarlar 1970 yılında ortaya çıkmasına rağmen o dönemin koşullarına göre dağıtımları son derece sınırlı kalmıştır. İlerleyen zamanda IBM işletmesinin ortaya çıkardığı bilgisayar konsepti, Amerikan iş dünyası tarafından geniş kabul görmüş ve kişisel bilgisayar çağının başlangıcı olarak kabul edilmiştir. Kişisel bilgisayarların standart bir hale gelmesinde öncelikle metin temelli DOS işletim sistemi, ardından Windows işletim sistemi ve son olarak da Windows işletim sistemi barındıran Intel mikroişlemcili bilgisayar (Wintel Bilgisayar) büyük rol oynamıştır. 1990'ların başında bilgisayar yazılımlarında yaşanan gelişmelerle bilgisayarların birçok iş ve süreci yapabilecek yetkinliğe erişmesi, örneğin elektronik sunum yazılımından küçük veri yönetimine, kelime işlemcilerine değin kişisel bilgisayarların yaygınlaşmasını sağlamışlardır. Her ne kadar bilgisayarların yaygınlaşması sağlansa da internet ortaya çıkana kadar bilgisayarların haberleşme durumu mümkün olmamıştır.
- **İstemci/Sunucu Dönemi (1983'den Günümüze):** İstemci ve sunucu diye adlandırılan bilgisayarlardan sunucu bilgisayar, istemci diye tabir edilen ve masaüstü ya da laptop türündeki bilgisayarlara, çeşitli düzeylerde yetkinlik ve hizmet sağlayan güçlü bilgisayardır. Bilgisayar işlemleri bahsedilen iki bilgisayar türü arasında bölünür. Web sayfaları ya da ağ etkinliklerinin yönetilmesinde istemci bilgisayar sadece kullanıcı girişini oluştururken, sunucu bilgisayar ise paylaşılan verileri işler, depolar ve aynı zamanda da ağ etkinliklerini yönetir. Sunucu bilgisayar sadece fiziki bir bilgisayar olmayıp ağ yazılım uygulamalarını da barındıran yazılımsal bir sistemdir. Basit bir istemci/sunucu ağı, işlemlerin iki bilgisayar türü arasında paylaşıldığı, istemci bilgisayarın sunucu bilgisayarla iletişim kurduğu bir ağ türüdür. İstemci/sunucu ağına en basit olarak web hizmeti örneği verilebilir. Örneğin, istemci bir bilgisayar bir web sayfasına istekte bulunduğu anda ya da giriş

yapmak istediğinde, sunucu bilgisayar istemci bilgisayara istemde bulunduğu web sayfasını sunar. Web sayfasında bulunan verilerin konumundan ve depolanmasından sunucu bilgisayardaki yazılım sorumludur. Eğer istemci bilgisayar web sayfasındaki herhangi bir içeriğe bakmak isterse istek sunucu ile işletmenin arka planı arasında faaliyet gösteren uygulama sunucusu bilgisayara iletilir. Uygulama sunucusu bilgisayar, işletmede tutulan veri tabanına ulaşarak istenen bilgilerin iletilmesini sağlar. Örnekteki ağ yapısında web sunucu istemci bilgisayarla iletişimi kurarken, uygulama sunucusu ise işletmeyle web sunucusu arasındaki iletişimi kurmaktadır. İstemci/Sunucu bilgisayar uygulaması yoluyla işletmeler, ana bilgisayarlar yoluyla çok daha maliyetle yapacakları bilgi işleme faaliyetlerini daha küçük ve daha ucuz makinelerle, daha uygunla yapmaya başlamışlardır. Böylece bilgi işleme faaliyetleri hızlanmış ve işletmenin tüm birimlerine yayılmıştır.

- **Kurumsal Bilgi İşlem Dönemi (1992'den Günümüze):** 1990'ların başlarında işletmeler kurumsal alt yapıları açısından farklı türdeki uygulama ve ağ bağlantılarını birleştirerek ortak bir çatı altında toplamaya başlamışlardır. Böylece işletmeler birleştirmeyi mümkün kılacak yazılım araçlarına ve ağ standartlarına yönelmiştir. 1995'ten sonra internetin yaygınlaşması ve farklı ağları ortak bir standart ağ yoluyla birbirine bağlayan TCP/IP protokolünün ortaya çıkması, işletmelerin interneti kullanmaya başlamalarında etkili olmuştur. Ortaya çıkan Bilgi Teknolojileri, bilgisayarın farklı donanımsal parçalarını birbirine bağlamış ve işletme bünyesindeki birimler arasındaki küçük ağları kurumsal bir ağıya dönüştürerek, bilginin kolayca işletme bünyesinde ve işletmenin çevresinde paylaşılmasına ortam hazırlamıştır.
- **Bulut Bilişim ve Mobil Bilgi İşlem Çağı (2000'den Günümüze):** İnternetin yaygınlaşmasıyla beraber artan bant genişliği, istemci/sunucu döneminin yeni yeni ortaya çıkan “Bulut Bilişim Modeli”ne doğru kaymasına yol açmaktadır. Bulut Bilişim Modeli, genellikle internet tabanlı olmakla beraber bir ağ üzerinde paylaşılr durumdaki bilgi işlem kaynaklarına (bilgisayarlar, hizmetler, uygulamalar vs.) erişim sağlayan bir modeldir. Bulut veri merkezlerinde binlerce bilgisayar hizmet vermektedir. Bilgi işlem kaynaklarına masa üstü bilgisayardan dizüstü bilgisayara, tablettten, akıllı telefona kadar internet bağlantısı olan herhangi bir cihazla ulaşılması mümkün

olmaktadır. Günümüzde IBM, HP ve Dell gibi işletmeler devasa büyüklükte Bulut Bilişim Merkezleri'ne sahiptirler. İşletmeler devasa büyüklükteki merkezlerle bilgi teknolojileri alt yapısını sürdürmek isteyen işletmelere, yüksek-hızda internet bağlantısı, veri depolama ve yüksek bilgi işlem gücü önermektedir. Bilgi İşlem Teknolojileri akıllı telefonların yaygınlaşmasıyla beraber kişisel ve kurumsal açıdan mobil pazarlara doğru kaymaktadır.

İnternetin ve bilgisayarın insanların hayatına girmesiyle dijitalleşmeye başlayan dünya, iş süreçlerine de sirayet etmiş ve mevcut durumu değiştirmeye başlamıştır. Söz konusu değişimlerden birisi ise ERP (Enterprise Resource Planning-Kurumsal Kaynak Planlaması)'dır. ERP, bir işletmenin iş süreçlerinden tedarikçi yönetimine kadar sahip olduğu tüm kaynakların kontrol edildiği, planlandığı ve ayrıca yönetildiği bir yazılım sistemidir (Özdoğan, 2019: 24). İngilizce dilinde Enterprise Resource Planning olarak geçen ve kısaltması ERP olan Kurumsal Kaynak Planlaması'nın, temel özelliklerinden birisi, yönetim, planlama, işleyiş ve muhasebe gibi işletmenin birçok bölümünün tek merkezde toplanmasıdır. ERP'nin bir diğer özelliği ise işletmenin birimleri arasında koordinasyonu sağlaması ve bilgi paylaşımını mümkün kılmasıdır (Çelebi ve Bulut, 2016: 167). Kurumsal Kaynak Planlaması işletmenin üretim, muhasebe ve finans gibi çeşitli bölümlerinden gelen bilgileri bir araya toplayarak, bilgi karmaşasının önüne geçer. Kurumsal Kaynak Planlaması kullanan işletmelerde müşteriden gelen bir talep, anlık olarak işletmenin tüm birimlerine iletilir ve her birimin anlık olarak tepki vermesi sağlanır (Naralhan, 2006: 30)

ERP, standart özellikte bir yazılım paketi olmakla beraber kurulacağı işletmeye göre özelleşebilme durumu mevcuttur.ERP, veri tabanı yönetimi yazılımı, ara yüz uygulaması ve sunucu olmak üzere üç katmandan meydana gelen bir yazılımdır.1960'lı yıllara gelindiğinde bilgisayar biliminde yaşanan hızlı gelişmeler üretim sistemlerinin materyal akışına da yansımış ve Malzeme İhtiyaç Planlaması (Material Requirement Planning-MRP) olan bir sistem gelişmiştir. Malzeme İhtiyaç Planlaması, ürünün üretilmesinde girdi olan malzemeleri zamansal yönden planlamış ve buna göre malzeme tedariği yapmıştır. Zamanla gelişen süreçlerle beraber MRP'ye yeni eklentiler yapılmış ve ortaya MRP2(Material Resource Planning- Üretim Kaynak Planlaması) çıkmıştır.1990'lı yıllara gelindiğinde üretim temelli planlamalardan, işletmenin satış, pazarlama, yönetim gibi tüm fonksiyonlarını içine alan entegre

sistemlere ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. İşletmenin tüm birimlerini tek çatı altına toplamayı amaç edinen gereksinim Kurumsal Kaynak Planlaması'nı ortaya çıkarmıştır (Çelebi ve Bulut,2016:168-169).

İşletme birimlerinin birbiriyle koordinasyonunu ve bilgi alışverişini mümkün kılan ERP, yazılım temelli bir sistem olup ERP sektöründe faaliyet gösteren yerel ya da uluslararası birçok işletme vardır. ERP işletmeleri arasında etkinliği yüksek olanlar SAP-AG, Oracle, Baan gibi işletmelerdir. ERP yazılımının özelinde inildiğinde ise kullanılan çeşitli yazılım paketleri mevcuttur ve bunlar aşağıda listelenmiştir (Çelebi ve Bulut,2016:170):

- SAP: Almanya kaynaklı ERP yazılımı olan SAP, 1972 yılında kurulmuştur. Dünya çapında 150000'den fazla çalışanı olan SAP'ın 230 milyon üzerinde bulut kullanıcısı vardır.ERP'yi küresel anlamda bir standarda oturtan SAP, işletmenin birimlerinin tümünü dijital ortama aktarmakta ve akıllı çözümlerle koordinasyonu sağlamaktadır (<https://www.sap.com/turkey/about/company/what-is-sap.html>,Erişim tarihi:27.06.2022).
- LOGO: Türkiye'nin en büyük yerli yazılım kuruluşu olan LOGO, 1984 yılında faaliyetlerine başlamıştır. Küçük ölçekteki işletmelerden büyük ölçekli işletmelere kadar uygulama yazılımı üreten LOGO işletmesi, 4 farklı ülkede,1300 çalışanıyla hizmet vermektedir (<https://www.logo.com.tr/logo-hakkinda>,Erişim tarihi:27.06.2022).
- CANIAS ERP:1989 yılında Almanya'da kurulan işletme, ERP çözümleri ve otomasyon alanında uzmanlaşmış durumdadır.32 ülkede 30000'den fazla müşterisiyle hizmet veren CANIAS ERP, kendi geliştirdiği yazılım dili olan TROIA'yı kullanmaktadır (<https://www.canias40.com/tr/about>, Erişim tarihi:27.06.2022).

ERP, işletmelere üretim kapasitelerini arttırma, kârlılıklarının ve iş süreçlerinin bütününe daha etkin yönetme olanağı sağlar (Özdoğan, 2019: 25-26). ERP, ayrıca stok ve üretim konusunda maliyet tasarrufu sağlarken, yönetime ise karar alma süreçlerinde destek olur (Naralhan,2006:30).

Üçüncü Sanayi Devrimi'yle beraber daha önceleri kitle üretime dayanan ve standart ürün üretme prensibini baz alan yaklaşım tamamıyla demode olmuş, bunun yerini

yalın üretim modeli diye ifade edilen yeni üretim modeli almıştır. Yalın üretim, işletmeler açısından gerçekte katma değer yaratmayan ve üretilen çıktılar bakımından gereksinim duyulmayan bütün faaliyetlerin üretim sisteminden çıkarılmasını baz alır. Yalın üretim modeli temelde tasarruf kavramını temel almakla beraber, ilk olarak otomotiv endüstrisinde faaliyet gösteren “Toyota” işletmesinde uygulanmıştır. “Toyota Evi” olarak da anılan yalın üretim sisteminin işleyişinde evin sağlam olması istenir. Evin; çatısı, sütunları ve temeli sağlamsa ev sağlamdır eğer sayılanlar arasında bir zayıflık varsa evin tümü zarar görebilir. Toyota Evi çatısında; kalite, maliyet, teslimat, güvenlik ve moral bileşenlerini kapsayan üretim sistemindeki israfı önlem bölümüyle başlamaktadır. Çatının ardından iki sütunla aşağıya inen “Toyota Evi” nde sütunlardan birisi yalın üretimin en bilindik özelliği olan “Tam zamanında üretim” olurken diğer sütun ise “Jidoka” dır. Jidoka ’da amaç üretim sürecinde yaşanan bir kusurun bir sonraki üretim aktarılmaması ve otomasyon sisteminden insanların yalıtılmasıdır. Toyota Evi’nin son bileşeni ise temel olarak tabir edilen “Heijunka” dır. Heijunka üretim sürecini bir yandan çeşitlilik ve hacim yönünden bir yandan ise standartlaştırma, istikrar ve güven yönünden desteklemeye çalışır (Gelmez ve Yılmaz, 2021: 55; Görçün, 2020: 129-132).

Yalın üretim modeli, daha önceki dönemlerde uygulanan Fordist üretim modeli ya da bir diğer deyişle Kitleli üretim modelinden çeşitli yönlerden ayrılmaktadır. İki modelin üretim anlayışı farklılığı ise şu şekildedir:

- Yalın Üretim Modeli ürünlerde çeşitliliği savunurken, Fordist Üretim Modeli standartlaşmayı savunur.
- Fordist Üretim Modeli daha fazla üretim daha az maliyet eksenine odaklanırken, Yalın Üretim Modeli ise müşteri gereksinimini karşılayacak minimum düzeyde üretime odaklanır.
- Fordist Üretim Modeli maliyet üstüne kârı koyup, müşterilere ürün arzını hedeflerken, Yalın Üretim Modeli ise müşterinin istediği fiyattan ürünü sunar ve maliyet azaltımına odaklanır.
- Fordist Üretim Modeli’nde fabrikadaki üretimin sürekliliği elzemken, Yalın Üretim Modeli’nde ise talebe göre işleyiş esastır.

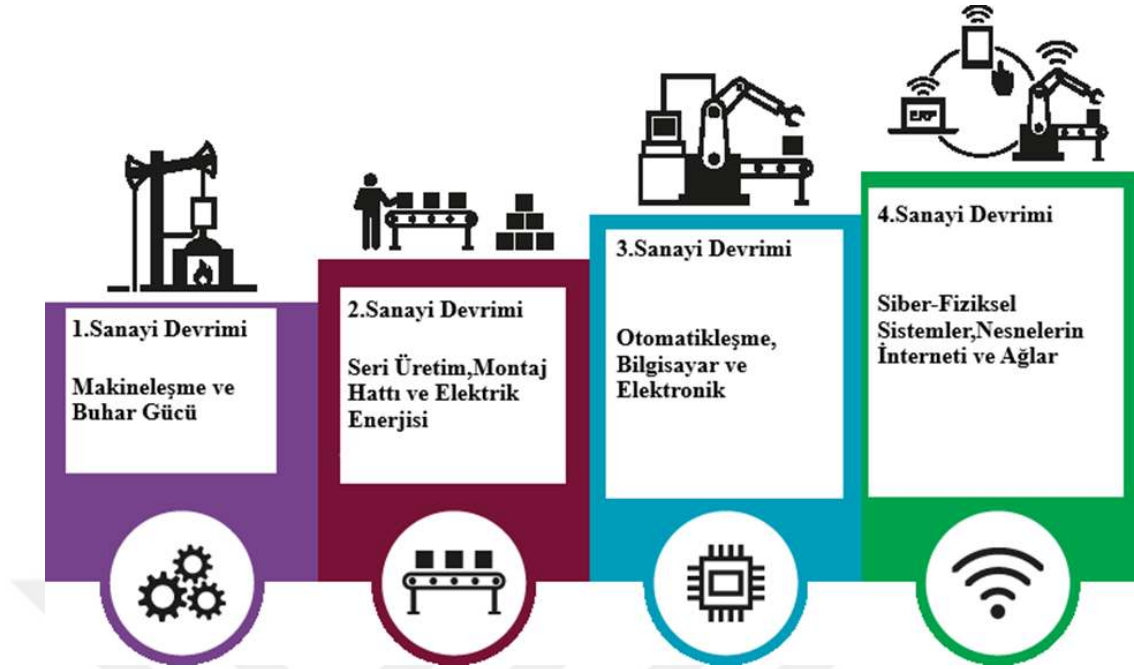
İşletmeler, üretim girdilerine değer katmak, değer yaratmayan süreçleri ve işlemleri ortadan kaldırmak için yalın üretim sistemlerine yönelebilirler. Yalın üretim

sistemleri, işletmelere maliyet avantajı sağlamasının yanında işletmelerin süreçlerinin daha yalın ve verimli hale gelmesini sağlamaktadır. Özellikle günümüzde işletmeler, yalın üretim sistemleriyle beraber Endüstri 4.0'ın getirdiği teknolojik gelişmeleri beraber düşünmeye başlamışlardır (Gelmez ve Yılmaz, 2021: 58).

İlk sanayi devriminde kömür, ikinci sanayi devriminde petrol ve elektrik ana enerji kaynağı durumuna gelirken, Üçüncü Sanayi Devrimi'yle fosil enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynakları (su, güneş, rüzgâr vb.) önem kazanmıştır. Önceki devrimlerde ham madde ve doğal kaynakların bilinçsizce kullanılması çevreye ve doğal yaşama zarar vermiş ayrıca kaynakların aynı hızla azalmasına ve risk altına girmesine neden olmuştur. Sonuç olarak ise kaynakların daha etkin ve verimli kullanımı için “Sürdürülebilirlik” kavramı ön plana çıkmıştır (Çevik, 2018: 6).

2.1.4.Dördüncü Sanayi Devrimi

18.yy. içerisinde meydana gelen Birinci Sanayi Devrimi, insanlığın gelişiminin önemli bir dönemini teşkil etmiştir. Birinci Sanayi Devrimi, günümüz insan yaşamını şekillendiren bir süreçtir. Döneme damgasını vuran buhar makinesinin icadı, kentleşmeyi ve sanayileşmeyi hızlandırmış ve kol gücünün yerini makineler almıştır. Birinci Sanayi Devrimi'nden sonraki yüzyıl içerisinde, İkinci Sanayi Devrimi başlamış, teknolojiye meydana gelen gelişmelerden dolayı “Teknolojik Devrim” olarak isimlendirilmiştir. Döneme damgasını vuran ise; elektrik, petrol ve doğal gaz gibi yeni enerji kaynaklarının bulunması olmuştur. Alexander Graham Bell, Thomas Edison ve Henry Ford gibi mucitlerin icadı, yaşamı kolaylaştırmış ve üretim kapasitesini artırmıştır. Yaklaşık 20.yy'ın ortalarında başlayan Üçüncü Sanayi Devrimi, elektroniğin yaygınlaşmasına ve otomasyon üretimi için bilgi teknolojisinin kullanımını sağlamıştır. Bilgisayarın yanı sıra mikroişlemci ve telekomünikasyon alanında meydana gelen gelişmeler, yüksek seviyeli otomasyona dayalı üretim çağına kapı aralamıştır (Mpc, 2018:2). Günümüzde, siber-fiziksel sistemlerin rol oynadığı, üretim, tasarım, sürdürülebilirlik ve müşteri tatmini gibi birbirinden farklı alanların birbirine yaklaştığı, Endüstri 4,0 olarak isimlendirilen kavram hayatımıza adım atmıştır (Banger, 2018: 20). Dünya'yı ekonomik, sosyal ve kültürel açıdan dönüştüren devrimler ve sanayiye getirdiği yenilikler **Şekil 2.5**'de verilmiştir. **Şekil 2.5** incelendiğinde, her sanayi devriminin getirdiği yeniliklerin, devrimlerin gidişatını belirlediği görülmektedir.



Şekil 2. 5:1780’lerden Günümüze Sanayi Devrimi Aşamaları

Kaynak: (https://www.researchgate.net/figure/Highlights-of-industrial-revolutions_fig1_324952880,Erişim tarihi:24.03.2021)

Dünya Ekonomik Forumu’nun 2016 yılında Endüstri 4.0 kavramını, gündemine küresel bir hedef olarak koymasından beri, Endüstri 4.0 yaşamda dönüşümlere yol açan, hızlı teknolojik atılımla ilişkilendirilmiş durumdadır (Morrar, 2017: 16). İlk olarak 2006 yılında ABD’de sonrasında ise 2011 yılında Almanya’da dile getirilen Endüstri 4.0’ın kuramsal boyutunun başlangıcını ise Kagermann’ın 2011 tarihli makalesi oluşturmuştur. (Alçın, 2016: 21).

Endüstri 4.0 ile birlikte merkezi ve insan temelli fabrika sistemlerinden, akılcıl ve kendi kendini kontrol eden fabrika sistemlerine doğru bir geçiş olmaktadır. Üretimi kendi kendine planlayan makinelerin ortaya çıkması, fabrikaları daha otonom hale getirmektedir. Özellikle Uzakdoğu ve gelişmekte olan ülkeler açısından bir rekabet unsuru olan ucuz işçilik faktörü, üretim maliyetinde azalış süreciyle beraber, söz konusu ülkeler açısından bir kayba yol açma durumu yaratmaktadır. Fabrika sistemlerindeki değişim gelişmiş ülkeler açısından değerlendirildiğinde ise öncesinde rekabet avantajını kaybetmiş gelişmiş pazar ekonomileri (Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Japonya gibi) yeniden ön plana geçme fırsatı yakalayabilecektir (Alçın, 2016: 22). 20’nci yüzyılın sonlarına kadar üretim sektörü açısından en önemli

kavramlardan birisi emek (iş gücü) olmasına rağmen, zamanla, teknoloji emeğin yerini almaya başlamıştır (Banger, 2018: 26).

Önceki üç sanayi devrimi makineyi icat etmiş, teknolojik olarak geliştirmiş ve otomasyon süreciyle dijitalleştirmişken, internetle beraber bunu tamamlayacak bir eksik parçaya ihtiyaç duyulmuştur. Eksik parçanın tamamlanmasıyla hali hazırda kendilerine verilen görevi otomasyon yoluyla yapan makineler akıllanacak ve verilen işi yapmalarından öte üretimin tümünü kendileri planlayabilecek ve gerçekleştirebilecektir. Makinelerin bağımsız çalışmasına ve üretimin akıllanmasına kapı aralayacak dönüşüm ise Endüstri 4.0 olacaktır. Endüstri 4.0'la beraber makine ve ekipmanlar birbirleriyle iletişim kuracak, yapacakları işe karar verecek ve yapılan işleri öğrenecektir. Sonuç olarak tüm işlemlerde kendi kendilerini yönetme becerisine sahip olacaklar kısacası akıllanacaklardır (Özdoğan, 2019: 38). Endüstri 4.0, süreç anlamında, üretim ve tüketim ilişkilerini tamamıyla değiştirecek bir yapı içermektedir. Yeni dönemin karakteristik yapısı; bir yandan tüketicinin anlık değişen taleplerine ayak uyduran üretim sistemlerini, diğer yandan ise sürekli birbirleriyle iletişim ve uyum durumunda olan otomasyon sistemlerini anlatmaktadır (Alçın, 2016: 20-21).

Endüstri 4.0 kavramı halen tartışılmalı bir konudur. Tartışmanın bir tarafındaki görüş, kavramın gerçekten bir devrim olduğunu savunurken, diğer bir görüş ise yaşanan sürecin sanayide evrimsel bir gelişme olduğu, ansızın bir değişiklik ya da devrimle alakasının bulunmadığını savunmaktadırlar (Alçın, 2016: 20-21). Klaus Schwab (2016: 8-9) "The Fourth Industrial Revolution" adlı kitabında, Endüstri 4.0'ın bir devrim olmadığı konusunda ısrarla bulunanlara, bir devrim olduğunu çeşitli açıdan ortaya koymuştur. Schwab (2016: 8-9)'a göre Endüstri 4.0'ın devrim olduğuna dair özellikler aşağıdaki gibidir:

- Endüstri 4.0'ın sahip olduğu teknolojik yeniliklerin daha yeni ve yetenekli yeni teknolojik değişimlere yol açması,
- Endüstri 4.0'ın ekonomik, sosyal ve iş dünyası anlamında eşî görülmemiş değişimlere yol açan teknolojileri birleştirmesi,
- Endüstri 4.0 ülkelerin, işletmelerin ve sektörlerin aralarında ve içinde, toplumun ise bütününde teknolojik sistemlerin bütünsel dönüşümünü içermesi.

Endüstri 4.0 beraberinde avantaj ve dezavantaja sahip bir süreci ifade etmektedir. Avantajlardan bazılarını; bireysel yaşamın yeni ürün ve hizmetler vasıtasıyla

verimliliğinin yükseltilmesi, ulaştırma ve haberleşme alanında maliyet bazı azalmalar, lojistik ve global tedarik zincirinin daha etkili hale gelmesi örneği verilebilir. Endüstri 4.0'ın getirdiği dezavantaja; işgücü piyasasında meydana gelebilecek muhtemel değişiklik verilebilir. Endüstri 4.0'ın işgücü piyasasına getireceği değişim, sürece tehditkâr yaklaşılmasına neden olmaktadır. İşgücü piyasasının makinelerle ikame olması, istihdam oranlarında azaltma yaratabileceği gibi imalat hata oranlarının minimuma indirilmesini de mümkün kılabilir. Süreçle beraber insanların üretimde yer almasının kritik eşiği yetenek faktörüne bağlanabilir ve ücretlerin değişimi yetenek üzerinden belirlenebilir (Doğru ve Meçik, 2018: 1585).

2.2.Endüstri 4.0 ve Bileşenleri

Almanya Eğitim ve Araştırma Bakanlığı (BMBF), 2011 yılında 10 ana projeyi duyurmuştur. “Gelecek Projesi” diye isimlendirilen projeler, “Yüksek-Teknoloji Stratejisi 2020’nin Gelecek Projeleri” ismi altında yayınlanmıştır. Projeler, günlük yaşamda karşılaşılan kavramlara odaklansa da projelerden birisi tüm Dünyayı etkilemesi muhtemel olan, Almanca olarak “Industrie 4.0” olarak isimlendirilen ve ilk defa 2011 yılında Hannover Fuarı’nda sözü edilen Endüstri 4.0 olmuştur. Alman hükümeti bahsi geçen projeye ilk aşamada 200 milyon € tutarında yatırım yapmıştır. Sonrasında ise Federal Almanya Ulusal Bilim ve Araştırma Akademisi (acatech) öncülüğünde “Endüstri 4.0 Strateji Belgesi” hazırlanmış ve 2013 yılında yine Hannover Fuarı’nda ilan edilmiştir (<http://siemens.e-dergi.com/pubs/Endustri40/Endustri40/Default.html#p=1,9>, Erişim tarihi:25.04.2021).

Kagermann vd. (2013: 5), Endüstri 4.0'ı “kaynak üretkenliği ve verimliliğine olanak tanıyan, dinamik işletme ve mühendislik süreçlerini kapsayan, optimize edilmiş karar verme süreci olarak tanımlarken, Qin vd. (2016: 174) ise Endüstri 4.0'ı “gelecekte üretim endüstrisinde büyük etkisi olacak olan ve üretim işlemlerini ürünlerin kendilerinin kontrol edeceği bir süreç” olarak tanımlamıştır. Schumacher vd. (2016: 162) Endüstri 4.0'ı “değer zinciri boyunca devasa bir ileri teknoloji ağı ile sarılı olan ve fiziksel sistemleri, insan tarafını, akıllı makineleri, üretim hatlarını ve süreçleri organizasyonel sınırlar boyunca entegre etmek için bir omurga görevi gören bir sistem” olarak ifade etmiştir. Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışıyla beraber çeşitli araştırmacılar tarafından tanımlanma çabası Türkiye’de de görülmüştür. Banger

(2018: 25), Endüstri 4.0'ı "üretime yönelik teknolojik yeni yaklaşımlarla, bilgi teknolojileri ve iletişim, otomasyon, veri toplama ve paylaşım gibi alanlarla harmanlayan ve bir potada eriten bir yaklaşım" olarak tanımlarken, Görçün (2020: 144) ise Endüstri 4.0'ı "tüketiciler tarafından talepte bulunulan bir ürünün, kullanım ömrü açısından, siparişinden teslimine kadar her bir aşamasının denetime tabi olduğu, gerçekleştirilen tüm süreçlerin otonom sistemlerle yerine getirildiği, müşterilerin isteklerine en iyi seviyede karşılık verilebildiği bir süreci ifade etmesi" olarak tanımlamaktadır. Endüstri 4.0 kavramı genel olarak, zeki siber-fiziksel sistemlerle inşa edilen akıllı fabrikalar vizyonuna dayanır. Endüstri 4.0 ayrıca kendi kendini otonom bir şekilde idare etme yeteneğine sahip olan, akıllı sistemler aracılığıyla yönetilen ve üretim ekosistemine olanak tanıyan bir sistem" olarak da tanımlanabilir (Thames ve Schafer, 2016: 13).

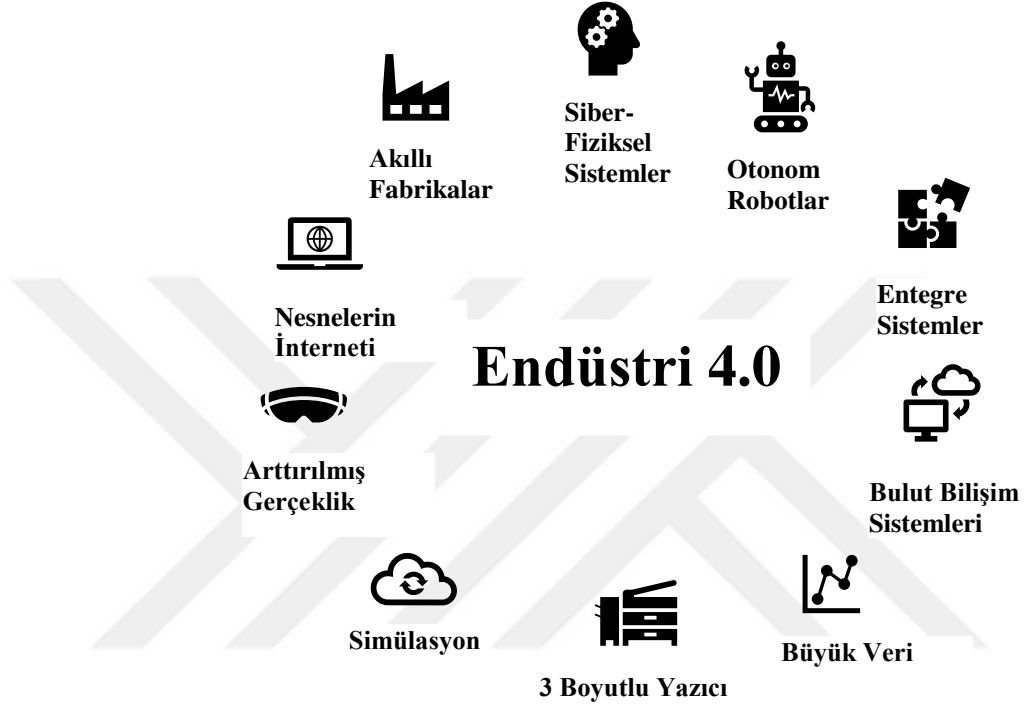
Endüstri 4.0 kavramının doğmasına neden olan çeşitli etkenler bulunmakla beraber etkenlerin ana noktasını "üretim süreci" oluşturmakta olup, diğer etkenler aşağıdaki gibi verilebilir (Görçün, 2020: 142):

- Üretim sistemlerinin ve fabrikaların, kendi kendini otonom şekilde yönetebilmesini sağlamak,
- Üretim süreçlerini akıllandırma isteği,
- Üretimdeki insan hatalarını en aza indirme,
- Üretim süreçlerinde standardizasyon sağlama.

Rüßmann vd. (2015: 3)'e göre, Endüstri 4.0 kavramı birçok alt bileşenden meydana gelmekte ve alt bileşenlerden önemli düzeyde etkilenmektedir. Endüstri 4.0'ı bir bütün haline getiren alt süreçler **Şekil 2.6**'daki gibi olup ayrıca aşağıda listelenmiştir (Rüßmann vd, 2015: 3);

- Simülasyon,
- Entegre Sistemler,
- Bulut Bilişim Sistemleri,
- Artırılmış Gerçeklik,
- 3 Boyutlu Yazıcı,
- Nesnelerin İnterneti,
- Akıllı Fabrikalar,

- Siber-Fiziksel Sistemler (Siber Güvenlik),
- Büyük Veri,
- Otonom Robotlar.



Şekil 2. 6: Endüstri 4.0 Sisteminin Alt Sistemleri

Kaynak: (Rüßmann vd., 2015:3)

2.2.1.Simülasyon

Simülasyon, gerçek dünyada halihazırdaki fiziksel sistem verilerinin alınarak sanal dünyaya aktarılıp, gerçek sisteme ait olan özelliklerin izlenmesine olanak sağlayan bir modelleme tekniğidir (Çelen, 2017: 10). Bir başka deyişle, genelde bilgisayar ortamında dünyadaki bir sistemin ya da sürecin zaman faktörüne bağlı olarak taklit edilmesi şeklinde ifade edilebilir. Simülasyon, sensörlerin kendilerinin ve içinde bulundukları çevrenin durumu hakkındaki bilgiyi yerel ağlar ve internet üzerinden bilgisayar ortamına iletmeleri sonucu, kendilerinin ve içinde bulundukları süreçlerin bilgisayar ortamında yeniden oluşturulması ve değerlendirilmesi sürecine dayanan kavramsal bir sistemdir (Banger, 2018: 132). Simülasyon, bir sistemin davranışlarını analiz etmek ya da açıklamak için gerçek ya da kuramsal bir modelin tasarlanması

işlemi olarak da ifade edilebilirken, simülasyon işlemi temelde 3 aşamalı bir yapıdadır. Simülasyon aşaması sırasıyla; özet ya da basit bir sistem temsiline sahip modelleme yapılması, bir dizi ilişkili sistem bileşenlerinin analiz edilmesi ve sonrasında ise oluşturulan modelin simule edilmesine dayanır. Simülasyon ifadesi, karmaşık üretim sistemlerini analiz etmede ve problem çözümünde temel metodolojidir. Simülasyon sisteminin gerekli olmasının nedeni ise, gerçek bir sistemde işlemsel süreçleri gözlemlemek için deneysel geliştirmelerin gerçek dünyada yüksek maliyetlere sebebiyet vermesidir. Endüstri 4.0'ın getirdiği yeniliklerden biri olan Simülasyon hem gerçek sistemlerin işleyişini aksatmamakta hem de gerçek zamanlı sistemlere göre hızlı ve ucuz olmaktadır., Ayrıca, süreç esnasında özel bazı durumlarda süreç durdurulmakta ya da genişletilebilmektedir. Dinamik sistemlerin görselleştirilmesi ya da diğer bir tabirle animasyonu ile iletişim kolaylaşmakta ve modellerin doğrulanması imkânı oluşmaktadır. Her sistemin avantajı olduğu kadar dezavantajları da mevcuttur. Simülasyon 'un dezavantajları; profesyonellikten uzaklık, yüksek mühendis maaşları, mevcut yazılımların lisans ücretleri ve model geliştirmede ihtiyaç duyulan zaman faktörüdür (Armellini vd., 2020: 5-6).

Ürün, malzeme ve üretim süreçlerinin mühendislik seviyesinde üç boyutlu simülasyonları hali hazırda kullanılmaktadır. Simülasyon insanları, ürünleri ve makineleri de içerebilen sanal dünya aracılığıyla fiziksel dünyaya gerçek zamanlı veriyi yansıtmada kullanılmaktadır. Böylece, üretim hattında fiziksel değişiklik olmadan önce üretim hattı için sanal dünyada makine operatörlerine makine ayarlarını test ve optimize etme olanağı verilmektedir. Sonuçta makine ayarlama işlemleri çok zaman almamakta, kalite de yükselmektedir (Rüßmann vd., 2015: 5). Geleneksel simülasyon tabanlı uygulamalar daha çok mühendislik ve tasarım aşamalarında kullanılmaktadır. Geleceğin getireceği fabrikalarda simülasyonların alan olarak fabrikanın her biriminde özellikle imalatın artış gösterdiği aşamalarda, az zaman sürecinde doğru karara varmak hedefine ulaşmak için kullanılması beklenmektedir (Çelen, 2017: 16).

2.2.2.Entegre Sistemler

Entegre Sistem diye ifade edilen kavram, çoklu sistem koordinasyonuna sahip tek bir sistemi ifade etmektedir. Düşünülen temel amaç birden çok sistemi tek bir sistem gibi organize etmektir (Bulut, 2017: 58). İşletme bünyesinde evrensel veri bütünleştirme

ağlarının geliştirilmesiyle işletmenin kendisinin, birimlerinin ve süreçlerinin daha uyumlu bir şekilde çalışmasının sağlanmasıdır (Saatçioğlu vd., 2018: 1682). İşletmenin kendi kaynak ve işlevleriyle dikey entegrasyondan, kendisinin bulunduğu çevre ekosisteminde ise işletmenin yatay entegrasyonundan bahsedilir (Banger, 2018: 47). Entegre Sistemler kavramı, bazı kaynaklarda “Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu” şeklinde de karşılık bulurken, gerçekleştirilmek istenen temel amaç ise Üçüncü Sanayi Devrimi ile dijitalleşmenin başlaması ve akabinde Endüstri 4.0’a geçilmesiyle, işletme içerisinde faaliyet gösteren tüm sistemlerin ortak bir çatı altına alınması ve iletişimin daha yüksek seviyeye çıkartılarak her birimin birbirinden haberi olması amacına dayanmaktadır.

Entegre Sistem kavramında temel amaç, yazılım, donanım, diğer sistemler ya da alt sistemler gibi sistem bileşenlerini bir araya getirme ve birbirine bağlama olgusuyla ilgilidir. Entegre Sistemler de bütünleşme üç farklı şekilde yapılmaktadır. Bunlar; yatay birleşme, dikey birleşme ve bir uçtan diğer uca birleşmedir. Yatay birleşme, iki ya da daha fazla işletme arasındaki bireysel veya yaygın hedefleri başarma temeline dayanmaktayken, dikey birleşme daha çok birçok bileşeni ortak bir sistem altında buluşturma temeline dayanmaktadır. Üretim işlemleri, uygulamalar, aletler ve veriler, koordinasyon sağlama ve iş birliği yapılmasını temin etmek için bir araya bir sistem çevresinde getirilirler. Bir uçtan diğer uca birleşme olgusu ise, gerçek varlıklarla ya da nesnelerle bilgisayar sistemlerinin bileşimleriyle etkileşime girebilecek bir yolla, gerçek ve dijital dünya karışımını bütünleştirmeyi amaçlamaktadır (Sanchez vd., 2020: 1022-1023). Dikey entegrasyon düşüncesinde işletmedeki planlama ve geliştirme fonksiyonları ile üretim fonksiyonu birbirleriyle entegre hale gelir. Yatay entegrasyon faaliyeti ile özellikle ağ teknolojisinde yaşanan gelişmelerle beraber, bir işletmenin herhangi bir biriminin, başka işletmenin herhangi birimleriyle ağ üzerinden takım çalışması oluşturması ve ihtiyaç duyduğu hedefi gerçekleştirebilmesi mümkün hale gelmektedir. Örneğin, bir cam fabrikası daha kaliteli cam tasarımı için bir başka işletmenin ar-ge grubuyla ağ üzerinden çalışma grubu oluşturabilir (Banger, 2018: 47-48). Dikey sistem entegrasyonu sayesinde işletme içerisindeki üretim birimiyle yönetim birimi arasında koordinasyon problemi ortadan kalkarken, iletişimin etkinliğinin artmasıyla verimlilikte artmaktadır. Yatay entegrasyonda ise, işletmenin iş yaptığı tüm çevresiyle ya da ham madde tedarikçilerinden teçhizat üreticilerine kadar tüm paydaşlarıyla etkin ve verimli bir iş birliği sağlanır.

Yatay ve dikey sistem entegrasyonu bir yandan işletme içi ve dışı ortak çalışmayı kolaylaştırırken bir yandan ise gelişen teknolojik konsept uzaktan(sanal) takım çalışmasını daha mümkün hale getirmektedir. Gelişen yapı sayesinde, ortak tasarım geliştirme ve imalat iş birliklerinde yeni bir dönemin kapısı aralanacaktır. Ayrıca Endüstri 4.0'ın bir diğer kolu olan Bulut Bilişim de önemli hale gelecektir (Banger, 2018: 48).

2.2.3. Bulut Bilişim Sistemleri

Bilişim sözcüğü, bilgi işlem kavramından türeyen ve bilgisayar ortamında yapılan hesaplama işlemini ifade etmektedir. İnternetle beraber ağ denem kavramının farklı yerlerdeki bilgisayarları birbirine bağlaması ile bilgisayarlar arasında bilgi alış-verişi mümkün hale gelmiştir. Teknolojinin ilerlemesiyle beraber bilgisayar depolama aygıtlarında ve belleklerinde ucuzlama meydana gelmiş, böylece bilgisayarlar çok daha büyük ölçekte işlem ve depolama yapma özelliğine kavuşmuştur. Bilgisayarların işlem yapma kapasitesinin artmasının sonucu olarak ise bilgisayarlar arasında enformasyon alışverişine ek olarak, paralel bir biçimde hesaplama paylaşımı yaptırma da gündeme gelmiştir (Banger, 2018: 93). Bulut Bilişim Sistemleri bilişim teknolojilerinde yaşanan gelişmelerle, gelişen teknolojinin dış kaynak olarak da sunulmasına yani, bir hizmet şekli olarak ortaya çıkmasına ortam hazırlamıştır (Yıldırım, 2019: 240).

Bulut Bilişim Sistemleri, hemen hemen her ağa bağlanabilen cihazların dahil olabileceği, donanımsal ve yazılımsal mevcut envanter ve kaynakların internet aracılığıyla kullanıcıların cihazlarına paylaştırılabildiği, hizmet ve servisler tarafından oluşturulan internet ortamını ifade etmektedir (Yazır, 2018: 9). Bir başka deyişle, bilgisayar donanımı, yazılımı ve hizmetlerine yatırımı ortadan kaldıran, sahip olduğu alt yapısını kullandırmada süre ve miktarı baz alan bir hizmet temelli sistem olarak ifade edilebilir (Banger, 2018: 94). Bulut Bilişim Sistemleri, bilgi teknolojileri dalında yapılan her bir çözümün ürün olarak ortaya çıkmasından ziyade hizmet olarak sunulmasıdır (Özdoğan, 2019: 88).

Bulut Bilişim Sistemleri, tüm uygulamaların, verilerin ve programların sanal sunucuda saklanması ve ihtiyaç halinde kolayca erişilebilmeye olanak tanınmasıdır. Bulut Bilişim Sistemleri, çalışanların ihtiyaç duydukları her türlü uygulamaların, verilerin ve programların, işletmelerde, kurumlarda ya da veri merkezlerinde saklanması yerine

daha esnek, daha hızlı ve daha çevik bir yöntem olan servis sağlayıcı bilgisayarlarda bulundurulmasıdır. Tüm uygulamalara, verilere ve programlara internet üzerinden herhangi bir zaman anında çalışanların ulaşmalarına imkân tanınması Bulut Bilişim Sistemlerini somutlaştırmaktadır (Saatçioğlu vd., 2018: 1683).

Bulut Bilişim Sistemlerinde hizmetler üç ana kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar:

- SaaS(Software as a Service): Yazılım olarak hizmet
- PaaS(Platform as a Service): Hizmet olarak platform
- IaaS(Infrastructure as a Service): Hizmet olarak altyapı şeklindedir.

Yazılım olarak hizmet (SaaS) anlayışında yazılım sağlayıcı bir işletme, bir kişinin ya da işletmenin sahip olmadığı yazılımı taraflara satmak yerine abonelik temelli kullandırma yoluna gider. Abonelik temelli kullanımda yazılım işletmesi, kullanım miktarına göre ücret alır. Yazılım olarak hizmet anlayışında hiçbir şey satın alınmak zorunda kalınmaz sadece kullanım miktarı kadar ücret ödenir. Bir yazılım olarak hizmet sağlayıcı, genellikle bir uygulamayı kendi veri merkezinde barındırır ve yönetir. Ardından ise web yoluyla uygulamasını kullanacaklar ya da kiralayacaklar için hazır hale getirir. Donanım, yazılım, iş uygulaması, kurumsal kaynak planlaması yazılımları ve veri tabanı servisleri gibi her türlü bilgi teknolojisi uygulamaları Bulut Bilişim yoluyla yüksek maliyetlerle satın alınmak yerine, kiralama yoluyla uygun kullanıma imkân verir. Hizmet olarak platform (PaaS) yapısı, kullanıcılara donanım kullandırma imkanının yanında uygulama yazılımı da kullandırır. Örneğin kişinin kendi uygulamasını oluşturmak için ortak bir programlama işlevi veya veri tabanları grubuna entegrasyon verilebilir. Örnekten anlaşılacağı üzere PaaS yapısı web üzerinden sunulan uygulama geliştirme ve dağıtım platformudur. PaaS, işletmeleri uygulama geliştirme aşamasında ve sonrasında alt yapı konusunda destekler. PaaS, alt yapı konusunda işletmelere verdiği destekle işletmeleri alt yapıyı satın alma maliyeti ve yönetme karmaşasından kurtararak uygulamaya odaklanmayı mümkün kılar. PaaS kısacası işletmelere internetten erişilebilen web uygulamaları ve hizmetleri oluşturma ve sunmanın tüm yaşam döngüsünü desteklemek için gereken tüm olanakları sağlar. PaaS işleyiş olarak altyapı yazılımından oluşmakta olup bir veri tabanı, ara katman yazılımı ve geliştirme araçlarını içerir. Hizmet olarak alt yapı (IaaS); sunucu, depolama gibi donanımsal birimlerle işletim sistemi, dosya sistemi gibi ilişkili yazılımsal birimlerin beraber bir hizmet olarak sunulmasıdır. IaaS’da uzun vadeli bir

taahhüt söz konusu olmaz ve kullanıcıların talebi üzerine kaynak kullandırımı olur. IaaS, PaaS'dan farklı olarak veri merkezini çalışır durumda tutar ve kullanıcı işlemleri üzerinde yönetme yetkisi daha sınırlı olur. Kullanıcılar IaaS'da yazılım hizmetlerini tıpkı kendi veri merkezlerinde olduğu gibi kendileri dağıtır ve yönetir (Bhardwaj vd., 2010: 61-62; Özdoğan, 2019: 88).

Bulut Bilişim Sistemlerinin arkasındaki ana düşünce yeni olmamakla beraber, ilk defa Bulut Bilişim düşüncesi, John Mc Carthy tarafından 1960 yılında bilişim hizmetlerinin halka yarar sağlayabileceğini öne sürmesiyle başlamıştır. (Zhang vd., 2010: 8). Bulut Bilişim Sistemlerinin kökleri 1960'lı yıllara gitmesine rağmen, uygulama anlamında kullanılması, 1990'lı yıllara dayanmaktadır. IBM işletmesi sisteme alt yapı olacak şekilde, merkezi bir bilgisayar olarak isimlendirilen Sunucu (Server), sunucu bilgisayara bağlı olarak çalışacak İstemci (Client) bilgisayar ve ayrıca bilgi işleme faaliyetlerini gerçekleştirmek için ise ince istemci (thin client) kullanıcı bilgisayara sahip bir yapı tasarlamıştır (Banger, 2018: 94).

İşleme ve depolama tekniklerinde hızlı gelişmeler ve internetin başarısı bilişim kaynaklarını geçmiştekinden daha ucuz ve daha güçlü yapmıştır. Bulut Bilişim Sistemleri modeli olarak ifade edilen kavram, kullanıcıların internet aracılığı ile isteklerine göre işlemci ve depolama aygıtı gibi kaynakları kiralayabilecekleri genel yardımcı birimler olarak hizmet verir. Bulut Bilişim Sistemlerinde servis sağlayıcının rolü 2'ye ayrılmaktadır. Bunlardan ilki altyapı sağlayıcı olurken, diğeri normal servis sağlayıcıdır. Alt yapı servis sağlayıcı, bulut platformlu ve fiyatlandırma modeli temele dayanan kaynak kiralamasını yönetir. Servis sağlayıcı ise bir ya da daha çok alt yapı servis sağlayıcıdan kiraladığı kaynakları son kullanıcılara hizmet sağlamada kullanır (Zhang vd., 2010: 7). Günümüzde tümleşik ağ kullanımı ve ürünlerin internet verilerine entegrasyonu ile sürekli veri akışları sağlanmakta, ayrıca analiz ve optimizasyon olanaklı hale gelmektedir (Yıldırım, 2019: 240).

Amazon, Google ve Microsoft gibi işletmeler daha güvenilir, daha güçlü ve daha ucuz Bulut Bilişim Sistemleri tasarlama yolunda çaba harcarken, iş dünyası ise Bulut Bilişim Sistemlerinden yarar sağlama adına iş süreçlerini bu yapıya uyarlamayı araştırma yollarına girmiştir Bulut Bilişim Sistemlerinin iş dünyasına getireceği aşağıda listelenen birçok yarar bulunmaktadır (Zhang vd., 2010: 7-8):

- Bulut Bilişim Sistemleri sermaye yatırımına gerek duymamaktadır.

- Bulut Bilişim Sistemlerinde çalışma maliyeti düşüktür.
- Bulut Bilişim Sistemleri yüksek oranda ölçeklendirilebilir.
- Bulut Bilişim Sistemlerine erişim kolaydır.
- Bulut Bilişim Sistemleri iş risklerini azaltır ve bakım masraflarını düşürür.

Bulut Bilişim Sistemlerinin artan öneminden dolayı birçok araştırma çalışması yapılmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırma çalışmalarından birisi IDG Communications tarafından yapılmıştır. IDG Communications (2020: 2-8) tarafından yapılan ankette, 2015'ten beri sabit bir düzey izleyen işletmelerin Bulut Bilişim Sistemlerini benimseme oranı, son yıllarda artış gösterdiği belirlenmiştir. Yapılan ankette Bulut Bilişim Sistemlerini kullanan işletmelerin oranı 2018 yılında %73'iken 2020 yılında bu oran %81 olmuştur. Bulut Bilişimi Sistemlerinin sektörel bazlı benimsenme oranı imalatda %87, eğitimde %88, sağlıkta %86 ve finansda %75 olmuştur. Tüm sektörlerde Bulut Bilişim Sistemlerini benimseme oranı %62'den fazla duruma ulaşmıştır. Araştırmaya katılan işletmelerin büyük çoğunluğu, Bulut Bilişim Sistemlerinin sabit olmayan maliyet fiyatlamasını ve veri güvenliği riskini, Bulut Bilişim Sistemlerinin dezavantajları olarak belirtmişlerdir. Her ne kadar Bulut Bilişim Sistemlerinin avantajı olmasına rağmen dezavantajından da söz etmek de mümkündür. En önemli dezavantaj olarak güvenlik sorunu çıkmaktadır. Kullanılan hizmet dolayısıyla elde edilen verilerin hizmet sağlayıcı tarafından saklanması problem yaratsa da, Bulut Bilişim Sistemlerini kullanan işletmeler kendi sistemlerine göre Bulut Bilişim Sistemlerini daha güvenli bulmuştur (Özdoğan, 2019: 88-90). Bulut Bilişim Sistemleri hali hazırda bazı girişimler ve analitik uygulamalarda işletmeler tarafından kullanılmasına rağmen, Endüstri 4.0'la beraber daha fazla üretimle ilişkili sorumluluklara sahip olacak ve tüm işletme boyunca artırılmış veri paylaşımını gerektirecektir (Rüßmann vd., 2015: 6).

2.2.4. Arttırılmış Gerçeklik

Arttırılmış Gerçeklik kavramı, yaşadığımız dünyadaki obje ya da eşyaların bilgisayar sistemleri vasıtasıyla üretilen sanal öğelerle zenginleştirilmesi işlemidir (Altınpulluk, 2018a: 124). Banger (2018: 157)'e göre ise Arttırılmış Gerçeklik, gerçek dünyadaki çevrenin ve çevrenin barındırdığı ortamın bilgisayar tarafından üretilen ses, görüntü, grafik ve GPS verileriyle zenginleştirilerek meydana getirilen canlı, doğrudan veya dolaylı fiziksel görünümüdür. Arttırılmış Gerçeklik kavramı, fiziksel dünyaya eklenen

sanal ya da yapay bilgiyle oluşan gerçek zamanlı bir ortam olarak düşünülebileceği gibi, etkileşime müsaade eden ve ortam ya da zaman boyutu bağlamında gerçekleşen bir uygulama olduğu sonucuna da varılabilir (Altınpulluk, 2018a: 124). Arttırılmış Gerçeklik uygulamasının temelini; başa monteli görüntüleme cihazı “Head-Mounted Displays (HMDs)” oluştururken, gerçek ve sanal dünyayı birleştirme, gerçek zamanlı etkileşim ve 3 boyutlu kayıt gibi özellikler diğer önemli bileşenleri oluşturur (Azuma, 1997: 2).

Arttırılmış Gerçeklik uygulamasının kökeni 1950’lili yıllara kadar gitmektedir. Morton Heilig bir görüntü yönetmeni olarak, sinemanın etkili bir yolla insanın sahip olduğu duyuları kullanarak, izleyiciyi ekran aktivitelerine çekmede bir kabiliyete sahip olduğunu düşünmüştür. Bununla ilgili ilk ciddi çalışmayı Ivan Sutherland yapmıştır. Ivan 1968 yılında başa monte edilen ekran vasıtaıyla bakıp görme işi yapan Arttırılmış Gerçeklik sistemini icat eden ilk kişi olmuştur. 1975 yılında ise, Myron Krueger tasarladığı bir odada kullanıcıların görsel objelerle etkileşimine ilk defa olanak tanımış, Arttırılmış Gerçeklik ’in isim babalığını ise Boeing çalışanı olan Tom Caudell ve David Mizell isimli kişiler yapmıştır (Carmigniani ve Furht, 2011: 4). Arttırılmış Gerçeklik kavramıyla ilgili ilk fonksiyonel karmaşık gerçeklik deneyimi yaşatan uygulama ise 1992’de ABD Hava Kuvvetleri’nin Armstrong Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Banger, 2018: 160).

Arttırılmış Gerçeklik sistemi yazılım ve donanım temelli bir sistemdir. Uygulama donanım kapsamında ekran, sensörler ve giriş aygıtlarından yararlanırken, gerçek dünyayla birleştirme yapan ve ortamı zenginleştirerek kameradan bağımsız şekilde gerçek dünya koordinatlarını kamera görüntülerinden elde eden yazılım kısmından yararlanır (Banger, 2018: 160-162). Uygulama temelde “Tanıma”, “Kaydırma” ve “Karıştırma” olmak üzere 3 aşamalı olarak çalışır. Tanıma bölümünde, herhangi bir görüntü, nesne, yüz, bir vücut ya da uzay, sanal objeyle birleştirileceği yerde tanımlanır ya da sistem tarafından algılanır. Algılanan görselin, nesnenin, yüzün, vücudun ya da uzayın belirli bir zaman aralığındaki gerçek zamanlı yerleştirimi kaydırma aşaması esnasında yapılır. Karıştırma bölümünde ise video olarak oluşturulan görsel, sanal zamanlı görüntünün içerisine dahil edilir ya da birleştirilir (Amin ve Govilkar, 2015: 12).

Her ne kadar Sanal Gerçeklik kavramı ile Arttırılmış Gerçeklik kavramı birbirine yakın gözükse de birbirilerini ayıran derin bir sınır vardır. Sanal Gerçeklik uygulamasında, uygulamayı kullanan kişi tamamen sanal bir çevreye sokulur ve çevresinde gerçek dünyaya ait herhangi bir şey göremez. Arttırılmış Gerçeklik uygulamasında ise, uygulamayı kullanan kişi gerçek dünyayla bütünleşmiş ya da birleştirilmiş sanal objelerle beraber gerçek dünyayı da algılayabilir (Azuma, 1997: 2). Kısacası, Sanal Gerçeklik uygulamasında oluşturulan çevre tamamen sanalken, Arttırılmış Gerçeklik uygulamasında gerçek ve sanal oluşumlar iç içedir (Banger, 2018: 157).

Arttırılmış Gerçeklik 'in öne çıktığı en önemli aygıtlar gözlükler olmuştur. Arttırılmış Gerçeklik uygulamasına sahip ve bilişim bağlantılı gözlükler Arttırılmış Gerçeklik alanında ön plandadır. İşletmelerde yükleme ve nakliye işlemlerini yapmak, rota bilgisi edinmek, gelen malların doğru raflara yerleştirilmesini sağlamak ve malın barkoduna erişmek gibi uygulamalarda gözlüklerden yararlanılmaktadır (Banger, 2018: 158).

Arttırılmış Gerçeklik uygulaması, son dönemde ilgi çekmeye başlamış ve gerçek dünya ile sanal dünyayı 3 boyutlu olarak birleştirerek, kullanıcılara birçok yarar sağlamıştır. Bunlar maddeler halinde aşağıda verilebilir (Azuma, 1997: 3):

- Kullanıcının duyularıyla doğrudan algılayamadığı bilgileri Arttırılmış Gerçeklik uygulaması kolayca belirleyebilir.
- Uygulama tarafından iletilen bilgi kullanıcının gerçek zamanlı görevlerini yapmasına yardımcı bulunur.
- Uygulama, kullanıcının gerçek dünya algısını hem zenginleştirmekte hem de etkileşimini arttırmaktadır.

Arttırılmış Gerçeklik uygulaması günümüzde artan bir şekilde ilgiyi üzerine çekerken, kullanımı da çeşitli sektörler eklenerek sürekli olarak artmaktadır. Örneğin, tıp sektöründe Arttırılmış Gerçeklik uygulaması, doktorlar tarafından ameliyatın görselleştirilmesinde ve yapılacak ameliyatlara için alıştırma yapılmasında kullanılırken, sanayi sektöründe ise uygulamadan özellikle karmaşık makinelerin montajında, bakımında ve tamirinde yararlanılmaktadır. Kişi manuel yazıları ve görselleri anlamaya çalışmak yerine, makine içerisine yerleştirilmiş 3 boyutlu çizimlere bakarak, yapılacak işleri aşama aşama görerek anlamakta ve zamandan

tasarruf sağlayarak karmaşanın önüne geçmektedir. Uygulamanın bir diğer kullanım alanı ise; çeşitli nesnelerin ve ortamların görsel olarak açıklanması ve bölümlerinin belirtilmesi, kullanıcıların notlar eklemesidir. Üretilen bir ürünün her bir parçası isteyen kullanıcı tarafından işaretlenebilir ve Arttırılmış Gerçeklik sistemi tarafından ürünün kullanıcı tarafından işaret edilen o parçasının bilgileri ve görüntüsü görülebilir. Arttırılmış Gerçeklik uygulaması ile robotların uzak mesafelerde çalışması sırasında meydana gelen komut kopmaları önlenmekte, önceden komutların sanal gösterimi yapılarak komut gecikmelerinin minimuma indirilmesi sağlanmaktadır. Uygulama aynı zamanda eğlence sektöründe, özellikle sinema çekimlerinde aktif olarak kullanılmaktadır. Sinema çekimleri sırasında maliyetli olan fiziksel gereç ve ortamlar yerine, bunların sanal ikamelerle yapılması daha makul olmaktadır. Örneğin, bir oyuncu ayakta dikildiği yerde sanki belinde sürekli büyük bir halka çeviriyormuş gibi durabilmektedir. Arttırılmış Gerçeklik uygulamasından askeri alanlarda da yararlanılmaktadır. Özellikle, askeri hava araçlarında ve helikopterlerde pilotlar baş göstergeli ve kask temelli ekranlar kullanmaktadır Arttırılmış Gerçeklik; pilotun gerçek görüşüne vektörel grafikleri dahil eder ve onlara gerçek zamanlı hedef ve uçuş bilgileri ile saptanan hedefleri sunar (Azuma, 1997: 3-9).

Arttırılmış Gerçeklik sisteminin uygulandığı bir diğer sektör sanal(yapay) eğitimidir. Siemens işletmesi, acil durumları ele almada ve fabrika personelini eğitmede, Arttırılmış Gerçeklik gözlüklerine sahip, üç boyutlu gerçek çevresel veri temeli kullanan “Comos” adlı bir sanal eğitim modülünden yararlanır. Operatörler sanal gösterim üzerinde tıklamalar yaparak makinelerle etkileşimi öğrenebilmekte, parametreleri değiştirebilmekte bakım talimatları ile operasyonel bilgileri yeniden elde edebilmektedir. İşletmeler, personelinin iş prosedürlerini ve karar verme süreçlerini geliştirmek için çalışanlarına gerçek zamanlı bilgi aktarımına ihtiyaç duymaktadır. Örnek vermek gerekirse, işçiler gerçek zamanlı bir sistemin ihtiyaç duyduğu tamirle ilgilenirken, tamire ihtiyaç duyan sistemden hangi parçanın değiştirilmesiyle ilgili talimat alabilirler. Gerek duyulan talimat, işçilerin Arttırılmış Gerçeklik tabanlı gözlük gibi bir alet kullanarak görme alanlarına doğrudan yansıtılabilir ve soruna daha hızlı müdahale edilebilir (Rüßmann vd., 2015: 7). Arttırılmış Gerçeklik uygulaması, sanal gerçeklik, konuşma, tanıma gibi sistemlerle beraber, üretim ve iş yapma uygulamalarına yeni bir yaklaşım getirecektir. Yaklaşımda kritik görevler yerine getirilirken ihtiyaç duyulan bilgi ve talimat giyilebilir giysiler aracılığı ile temin

edilecek böylece insanlarla robotların beraber çalışması bir adım daha yakınlaşacaktır (Banger, 2018: 157).

2.2.5. 3 Boyutlu Yazıcı (Eklemeli Üretim)

Hızlı Prototipleme olarak da isimlendirilen 3 Boyutlu Yazıcı kavramı; katı, fiziksel ya da 3 boyutlu nesnelerin baskısı ya da çıktısı olarak ifade edilir. 3 Boyutlu Yazıcı kavramı, makine üretiminin tersine ürün için kullanılacak ham maddelerin bir araya getirilip tek bir ürüne birleştirilme işlemidir (Jeroen ve Brujin, 2015: 44). 3 Boyutlu Yazıcı, nesneleri katman katman üreten eklemeli bir üretim işlemi olup sanal ortamda düşünülen herhangi bir nesnenin çıktısını alan makineler olarak ifade edilebilir. (Chong vd., 2018: 1).

3 Boyutlu Yazıcı sistemi, İngilizce dilinde “Computer-Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)” olarak geçen ve kısaltması “CAD” olan bilgisayar destekli tasarım programından yararlanır. İlk etapta baskısı yapılacak nesne kâğıt misali incelikte parçalara ve kesitsel dilimlere ayrılır. Sonrasında ise, oluşturulan her bir parçanın baskılaması, yani, oluşturulması aşamasına geçilir. Burada oluşturulan parçalar; metal, plastik, sıvı ya da toz kaynaklı olabilir. Oluşturma işlemi nihai ürün meydana gelince sona erer. 3 Boyutlu Yazıcı yöntemi; fiziksel modellemelerin, prototiplerin, kalıpların, alet ekipmanlarının ve ürün parçalarının şekillendirilmesine ve uygulamaya geçirilmesine olanak tanır (Jeroen ve Brujin, 2015: 44). Geleneksel bazı teknolojilerden, 3 Boyutlu Yazıcı yöntemine geçiş, insan etkisine gerek olmadan bilgisayarlar ile makinelerin etkileşimde bulunmasına olanak tanıyarak, otonom üretime olanak tanımıştır. 3 Boyutlu Yazıcılar sıradan yazıcıların sahip olduğu hız ve çabukluğa sahip olmakla birlikte, küçük yedek aksamardan, daha büyük boyutlu ev ve arabalara kadar üç boyutlu her şeyi üretme becerileri bulunur (Banger, 2018: 48).

Geleneksel üretim metodu ile 3 Boyutlu Yazıcı metodu arasında belirgin bir fark vardır. Ortadaki belirgin fark için her bir üretim yönteminin bakış açısının belirlenmesi gerekir. Geleneksel üretim tekniği, kullanılan materyallerin genellikle kesme, delme, öğütme ve kumlama gibi işlemlerle ortadan kaldırılmasına dayanır. İşlemlerin sonrasında ise elde edilen kısımlarla nihai ürünün bir araya getirilme işlemine geçilir. 3 Boyutlu Yazıcı metodunda ise, materyal katmanlarının ardışık biriktirilmesi yoluyla eklemeli işlemler sonucu ürün meydana getirilir. 3 Boyutlu Yazıcı, geleneksel üretim

metodunun nihai süreci olan ürün birleştirme işlemini ortadan kaldırır (Strange ve Zucchella, 2017: 177).

3 Boyutlu Yazıcıların tarihi 1970'lere kadar uzansa da ilk gerçek anlamda üretim 1982 yılında Hideo KODOMA tarafından yapılırken, 1984 yılında ise Charles HULL tarafından ilk 3 Boyutlu Yazıcı üretilmiştir. Üretilen yazıcıların boyutsal anlamda büyük olması ve maliyet etkeni yayılımlarını engellemiştir. 1995 yılına kadar gelişme göstermeyen sektör, gelişen teknolojilerle birlikte pazarda yer edinmeye başlamıştır. 1995 yılından itibaren daha çok kendine endüstri sektöründe yer bulan 3 Boyutlu Yazıcılar, özellikle Makerbot ve 3D Systems işletmelerinin geliştirdiği "Cubfy" modeliyle 2009 yılından itibaren bireysel anlamda kullanıma sunulmuştur (Sönmez vd., 2018: 472).

3 Boyutlu Yazıcı yöntemiyle üretimin ilerleyen yıllarda artacağı düşünülmektedir (Jeroen ve Brujin, 2015: 44). Dünyanın en büyük ekonomisinden biri olan Çin'de, Çin Devlet Konseyi 2015 yılında "Made in China" adlı bir rapor yayınlamıştır. Raporda Çin devleti 3 Boyutlu Yazıcı teknolojisini on yıllık süreç içerisinde üretim teknolojisine adapte etmeyi öncelik olarak görmüştür (Chan vd., 2018: 157). Price Waterhouse Coopers adlı bir danışmanlık işletmesinin yaptığı ankette 100'ün üzerinde endüstriyel üretici işletmeye anket uygulanmış ve ankete katılan işletmelerin 2/3'ünün 3 Boyutlu Yazıcı teknolojisini kullandıkları saptanmıştır (<https://www.3dprintwise.com/supply-chain-disruption/>, Erişim tarihi:24.05.2022).

3 Boyutlu Yazıcı teknolojisinin sahip olduğu birçok avantaj mevcuttur. Herhangi bir kişi tasarım ara yüzü olan "CAD" programını kullanarak dünyanın herhangi bir yerinde herhangi bir ürün tasarlayabilir ve tasarladığı nesneyi 3 Boyutlu Yazıcı ile elde edebilir. Ayrıca, 3 Boyutlu Yazıcı teknolojisi oldukça küçük yığınların üretiminde maliyet etkin olduğundan, müşteri gereksinimlerini temel alan ürün kişiselleştirmesine de izin verir. 3 Boyutlu Yazıcı teknolojisi nispeten karmaşık ürünlerin kolay üretimini sağlarken, üretim aşamalarını birleştirdiğinden dolayı üretim zamanını da azaltabilmektedir. Geleneksel üretim metotlarında üretim sonucu önemli bir miktarda atık meydana gelirken, 3 Boyutlu Yazıcı yönteminde ise üretimde atık oluşumu ürün tasarımlarının optimize edilmesinden dolayı daha azdır ya da hiç yoktur. 3 Boyutlu Yazıcı'nın sahip olduğu dezavantajlar da mevcuttur. 3 Boyutlu Yazıcı teknolojisinin

kullanımı nispeten yavaştır ve verimli değildir. Ayrıca, ölçek ekonomisine de uygun değildir. (Strange ve Zucchella, 2017: 178).

3 Boyutlu Yazıcı yöntemi hali hazırda birçok sektörde kullanıma sahiptir. Eğitim alanında 3 Boyutlu Yazıcı teknolojisiyle öğrencilerin hayal gücünün geliştirilmesi, yeni öğrenme fırsatları yakalamaları amaçlanırken, 3 Boyutlu Yazıcı teknolojisi uçak sanayisinde ise uçak gövdelerinde ve motorların üretiminde özellikle aksamaların karmaşık kısımlarının üretilmesini sağlamaktadır. Sağlık alanında ise 3 Boyutlu Yazıcı teknolojisi kol ve bacak gibi protezlerin yapılmasından, kişiye özel tedavi ve ameliyatlara, implant uygulamasından, işitme cihazlarına kadar yaygın bir çapta kullanılmaktadır. 3 Boyutlu Yazıcı gıda sektöründe ise kişiye özgü yiyecek üretilmesinde, bir yiyeceğin defalarca üretimi söz konusu olduğunda oluşabilecek hatanın önüne geçilmesinde ve üretilecek yiyeceğin tasarımında sınırsız bir görüşe sahip olmak için de kullanılmaktadır. Tekstil sektöründe ürünün tamamının üretilmesinde veya oluşturulan ürüne desen yapma işleminde 3 Boyutlu Yazıcı teknolojisi kullanılırken, inşaat sektöründe ise son dönemde maliyet avantajından ve üretimdeki hızından dolayı tercih edilmektedir (Akbaba ve Akbulut, 2021: 25-33). 3 Boyutlu Yazıcı teknolojisinin kullanıldığı alanlar ve o alanlarda kullanıldıkları aşamalara bakıldığında 3 Boyutlu Yazıcı teknolojisinin, daha çok yapılan ana işin yan işlerini yerine getirdiği görülmekte olup, ilerleyen süreçlerde de ana işin tamamını yapacak yetkinliğe gelmesi beklenmektedir (Özdoğan, 2019: 82).

2.2.6.Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin İnterneti, iki sözcükten oluşmaktadır. Bunlar “internet” ve “nesne” kavramlarıdır. (Madakam vd., 2015: 165). İnternet kavramı, Üçüncü Sanayi Devrimi’yle beraber ilk olarak “Arpanet” kavramıyla ortaya çıkarken, başlangıçta iletişim kapasitesi ve hızı düşük kalmış, ayrıca sınırlı sayıda cihazın haberleşmesine olanak vermiştir. Fakat, zamanla milyarları bulan cihazların haberleşmesine olanak sağlayan, kapasite ve hız anlamında da önemli mesafeler kat eden bir sisteme evrilmiştir (Gündüz ve Daş, 2018: 327). Kavramın bir diğer önemli bileşeni “Nesne” ifadesi, gerçek dünya tarafından fark edilebilen kişi ya da obje olarak tanımlanır. Nesnenin, içerisinde elektronik aygıt barındıran, teknolojik olarak gelişmiş metalar olarak düşünülmemesi gerekir, çünkü nesnelere örnek olarak, herhangi bir sanat eserinden yiyecek, içecek ya da mobilyaya kadar her şey verilebilir. Nesne kavramı,

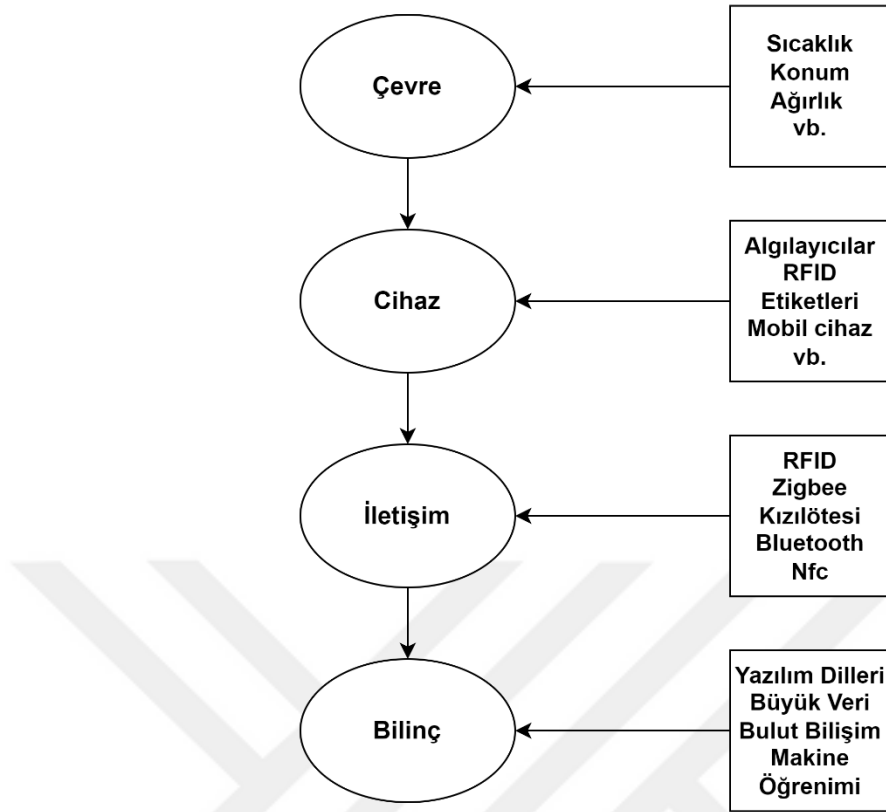
fiziksel ya da maddesel dünyada canlı ya da cansız olan gerçek objeler olarak ifade edilirse yanlış bir atıfta bulunulmamış olur (Madakam vd., 2015: 165).

Nesnelerin İnterneti kavramının ilk kullanımı Kevin Ashton tarafından yapılmıştır. Nesnelerin İnterneti akıllı nesnelerin kapsamlı bir ağ sistemidir. Oluşturulan ağ sisteminde akıllı nesneler otomatik olarak hareket etmekte olup, çevrelerindeki durumlar ve değişiklikler karşısında duyarlılık gösterirler ve harekete geçerler. Harekete geçen akıllı nesneler çevrelerinden aldıkları verileri, bilgileri ve kaynakları ağ ve ağ aracılığıyla diğer akıllı nesnelerle paylaşırlar. Kısaca Nesnelerin İnterneti, insandan insana, insandan nesneye, nesneden nesneye iletişime olanak sağlayan küresel bir ağ olarak ifade edilir (Madakam vd., 2015: 165). Nesnelerin İnterneti kavramının tanımıyla ilgili Tokyo Üniversitesi'nden Profesör Ken Sakamura 1984 yılında "bilgisayarlar her yerde" şeklinde bir tanım yaparken, Mark Weiser ise 1988 yılında kavramı "ulaşılabilir bilişim" olarak tanımlamıştır. Kavramın isim babası Kevin Ashton ise kavramı, "gerçek dünyayı anlamada bilgisayarlar için standart bir yol" olarak tanımlamıştır (Zhou, 2013: 8). Birçok araştırmacı Nesnelerin İnterneti kavramını tanımlamaya çalışmış olmakla birlikte Türkiye'den de Nesnelerin İnterneti kavramına ilgi duyan ve tanımlamaya çalışan araştırmacılar olmuştur. Yavuz (2021: 72), Nesnelerin İnterneti 'ni, "internet üzerinden başka bağlı nesnelerle veri alışverişi yapan, gömülü sanal ve fiziksel cihazların ağ üzerinden birbirine bağlanması "olarak tanımlamış, Özdoğan (2019: 100) ise herhangi bir nesneden, cihazdan, akıllı okuyucudan, makineden ya da insandan üretilen verilerin, bir ağ aracılığı ile başka sistemlere aktarılması olarak belirtmiştir. Nesnelerin İnterneti' ni Görçün (2020: 147) ise "giderek akıllı hale gelen makinelerin kendilerini ve diğer makineleri otonom bir şekilde harekete geçirmeleri ya da bu harekete son vermeleri şeklinde gerçekleşen süreç" olarak tanımlamıştır. Dilimizdeki Nesnelerin İnterneti teriminin karşılığı İngilizce dilinde "Internet of Things" ya da kısaca, "IoT" şeklinde geçer. Kısaca özetleyecek olursak Nesnelerin İnterneti aslında bir ağ sistemidir ve ağ sistemi; fiziksel cihazlardan, makinelere, elektronik veya mekanik donanımlardan yazılımı da kapsayan nesnelerin, data toplamak, dağıtmak ve haberleşmek için oluşturdukları bir yapıdır (Banger, 2018: 280).

Nesnelerin İnterneti kavramı her ne kadar 1999 yılında Procter & Gamble işletmesine hazırladığı sunumda Kevin Ashton tarafından kullanılsa da düşünce olarak 1991 yılına

kadar uzanmaktadır.1991 yılında Cambridge Üniversite'sinden 15 kişilik araştırmacı ve akademisyen tarafından binalarının belli katında bulunan ve içinde ne kadar kahve bulunduğunun anlaşılması için bulunduğu kata çıkılmasının şart olduğu kahve makinesinin, her bir dk da 3 adet görüntüsünü ilgili kişilerin bilgisayarlarına gönderen bir sistem tasarlanmış, böylece, Nesnelerin İnterneti kavramının ilk düşüncesi oluşmuştur. Yapılan sistem sayesinde akademisyen ve araştırmacılar kahve makinesinde ne kadar kahve kaldığını oturdukları yerden görme şansına erişmişlerdir (Kutup, 2011: 151). Sonraki süreçte gelişme gösteren Nesnelerin İnterneti kavramı her ne kadar 90'lı yıllarda Kevin Ashton tarafından bulunsa da tarihler 2005 yılına geldiğinde International Telecommunication Union (ITU) tarafından “The internet of Things.ITU Internet Reports” raporu ile resmi olarak duyurulmuştur (Altınpulluk,2018b:96).2008 yılında Nesnelerin İnterneti kavramını AB resmi olarak tanıırken, Amerikan Ulusal İstihbarat Konseyi (US National Intelligence Council) ise Nesnelerin İnterneti kavramını “Yıkıcı Sivil Teknolojiler” listesine dahil etmiştir.2010 senesinde ise Nesnelerin İnterneti kavramı Çin hükümeti tarafından endüstrinin anahtarı olarak kabul edilmiştir (Madakam vd., 2015: 166). 2008 ile 2009'lu yıllara gelindiğinde internete bağlı aygıtların sayısı yer kürede yaşayan insanların sayısını aşmıştır. İşte bu an Cisco'ya göre Nesnelerin İnternet'inin ya da bir diğer deyişle “Her şey İnternet” kavramının doğuş zamanı olarak kabul görmüştür. “Her şey İnternet” yaklaşımında bir sistem sadece nesnelerle yaratılmaz ayrıca işlemlerle, verilerle, insanlarla hatta atmosferik olgularla ya da hayvanlarla yaratılır ve her şey bir değer olarak kabul görür (Witkowski, 2017: 766).

IoT alanında uygulamaya dönük henüz geçerli bir mimari bulunmamakla beraber “IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) -P2423” gibi üzerinde çalışılan standartlaştırma çalışmaları da vardır. Çalışma kapsamında Görkem ve Bozuklu'nun (2016: 48) tarihli çalışmasındaki mimari benimsenmiş ve **Şekil 2.7'**de gösterilmiştir.



Şekil 2. 7: IoT Katmanları
Kaynak: (Görkem ve Bozuklu, 2016: 48)

Şekil 2.7’de görülen katmanlardan ilki IoT’un çekirdeği diye tabir edilen “Çevre” katmanıdır. Çevre katmanı doğal çevreyi belirtmekle beraber sıcaklık, ışık şiddeti, konum, ağırlık, ph değeri, ses şiddeti, havadaki nem ve karbondioksit oranı, sağlıksal anlamda nabız ve tansiyon değeri vb. gibi fiziksel olarak ölçülebilecek büyüklükleri ifade etmekle beraber, veriler çekirdek katmanında ham halinde bulunur. Bir sonraki katman olan “Cihaz” katmanında ise ham olarak bulunan veriler analog ya da sayısal sinyallere çevrilir. Sinyallerin çevrilme işlemi algılayıcılar (sensörler), mobil cihazlar ya da RFID etiketleri sayesinde olur (Görkem ve Bozuklu ,2016: 48). IoT uygulamalarında güvenlik ve gizlilik, veri güvenliliği ve kaybının önlenmesi açısından önem arz etmesinin yanında, IoT sistemlerin can damarını ise sensörler oluşturur. Çevreyi gözleme ya da herhangi bir aracı ya da sağlık uygulamalarını kontrol etme noktasında sensörlerin işlerini yapmamaları ciddi zararlara yol açabilir (Laghari vd., 2021: 1410). Çevrilme işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen verinin işlenmesi için iletilmesi gerekir. Elde edilen verinin RFID, Zigbee, NFC, Bluetooth, İP, EPC, Wi-Fi, Barkod gibi teknolojik yapılarla taşınması işlemi “İletişim” katmanında yapılır.

İletişim katmanından ilgili iletişim protokolleriyle gönderilen veriler, “Bilinç” olarak adlandırılan veri işleme merkezine gelirler. Burada küçük ölçekli veri işleme faaliyetleri gömülü sistemler aracılığıyla halledilirken daha büyük ölçekli veri işleme faaliyetlerinde ise veriler öncelikle “Bulut Bilişim”de depolanır. Akabinde burada depolanan veriler, veri yığınlarını oluşturur ve bu ise “Büyük Veri” kavramını meydana getirir. Veri yığınlarının birikimi diğer adla Büyük Veri ’nin analizi, makine öğrenme yöntemiyle yapılır (Görkem ve Bozuklu ,2016: 48).

IoT katmanının “İletişim” bölümünde kullanılan teknolojilerin hemen hepsinin IoT’un gelişimine etkisi varsa da şüphesiz IoT’un gelişimine ışık tutan teknoloji “RFID” teknolojisi olmuştur. Çünkü, IoT teknolojisi ilk etapta RFID teknolojisi ile açıklanmaya çalışılmıştır (Altınpulluk, 2018b: 97). Sonuç olarak, RFID teknolojisi daha geniş bir çerçevede açıklanmaya çalışılmış olup kullanılan diğer teknolojiler ise **Tablo 2.1**’de tanımlanmaya çalışılmıştır.

IoT Temel Teknolojisi	Teknolojilerin Tanımlamaları
Radio Frequency Identification (RFID)	Bir nesnenin ya da kişinin kimliğini, radyo dalgalarını kullanarak kablosuz formda ve bu kimliğe seri numarası vererek ileten bir sistemdir.
Internet Protocol (IP)	İnternette kullanılan ana ağ protokolüdür ve internete dahil olan her cihaza bir kimlik numarası verir.
Electronic Product Code (EPC)	EPC, RFID etiketi üzerine elektronik olarak 64 ya da 98 bit kod şeklinde kaydedilir ki EPC sayesinde ürün hakkında detaylı bilgilere kolaylıkla erişilebilir.
Barkod	Barkod sistemi, numaraların ve sayıların değişken genişlikteki çubuk ve boşluklar kullanılarak kodlandığı farklı bir yoldur.
Wireless Fidelity (Wi-Fi)	Wi-Fi bilgisayarlara ve diğer cihazlara kablosuz sinyal üzerinde iletişimde bulunma imkânı veren bir internet teknolojisidir.
Bluetooth	Bluetooth 0-100 m arasında etkili olan ve elektronik cihazlar arasındaki zorunlu kablolu iletişimi kısa menzilli radyo dalgaları kullandığı için ortadan kaldıran, ucuz, kablosuz veri aktarım teknolojisidir.
ZigBee	Zigbee kablosuz sensör ağlarının özelliklerini güçlendirmek için geliştirilen protokollerden birisidir. Zigbee 100 metre menzile sahip olup 250kbps bant genişliğine sahiptir.
Near Field Communication (NFC)	NFC 13.56 Mhz aktarım hızında kısa menzile sahip bir dizi kablosuz teknolojidir. Bu teknoloji 0-4 cm aralığında çalışmaktadır.

Tablo 2.1: IoT ’da Kullanılan Temel Veri Aktarım Teknolojileri

Kaynak: (Madakam vd., 2015: 169-171).

RFID ya da geniş adıyla Radyo Frekanslı Tanımlama Teknolojisi, IoT'un en önemli bileşenlerinden biri durumundadır. RFID, bir nesnenin ya da kişinin kimliğini radyo dalgalarını kullanarak kablosuz formda ve kimliğe seri numarası vererek ileten bir sistemdir. RFID teknolojisi, genelde canlı ya da objeleri radyo dalgaları vasıtasıyla tanımlamada kullanılan teknoloji olup, kullanılması 2.Dünya Savaşı yıllarına kadar uzanmaktadır. Savaş yıllarında RFID teknolojisi düşman uçaklarını belirlemek için radyo dalgalarını kullanmış ve bunun adına radar denilmiştir (Aktaş vd., 2016: 46). Yıl 1999'a geldiğinde RFID teknolojisi kendisini MIT 'deki AUTO-ID Center'da bir teknoloji olarak tasarlanmasında bulmuştur (Madakam vd., 2015: 169). RFID, temelde otomatik tanıma sistemi olup, sistem ise etiket ile okuyucudan meydana gelmektedir. Etiket, içerisinde bir mikroçip ile anten barındırırken okuyucu ise elektromanyetik dalgalar yaymaktadır. Yayılan elektromanyetik dalgalar, etiket içerisindeki mikroçipi enerjilendirip harekete geçirmekte böylece etiketle, okuyucu arasında iletişim kurulmakta ve etiketten okuyucuya veri transferi gerçekleşmektedir. Gerçekleşen iletişim, kablosuz olup belli bir mesafede gerçekleşirken okuyucu tarafından alınan veri sayısal dalga şekline çevrilir (Aktaş vd., 2016: 46).

Nesnelerin İnterneti kavramında “Veri” kavramı önemli bir bileşen olarak ortaya çıkmaktadır. Veri diye ifade edilen kavram, herhangi bir şeye atanan değer olmakla beraber, her zaman veri kavramı anlam ifade etmeyebilir. Yorumlanma, ilişkilendirme ya da farklı işlemlere tabi tutulma yoluyla veri daha anlamlı hale gelebilir ve anlam kazanan veri bilgi haline dönüşebilir. Bilginin uygulama aşamasına geçirilmesi ile öz bilgi oluşur. Veri kavramı bilgisayarların insanlar gibi sezgisel ya da bağlamsal farkındalığa sahip olmamalarından dolayı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış veri gibi kısımlara bölünmektedir. Yapılandırılmış veri, bir dosya ya da kayıt alanına girişi yapılmış veriyi ifade eder ve bilgisayarlar tarafından daha rahat yorumlanır. Yapılandırılmamış veri ise ham ya da işlenmemiş veriyi ifade eder. İnternete bağlanma olanağından yoksun olan cihazların IoT sayesinde internete erişimiyle, üretilen veri miktarı artmış, son 10 sene içerisinde üretilen verinin hacmi günümüzde 1 hafta içerisinde üretilir olmuş, bu ise 20 exabytes veriye karşılık gelmiştir. Veri hacminin büyümesi, verilerin yorumlandırılması ile anlamlandırılmasını gerekli kılmış ayrıca, depolama ve saklama alanlarında ihtiyacın doğmasına neden olmuştur. Doğan ihtiyaçların karşılanmasında diğer Endüstri 4.0 bileşenleri olan “Büyük Veri” ve “Bulut Bilişim” kavramları ön plana çıkmaya başlamıştır. Verilerin uygun kararların

alınıp uygulanması için insanlar tarafından faydalı bilgiler haline getirilmesi gerekir. Çünkü kimsenin erişemediği tonlarca verinin kendi başlarına herhangi bir anlamı bulunmamaktadır. İnsanların kullanımı için veriler M2M(Makineden makineye), M2P (Makineden İnsana) ve P2P (İnsandan İnsana) yollarla ortaya çıkmaktadır. Nesnelerin İnterneti, internetteki verileri bilgilere dönüştürür ve bir eylemi gerçekleştirir. Ayrıca doğru ve zamanlı bilgi sayesinde insan davranışlarını yönlendirmeye de yardımcı olur. Tüm bunların yanında istenen çıktıyla var olan çıktı arasında bağlantı kurar ve insanlara geri bildirim sağlar (Gündüz ve Daş, 2018: 329-332).

IoT birçok farklı alanda kullanılır hale gelmiştir. Akıllı ev konseptinden, otonom araçlara, tarım sektöründe kullanımından, perakende ticarete kadar birçok alanda kendine uygulama alanı bulmuştur. IoT'la birçok eksikliği giderilen Akıllı evler alanında, birçok kuruluş akıllı cihazları ve uygulamaları ile rakipleriyle yarış eder hale gelmiştir. Akıllı evsel uygulamalar sağlıksal durumu iyi olan yaşlılar için son derece yardımcıdır. Uygulama yaşlı kişilerin sağlık durumlarını kontrol eder ve herhangi bir acil duruma karşı da aile üyelerini çabucak müdahale ettirecek duruma getirir. Uygulama aynı zamanda evin zeminine döşenen basınç sensörleri sayesinde, hane halkı çok olan evlerde bir kişinin düşme, kayma gibi durumlarda bunun fark edilmesine olanak sağlar. Akıllı ev uygulaması güvenlik kameralarından da ev çevresindeki sıkıntılı durumların kaydedilmesinde ve fark edilmesinde yararlanabilir. Akıllı şehirler IoT'un büyük oranda kullanıldığı uygulamalarından biridir. Otomatikleştirilmiş ulaşım, kırsal alan güvenliği, akıllı enerji yönetim sistemleri, akıllı gözetim, su tedarigi ve çevresel izleme akıllı şehir kapsamında IoT uygulamalarından bazılarıdır. Akıllı şehir uygulamaları çözümlerinin birçoğu şehirlerde yaşayan insanların yaşam kalitelerini arttırmayı vaat etmektedir. Akıllı şehirlerde IoT çözümleri trafik kargaşasını çözme konusunda ve gürültü kirliliğini azaltmada ayrıca kent alanlarının daha fazla güvenliğe ulaşması noktasında yardımda bulunmaktadır. IoT uygulamasının bir diğeri olan bağlantılı otomobiller de yakın bir gelecekte ortaya çıkacak olup birkaç yıl içerisinde arabaların bütçe sektörlerinde de IoT uygulamalarını görmek mümkün olacaktır. Geçmişte IoT teknolojisi, araçları içsel anlamda optimize etmeye odaklanmışken şimdilerde ise dikkat IoT'un yardımıyla araba deneyimleme yapmak üzere odaklanmıştır.

IoT'un uygulama alanlarından bir diğeri başka alanlar gibi henüz teknolojik yetkinliğe ulaşamamış olan Akıllı Tedarik Zinciri'dir. IoT, ürünlerin takibi, organize edilmesi yolunda yardım sağlayabilir ya da envanter bilgilerini yönetebilir. Amazon, Aliexpress gibi E-ticaret şirketleri depolarında Akıllı Tedarik Zinciri'ni kullanır ve bunu işlerinin verimliliğini yükseltmek ve işleri daha kolay yapmak için seçerler. Giyilebilir teknoloji son yıllarda çok rağbet gören IoT uygulamalarından bir diğeridir. Giyilebilir teknoloji, tüm yaş gruplarından destek kazanmıştır. Nedeni olarak ise kullanım basitliği ve uyuma takibi, kalp atım sensörü gibi sağlıksal yararları verilebilir. Giyilebilir teknolojik aletleri yapmak için Google, Samsung ve Apple işletmeleri yüklü miktarda yatırım yapmışlardır. Giyilebilir teknolojik cihazlar sağlık, spor ve eğlence amacıyla kullanım görmektedir ve cihazların alt aksamaları tamamen sensörlerden meydana gelirken, üst aksamaları ise bir ekran barındırmakla beraber kullanıcının deneyimlemesi için ekranlarında üreticilerinin yazılımlarını kullanmaktadır. IoT'un Akıllı Perakendecilik alanında da büyük bir kullanım alanı vardır. IoT yardımıyla perakendeciler müşterileriyle akıllı telefonlar aracılığıyla iletişim kurabilir ayrıca müşteri ürünü alıp, ödemeyi yapabilir ve ilgili uygulama tarafından sağlanan hizmetle ürünün nerede bulunduğunu takip edilebilir. IoT'un son yıllarda büyüdüğü ve gelecek on yıllarda çok daha fazla büyüyeceği alanlardan birisi de "Dijital Sağlık" uygulamasıdır. Sağlık bakım bölümünde IoT, bağlantılı cihazları kullanarak insanları daha sağlıklı bir yaşam için cesaretlendirmektedir. Bağlantılı dijital sağlık kavramı, insanlar ile sağlık ve eczacılık işletmeleri açısından büyük potansiyele sahip olmakla beraber henüz tüm insanlara ulaşamamıştır.

Günden güne artan insan sayısı ve artan beslenme ihtiyacı yiyeceği olan talebi arttırarak, IoT uygulamalarından biri olan Akıllı Tarım'ı da öne çıkarmaktadır. Akıllı Tarım uygulaması, çiftçilere ya da tarımsal birlikteliklere kazançlarını arttırmada ve tüketicilere daha ucuz daha kaliteli ürün sağlanmasında destek sağlamaktadır. Çiftçiler IoT uygulamasına sahip cihazlar vasıtasıyla ürünlerinin su tedariğini kontrol etmekte ve toprağın nem ve besin ihtiyacı bilgisine ulaşabilmektedir. Akıllı Tarım uygulaması verileri sayesinde bir ürünün boyutu, yetiştirme zamanı belirlenmekte, sonuç olarak ise ürünün doğası izlenebilmekte ve takip edilebilmektedir. Ayrıca yeni yeni uygulanmaya başlanan QR Code sayesinde bir alıcı ürünün içerisindeki haşere ilacı miktarını görebilmekte ve satın almaya karar verebilmektedir. (Laghari vd., 2021: 1404-1407).

Endüstri 4.0'ın önemli bileşenlerinden biri olan “Nesnelerin İnterneti” teknolojisinin avantajları ve dezavantajları vardır. IoT öncelikle avantaj kısmından değerlendirildiğinde; müşterilerin daha iyi katılımının sağlanması, teknolojik iyileştirme, daha az atık oluşturma ve iyileştirilmiş veri toplama gibi özellikler ön plana çıkmaktadır. Müşterilerin daha iyi katılımının sağlanması noktasında IoT sistemi, kalabalığa sahip bağlantıları aşamalı ve hızlı olarak dengeye getirmeye yardımcı olur. Teknolojik iyileştirme noktasında, müşteri deneyimini arttıran bilgi ve benzeri gelişmeler cihaz kullanımını geliştirmesinin yanında aşamalı olarak da güçlü yeniliklere katkı sağlamaktadır. IoT bilgi ve pratik alanında önemli bir kapı aralamaktadır. Sayılan avantajlara rağmen Nesnelerin İnterneti'nde sahip olduğu dezavantajlar vardır. Dezavantajların başında; güvenlik, karmaşıklık, esneklik, uyum ve pazarlama ile teslimat memnuniyeti gelmektedir. Güvenlik olgusunda IoT ağlarıyla cihazlar etkileşirken, sürekli bağlantıda olan cihazlar bir ekosistem yaratır. Herhangi bir güvenlik önlemine rağmen, IoT çok az kontrol sağlar. Kontrolün kaybedildiği durum ise kullanıcıları tüm saldırı türüne açık hale getirir. IoT'un dezavantajlarından bir diğeri ise karmaşıklığıdır. Birçok insan IoT'un plan, organizasyon, bakım ve verilerin kullanımı gibi yapılarının oldukça karmaşık olduğunu keşfetmişlerdir. Dezavantajlardan esneklik kısmına bakıldığında ise birçok insan IoT sistemlerinin kolay bir şekilde entegre olabileceği esnekliğe sahip olmadıkları konusunda endişeleri vardır ve insanlar IoT sistemini karmaşık ya da kapalı sistem olarak görmektedir (Laghari vd., 2021: 10-13). Nesnelerin İnterneti Dünyada en çok gelecek vaat eden teknolojilerden biri olmasının yanında, yükselen eğilim grafiğiyle yenilik tetikleyici bir oluşum yaratmaktadır. Altınpulluk (2018b: 98-99) çalışmasında, “Web of Science” veri tabanını kullanarak Nesnelerin İnterneti kavramının İngilizce karşılığı olan Internet of Things sözcükleri ile makale araması yapmış, çalışmada kavramın ortaya çıktığı 2005 yılı ile 2017 yıllarını baz almıştır. Çalışma sonucunda ilk makale 2009 yılında ortaya çıkarken, yapılan çalışma sayısı hiç azalmamış yükselen bir grafikte artmaya devam etmiştir. Yapılan araştırmalar ülkeler nezdinde incelendiğinde en çok araştırmayı 408 makaleyle Çin yaparken, Çin'i 236 makaleyle ABD izlemiştir. IoT kapsamında bilginin hem doğruluk seviyesi artmış hem de “Bilgi Toplumu”na giden yol hız kazanmıştır (Gündüz ve Daş, 2018: 334). Kendi kendine veri üretimi yapan nesnelerin sayısı artmış, bilgi birikimi daha güven arz edecek bir noktaya gelmiştir. Meydana gelen gelişmelerle, kayıpların azaltılması, atıkların önlenmesi ve

maliyetlerin düşümü sağlanacak, insanlara getireceği en büyük yarar ise bilginin kontrol edilmesi ve yönetilmesi olacaktır (Kutup, 2011: 155). IoT uygulamaları yaşamda daha büyük farklılıklar yaratmaya gayret etmektedir. Daha güncel kablosuz kurulumlarla, daha güçlü sensörlerle ve hesaplama kapasitelerinin gelişimiyle, IoT modern yaşamlar açısından gelecek vaat eden büyük bir beklenti olabilmesinin yanında yaşamları kolaylaştırmaya da devam edecektir. IoT'un gelecek vaat eden gelişimi sayesinde, dev teknoloji şirketleri IoT 'la yaşamları birbirine bağlamaya çabalamaktadır. Teknolojiye sahip olan cihazlar fiziksel ve dijital dünya arasındaki boşluğa köprü kuracak, boşluğu bertaraf etmeye çalışacaklar, aynı zamanda ise yaşamsal, toplumsal ve iş birliği yollarının gelişimine de ışık tutacaklardır (Laghari vd., 2021: 1404).

2.2.7.Akıllı Fabrikalar

Hazır fabrika, Nesnelerin fabrikası, Gerçek zaman çerçevesine sahip fabrika ya da Geleceğin akıllı fabrikası gibi isimlerle de anılan “Akıllı Fabrikalar” kavramının istikrarlı bir tanımı bulunmamakla beraber, endüstriyel sektörde pratik ve bilimsel olarak kullanılmaktadır. (Hozdić, 2015: 31).Akıllı Fabrikalar, gerçekleştirilen tüm süreçlerde otomatikleşmenin ve otonom iyileştirmelerin arttığı işletmelerde, makine ve teçhizat temelli bir ortamı ifade ederken, bunun yanı sıra fiziksel ve sanal alem arasında veri alışverişini yapabilen akıllı bir yapılanma şeklinde de tanımlanabilir(Şekeli ve Bakan, 2018: 205).Akıllı Fabrikalar bir başka açıdan ifade edildiğinde ise birbirleriyle koordineli, kendi başlarına iş süreçlerini gerçekleştirebilen ve birbirleriyle iletişim halinde bulunmalarının mümkün olduğu makinelerin ve sistemlerin yazılım aracılığıyla oluşturduğu bir ağ yapısı olarak düşünülebilir(Hermann, 2018: 2).

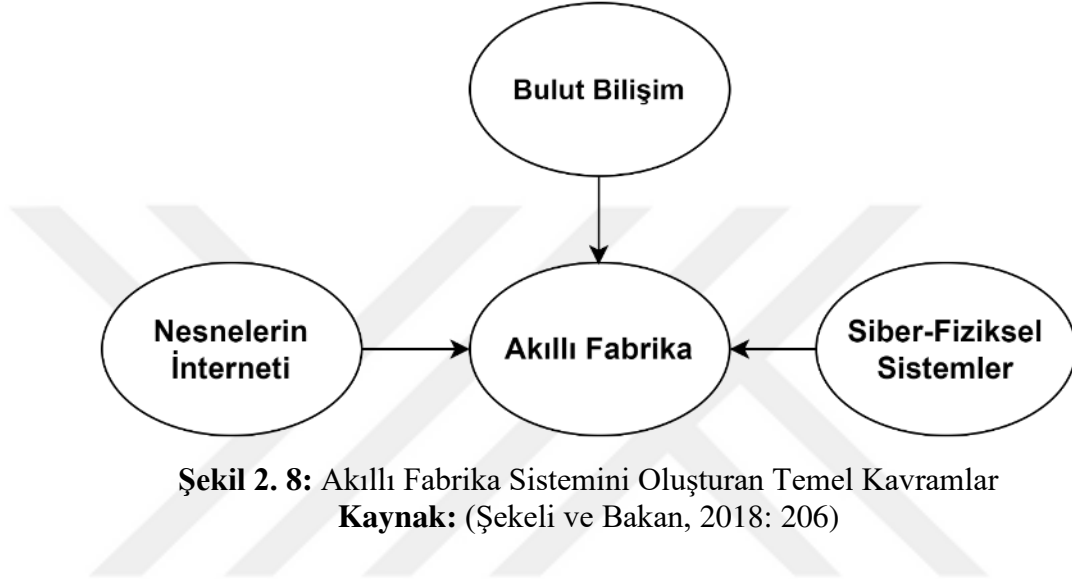
Birinci Sanayi Devrimi'yle beraber insan emeğine ve aletlerin kullanılmasına dayanan atölye tipi üretimin yerini, su ve buhar gücüne dayanan makine temelli üretim almış, İkinci Sanayi Devrimi'yle beraber ise su ve buhar gücünü kullanan makineler yerlerini elektrik enerjisini kullanan makinelere bırakmış ve seri üretimin yolu açılmıştır. Elektroniğin bir bilim olarak ortaya çıkması ve üretim sektöründe kullanılmaya başlanmasıyla, üretimin otomatikleşmesini sağlayacak otomasyon sistemlerine geçilmiş ve Üçüncü Sanayi Devrimi'ne kapı aralanmıştır(Şekeli ve Bakan, 2018: 204).Endüstri 4.0'la beraber gelişen teknolojinin etkisiyle işletme bünyesinde fiziksel

ve dijital sistemler bir çatı altında birleşirken, hem fabrika yada işletme hem de bunlarla ilişkili kuruluşlar örneğin tedarikçiler yada destek hizmeti veren kuruluşlar bütüncül olarak, koordineli hareket imkanına kavuşmuştur. Nesnelerin İnterneti ve Bulut Bilişim sayesinde işletmeler ya da fabrikalar diğer ortamlarla iletişim ve etkileşim gücüne kavuşmuştur. Akıllı Fabrikalarda, üretim akışları her ne kadar karmaşık hale gelse de makineler ile bunların dahil oldukları sistemlerin geri kontrol bildirimlerine sahip olması, kendilerini yönetebilmeleri, oluşan çıktıların özelleşmesi ile sahip olunan kaynakların daha etkin ve verimli değerlendirilmesi, işletmeler açısından oldukça önemli gelişmelerdendir (Banger, 2018: 204).

Akıllı Fabrikalar bir sistem olarak makineler ile veri toplama, alma, gönderme, işleme ve buna uygun davranma temelli işleyiş akışına dayanır. Bu çerçevede Akıllı Fabrikaların can damarını “Akıllı makineler” oluşturur. Akıllı makineler; sensörler ve uygulama modülleriyle donatılır ve önceden tanımlanan işlemleri tamamlamak, birebir görevleri diğer makinelerle aynı zamanda gerçekleştirmek için kendini kalibre etmek, sistem makinelerini organize etmek gibi görevleri icra eder (Osterrieder, vd., 2020: 2). Akıllı Fabrikalar ya da diğer bir deyişle Geleceğin Fabrikaları üretimde talep ve isteğe bağlı çalışmasının yanında, ürünlerin ve hizmetlerin yüksek kaliteli ve müşteri eksensli olduğu, bir karakteristik sistemi ifade eder. İş gücünün nitelikli insanlardan oluştuğu, fiziksel sistemlerle siber sistemlerin bir çatı altında toplandığı, insan ve makine arasındaki uyumun sağlandığı, makinelerin kendi aralarında iletişiminin olduğu ve kendilerine belli çerçevede otonom hareket yetisi kazandırılması diğer Akıllı Fabrika bileşenlerini oluşturur. Akıllı Fabrikalarla gelecek en önemli yenilik ise fabrikanın fiziksel alt yapısı ile dijital alt yapısının birbirine eklenmesi ve ortak bir dille kayıpların en aza indirilmesi olacaktır (Banger, 2018: 219-220). Akıllı Fabrikaların ana dinamiklerin bir tanesi de dijitalleşmedir. Fiziksel özellikteki her çeşit nesnenin sanal ortama dijitalleştirilerek aktarılması, üretim süreçlerinin sanal ortamda simule edilmesi olanağını doğmuştur. Gelen özellik sayesinde üretime başlatma komutu verilmeden olası hatalar farkedilmiştir. Ayrıca, endüstri sektörü fiziki imalat süreçleri yaratmanın maliyetlerinden ve prototip oluşturma zorluklarından kurtulmuştur (Görçün, 2020: 191).

Siber Fiziksel Sistemler, Nesnelerin İnterneti ve Bulut Bilişim, Endüstri 4.0’ın ana çekirdekleri olarak görülmesinin yanı sıra, üç yapı taşının birbirleriyle yakından ilişkili

olduğu gerçeği de fark edilmelidir. Özellikle dikkat edilmesi gereken nokta ise Siber-Fiziksel Sistemlerin, Nesnelerin İnterneti üzerinden iletişime imkân tanınmasıdır. İki sistemin birleşimi ki buraya sonrasında Bulut Bilişim de dahil edilebilir, Akıllı Fabrika kavramının ortaya çıkmasına kaynak teşkil etmiştir. (Hofmann ve Rüşch, 2017: 25). Çalışma kapsamında **Şekil 2.8**'de gösterildiği gibi Akıllı Fabrikanın eklemeni ortaya çıkaran üç teknoloji verilmiştir (Şekeli ve Bakan, 2018: 206).



Şekil 2. 8: Akıllı Fabrika Sistemini Oluşturan Temel Kavramlar
Kaynak: (Şekeli ve Bakan, 2018: 206)

Akıllı Fabrikaların genel çalışma işleyişi **Şekil 2.8**'de gösterildiği gibi Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişim ve Siber-Fiziksel Sistemlerle yakından ilişkilidir. Siber-Fiziksel Sistemler içlerindeki mikroişlemciler, sensörler ve kumanda bölümlerinden oluşmakta olup bağımsız şekilde otonom hareket etme, mevcut duruma göre kendini ayarlama, ağlara katılma, iletişim kurma gibi kabiliyetlere sahiptir. Kısacası Siber-Fiziksel Sistemler, Akıllı Fabrikalarda kullanılan akıllı makineler olarak düşünülebilir. Bu özelliğe sahip makineler, sensörleri aracılığı ile üretime ait verileri kaydederler ve değerlendirilmek ve depolanmak üzere veri depolama merkezine gönderirler. Makinelerin sensörleri aracılığıyla aldıkları verileri iletmelerinde Nesnelerin İnterneti teknolojisi kullanılırken, verilerin fazla olması durumunda ise Bulut Bilişim teknolojisi devreye girer. Oluşan veri yığınının analizi ise Büyük veri teknolojisinin kullanımına yol açar. Analiz edilen veriler sayesinde Siber-Fiziksel Sistem'e sahip makineler o an ki stok durumu, ortaya çıkacak olası problemler, fireler, anlık talepte meydana gelecek değişimler, sipariş değişimleri gibi durumlarda bilgi sağlarlar. Gerçekleşen iletişimde M2M yani makineden makineye iletişim

kullanılmaktadır. İnsanların sistem dışına itildiği yapılanmada M2M iletişim tek yol olarak ortaya çıkmaktadır. Arttırılmış gerçeklik, 3 boyutlu Yazıcı, Simülasyon gibi teknolojiler de Akıllı Fabrika sistemine tedarik zinciri, ürün tasarımı gibi alanlarda destek vermektedir (Herrmann, 2018: 3-5, Şekeli ve Bakan, 2018: 208-209).

Üretim süreçlerinin birbirine bağlı olduğu ve süreçleri insanların yerine makinelerin gerçekleştirdiği Akıllı Fabrikalar konseptinin her sistem gibi avantaj ve dezavantajları vardır. Akıllı Fabrikaların sahip olduğu avantajlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Banger, 2018: 205-208):

- Değer Zinciri Sistemlerinin müşteri istek ve ihtiyaçlarına daha duyarlı hale gelmesi ayrıca esnekliğe ve çevikliğe sahip olması.
- Makinelerde ya da ürünlerde meydana gelen arza ya da bakım onarım gibi fiziksel parçaların değiştirilmesi durumunda zamandan ve emekten tasarruf edilmesi.
- Çalışma akışları, makine konfigürasyonları ya da herhangi bir ürünle ve üretimle ilgili konuların bilgi-iletişim ağları yoluyla yazılım araçları kullanılarak otomatik olarak yapılması.
- Tasarımla üretim arasında iletişim sağlanması.
- Sistemlerin, cihazların ya da makinelerin elde ettikleri veya ürettikleri verileri kullanıp yorumlayarak karar verebilmesi ve de bunu uygulayabilmesi.
- Üretimden gelen ve veri yığını olup Bulut Bilişim'e kaydedilen veriler; sistemler, cihazlar ya da makineler tarafından analiz edilerek üretim bölümünün analizinin yapılması ve bu konuda iyileştirmelerin mümkün hale gelmesi.
- Fiziksel açıdan risk teşkil eden üretim faaliyetlerinin akıllı robot teknolojileri tarafından yapılırken, çalışanların ise odaklarını bilgisel yoğun işlere kaydırabilmesi.
- Müşteri, istek, ihtiyaç ve beklentilerine aynı oranda karşılık vermesi.

Akıllı Fabrikaların avantajlarının yanında her teknolojinin sahip olduğu gibi dezavantajları da vardır. Çalışanlar arasında otomasyonun yaygınlaşması ve işlerin makineler tarafından yapılması dolayısıyla işçiler arasında işlerini kaybetme korkusu, yapılacak dönüşüm sonucu Akıllı Fabrikaların vaat ettiği sonuçları vereceğine duyulan kuşku ya da direnç, tüm cihazların ağa bağlantılı olması ve Nesnelerin İnterneti

teknolojisinin de Akıllı Fabrikalarda yaygın olarak kullanılması nedeniyle, sistem tarafından kullanılan verilerin gizliliğinin tehlikeye düşmesi, siber saldırılara karşı sistemin açık hale gelmesi ve sistem de kesintilerin yaşanacağı korkusu, ağ sistemlerinin ve dijital cihazların üretim hatlarında arza yapmaya ve veri kaybına daha meyilli olması gibi problemler temel dezavantajlar olarak sayılabilir (Banger, 2018: 217-222).

Üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 düşüncesinin uygulama alanı bulması, Akıllı Fabrikalar kavramının oluşmasına neden olmuştur. Akıllı Fabrikalar düşüncesine çeşitli Endüstri 4.0 uygulamalarının da dahil olmasıyla geleneksel fabrika imajı ve üretim anlayışı tamamıyla değişime uğramaktadır. Değişim dinamo etkisi yaratarak sektörde istihdamdan, ekonomik büyümeye, iş güvenliğinden rekabet avantajına vb. kadar çeşitli vaatler öne sürmektedir (Şekkeli ve Bakan, 2018: 215). Üretim endüstrisi, üretime dönük performans ve sürdürülebilirlik gibi zorluklarla karşı karşıyadır. Yaşanan zorluklara, yaşlanan iş gücü, akıllı üretim adaptasyonuna uyumda zorluk, küresel üretim yerlerinde meydana gelen değişiklik gibi maddeler verilebilir. Endüstri 4.0 ve kendi bünyesindeki bileşenlerden biri olan Siber-Fiziksel Sistemler sayesinde Akıllı Fabrikalar kaynaklı akıllı üretim artmıştır (Lee, 2015: 230-231). Yeni ortaya çıkan Akıllı Fabrikalar konseptiyle, mevcut çalışmasına devam eden ve çeşitli zorluklarla karşı karşıya olan “Geleneksel Fabrika” konsepti arasında birçok fark bulunmaktadır ve mevcut farklar **Tablo 2.2**’de verilmiştir. Var olan farkların analiz edilmesi, Akıllı Fabrikalar konseptine geçişin neden önemli olduğu sorusunun da cevabını bulduracaktır.

Geleneksel Fabrika	Akıllı Fabrika
İnsan faktörü fabrika işleyiş sistemi içerisinde bulunur.	İnsan faktörü tümüyle fabrika işleyiş sisteminin dışındadır. Sadece olağanüstü durumlara müdahale şansı vardır.
İş yeri tasarımına ihtiyaç duyar.	İş yeri tasarımına ihtiyaç duymaz.
İş akışındaki değişiklik fabrika tasarımında da değişikliğe neden olur.	İş akışındaki değişiklik fabrika tasarımında değişikliğe neden olmaz.
Üretimin tüm elamanları birbirinden bağımsızdır ve üretim süreçlerinde dar boğazlar meydana gelebilir.	Üretimin tüm elamanları arasında bir koordinasyon vardır ve üretim süreçlerinde dar boğaz durumu söz konusu değildir.

Üretim süreçlerinde hata ya da aksama olma durumu vardır.	Üretim süreçlerinde hata ya da aksama olma durumu pek mümkün değildir.
Üretim süreçleri insan kaynaklı subjektif durumlardan etkilenir.	Üretim süreçleri insan kaynaklı subjektif durumlardan etkilenmez.
Üretim süreçlerinde bütünlük yoktur ve alt süreçlere odaklanmak gerekir.	Üretim süreçleri bütüncüdür ve alt sistem odağına gerek yoktur.
Üretim standarttır, ürünlerin çeşitlendirilmesi ek maliyet gerektirir.	Üretim ve ürün farklılaştırma dijitalleşme dolayısıyla daha esnekler.
Müşteri taleplerinde gecikmeler yaşanır.	Müşteri taleplerine daha hızlı yanıt verilir.
Envanter ve envanter düzeyi müşteri taleplerinin tam olarak belirlenememesi dolayısıyla ek maliyete sebep olur.	Envanter ve envanter düzeyi makinelerin o anki işlerine göre belirlendiği için gereksiz maliyetlere sebebiyet verilmez.
Makineler insanların kontrolünde olduklarından sınırlılıklara sahiptir.	Makinelerin otonom karar alma özelliğinden dolayı sınırlılıkları yoktur.

Tablo 2.2: Geleneksel Fabrika Konseptiyle Akıllı Fabrika Konseptinin Karşılaştırılması

Kaynak: (Görçün, 2020: 190-193)

Tablo 2.2 incelendiğinde Akıllı Fabrikalar ile Geleneksel Fabrikalar arasında üretimden kaliteye, maliyetten bakım faaliyetlerine kadar birçok fark ortaya çıkmaktadır. İnsanların üretim süreçlerinden çekilmesi, makinelerin otonom hale getirilip, akışların ve kararların makineler tarafından yapılması, sahip olunan Siber-Fiziksel Sistemler, Nesnelerin İnterneti teknolojileri başta olmak üzere Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanılması, en doğru kararın verilmesi, sistemin hızlandırılıp, bütüncül bir verimliliğe ve etkinliğe kavuşması gibi özellikler farkı yaratan ana hatlar olarak ortaya çıkmaktadır.

Endüstri 4.0 bileşenlerinden biri olan Akıllı Fabrikalara giden yolu da bilgi teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler, Bulut Bilişim gibi teknolojiler açmış, geleneksel üretimden akıllı üretime geçişte bunlar büyük rol oynamıştır. Akıllı Fabrikaların aşamalı ve evrimsel bir gerçeği olduğu unutulmamalıdır (Lee, 2015: 234). Okeme, vd. (2021: 1502) yaptıkları çalışmada Akıllı Fabrikalara geçişte yaşanan zorluklara ve çözüm yollarına değinmişler, Akıllı Fabrikalar alanında yapılacak araştırmaların “İş Birliği” ve “Siber-Fiziksel” alanlara yoğunlaştırılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

2.2.8.Siber-Fiziksel Sistemler

Siber bir ön ek olarak, hayvan ve makineler alanında iletişim ve kontrol çalışması olan ve “Sibernetik” diye bilinen bilim dalındaki araştırmalardan türemiştir. Sibernetik, bir araştırma alanı olarak da Norbert Wiener, Warren McCulloch, Ross Ashby, Alan Turing ve Grey Walter gibi araştırmacıların başını çektiği, modern çağa karşılık gelen 1940 yılında başlamıştır. 1940 yılından itibaren ise “Siber” kelimesi, bilgi teknolojisi, bilgisayar ve internetle eş anlamlı tutulmuş, ayrıca bilgisayar ya da elektronikte kontrol anlamına gelecek şekilde kullanılmıştır (Bradley ve Atkins, 2015: 23023). Siber-Fiziksel Sistemler ya da İngilizce kısaltması olan “CPS”, fiziksel ve bilişsel bileşenlerden oluşan büyük ölçekli ve ağ tabanlı bir sistem çeşididir (Zhang vd., 2020: 95). Siber Fiziksel Sistemler diye ifade edilen kavram, imalat sistemleri alanında en önemli bileşenlerden biri olarak tanımlanabileceği gibi internetin köprü görevi gördüğü bir sistemde, siber alanla, fiziksel dünyanın birbirine bağlanması olarak da tanımlanabilir (Atik ve Ünlü, 2019: 150). Fiziksel bileşenler ile kontrol, bilişim ve iletişimi birleştirme üzerine odaklanır (Jamwal, 2020: 1). Siber-Fiziksel Sistemler, ele aldığı fiziksel sistemleri; istikrarı, performansı, güvenilirliği, dayanıklılığı ve verimliliği sağlamak için kontrol teknolojileriyle, iletişimle ve bilişimle sıkı sıkıya bütünleştiren bir gelecek teknolojisi olarak düşünülebilir (Bradley ve Atkins, 2015: 23021).

Endüstri 4.0 daha öncede değinildiği gibi belli teknolojilerden meydana gelmektedir ve önemli teknolojilerinden birisi de Siber-Fiziksel Sistemlerdir. Siber-Fiziksel Sistemlere akıllı şebekelerden, endüstriyel anlamdaki denetim süreçlerine, tıbbi izlemelerden otomatik kumanda elektroniğinde kullanımlara kadar geniş bir perspektifte rastlanılmaktadır. Siber-Fiziksel Sistemler iki önemli alt bileşene ayrılır. Bunlardan birisi birbirleriyle internet üstünden kendilerine atanmış, internet adresleri ile bağlantı kuran nesnelerin meydana getirdiği ağ olurken, diğeri ise fiziksel davranışların ve fiziksel nesnelerin sanal ortamda simülasyon vasıtasıyla oluşturulmuş, sanal uygulamalarıdır. Sözü edilen iki yapı, yani birisi gerçek diğeri ise sanal olan sistemler, uyumlu ve reel zamanlı olarak faaliyette bulunur. Dolayısıyla burada temel amaç fiziksel ortamda tam anlamıyla neler yapıldığını sanal ortama dökerek simule etmek ve dolayısıyla ortaya çıkabilecek sonuçlar hakkında bilgi sahibi olmak, fiziksel sistemi iyileştirme yoluna gitmektir (Banger, 2018: 129-130). Siber-

Fiziksel Sistemler işletme bünyesindeki üretim, lojistik ve değer zinciri bölümlerinin kendi içlerinde, aralarında koordinasyonu sağlayan ve yürüten sistemler olarak düşünülür. Sistem insanların güç ve zekâ olarak üstesinden gelemeyeceği işleri hem performans olarak hem de mükemmel olarak yerine getirmede son derece başarılıdır (Görçün, 2020: 183-184).

Geçen yüzyılda iletişim, kontrol ve bilişim alanlarında yaşanan gelişmeler hep bireysel kullanımlar için gelişirken, karmaşık sistemleri bütünleştirme noktasında sonuçsuz kalmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle beraber iletişim, kontrol ve bilişim alanlarının birbirine entegresi kolaylaşmış ve Siber-Fiziksel Sistemlerin gelişiminin önü açılmıştır (Bradley ve Atkins, 2015: 23023). Siber-Fiziksel Sistemlerin ortaya çıkışı ve kabul görmesi 1970’li yıllara kadar uzanırken, sistemin gelişimine yönelik ilk mikroişlemci de bu tarihlerde ortaya çıkmıştır (Jamwal, 2020: 2). Siber-Fiziksel Sistemler fiziksel ya da siber bileşenlerin sinerjisine bağlı olan akıllı sistemler olmakla beraber, fiziksel dünya ile bilgi işleme odaklı sanal dünya arasında bağlantı kuran bir köprü görevindedir. Amerikan Ulusal Bilim Kuruluşu’ndan Helen Gill tarafından Siber-Fiziksel kavram, 2006 yılında ilk kez kullanılmıştır. Helen Gill ’in kavramı önermesindeki temel amaç ise Siber-Fiziksel Sistem’in, yazılım yani “siber” ve donanım yani” fiziksel” bileşen kaynaklı olmasıdır (Musa vd., 2017: 52). Bradley ve Atkins (2015: 23024)’in ortaya koyduğu Siber Fiziksel Sistemlerin gelişim aşamaları **Tablo 2.3**’de gösterilmiştir.

Tarih	Olay ya da Süreç
1932	Kontrol Tasarımı İçin Nyquist Frekans Teknolojisi
1940-1945	Örneklenmiş Bilgi Sistemleri Teorisi
1945	Geri Besleyici Yükseltici Tasarımı
1946	Hücresel Telefonun Başlangıcı
1946	ENIAC Bilgisayarın İcadı
1950	Robot Locus Tekniğinin Gelişimi
1954	Dijital Kontrolün Ortaya Çıkışı
1959	Durum Uzay Tekniğinin Gelişimi
1969	Arpanetin Ortaya Çıkışı
1973	Gerçek Zamanlı Hesaplamanın Gelişimi
1973	Optimal Kontrol ve Adaptif Kontrol, Doğrusal Olmayan Kontrol ve Olasılıksal Sistemlerin Gelişimi
1990	Hibrid Sistemlerle Ayrık Olaylı Sistemlerin Gelişimi
1997	IEEE 802.11 Wifi Standardın Gelişimi

1998	Parçacık Duyumsamasının ve NCS Sisteminin Başlangıcı
2000	QoS'in Gelişimi
2002	Herhangi Bir Zamanlı Kontrol
2006	Siber-Fiziksel Sistemler Kavramı (CBS)

Tablo 2.3: Siber Fiziksel Sistemlerde Tarihsel Süreç ya da Olgular

Kaynak: (Bradley ve Atkins, 2015: 23024)

Siber-Fiziksel Sistemler temelde üç ana bileşenden meydana gelmekte olup söz konusu bileşenler, sensörler, sürücüler ve kontrolördür. Üç ana bileşen sayesinde operasyon maliyeti düşer ve veri işleme periyotları optimize edilir. Siber-Fiziksel Sistemlerde fiziksel dünyadan ya da gerçek ortamlardan sinyal almada, gerçek zamanlı veri edinimi için sensörlerden ve gerçek zamanlı gömülü sistemlerden yararlanılır. Sonrasında ise analog sinyaller dijital sinyallere çevrilir ve sensör ağları kullanılarak siber alana gönderilir. Siber alan ise veri ve kontrol merkezinden oluşur. Sensör ağları tarafından iletilen veri, veri merkezinde depolanır ve veri merkezi, kontrol merkezine talimat vermeden önce alınan verinin güvenilirliğini kontrol eder. Kontrol merkezi, veri merkezinden talimatı aldıktan sonra sürücü ağlarına bir kontrol emri gönderir. Sürücü ağları tarafından alınan kontrol emirleri, düğüm noktalarına iletilir. Siber-Fiziksel Sistem'de fiziksel dünyayla etkileşen sensörler ve sürücüler fiziksel dünyayı oluştururken, verileri alan ve emirler ileten veri merkezi ve veri kontrolü ise siber dünyayı oluşturur (Jamaludin ve Rohani, 2018: 1-3).

Siber-Fiziksel Sistemler, gelişmiş endüstriyel sistemler ve uygulamalar inşa etme noktasında göz alıcı bir temel sağlayabilirken bunu ise Nesnelerin İnterneti yoluyla yenilikçi faaliyetleri bütünleştirerek yapar. Oluşturulan bütünleştirme ise bilgi işlem ve iletişim alt yapısına sahip fiziksel gerçeklik çalışmalarının bağlantısına olanak tanır. Siber-Fiziksel Sistemler yeni bir dijital sistemi iki konseptte sunmaya çalışır. Konseptlerden ilki, fiziksel dünyadan gerçek zamanlı veri ile siber dünyadan geri besleme bilgisi ediniminde gelişmiş bağlantı temini olurken, diğeri ise akıllı veri yönetimi, analitiği ve siber dünyayı inşa eden sayısal kapasitedir (Zhang vd., 2020: 95). Siber-Fiziksel Sistemler, sayısal bileşenler ile fiziksel ağların etkileşimini pürüzsüz bir şekilde tasarlayan bir mühendislik sistemidir. Siber-Fiziksel Sistemlerde mühendislik matematiksel çıkarımlara, teknolojiye ve fiziksel işlem modellemesine odaklanır (Musa vd., 2017: 52).

Siber-Fiziksel Sistem uygulamaları, insan yaşamında güvenlik, rahatlık, kolaylık gibi alanlarda muazzam bir gelişim potansiyeline sahip olmakla beraber birçok alanda yaşam kalitesinin gelişimiyle, kritik alt yapıların kurulumu konusunda önemli bir yarar sağlamaktadır. Siber-Fiziksel Sistemlerin uygulama alanları otonom sistemlerle iletişime olanak veren sensör temelli bir çatıya sahiptir ve uygulama alanı yaygın olmasına rağmen sektörel bazlı kategorilere bölünmesi daha sağlıklı olacak olup, uygulama alanları **Tablo 2.4**'de verilmiştir (Musa vd., 2017: 52-54).

Siber-Fiziksel Sistemlerin Uygulandığı Sektör	Uygulama Kapsamı
Üretim	Endüstriyel makineler, müşteriler, tedarik zinciri, tedarikçiler ve iş sistemleri arasında gerçek zamanlı veri paylaşarak süreçleri geliştirir ve optimizasyona olanak sağlar.
Sağlık	Hastaların fiziksel durumlarının uzaktan ve gerçek zamanlı gözetimi, hastaneye yatışları sınırlandırma, yaşlı ve engellilere yönelik tedavileri geliştirme, gelişmiş hasta kaydı tutma.
Ulaşım	Hava yolu ve hava trafik yönetimi, insansız araç tasarımları, insan kaynaklı kazaların önlenmesi, araçlarla yolların haberleşmesi, zaman ve para kazancı.
Yenilenebilir Enerji/ Güç Şebekeleri	Akıllı şebeke kontrolüyle enerji verimliliğini geliştirmek ve güvenilirliği arttırmak, üretim, iletim, dağıtım ve tüketimin her safhasında kontrol birimiyle haberleşerek geri bildirim sağlama.
Tarım	İklim, toprak ve diğer ilgili bileşenlerle veri toplayarak daha kesin tarımsal yönetim sistemi elde etmek ve bu sayede güvenli tarım ve yiyecek güvenliği sağlama.
Bilgisayar Ağları	Sistemleri ve kullanıcı davranışlarını daha iyi anlamaya yardımcı olmak, sosyal ağların ve e-ticaret sitelerinin kullanıcı profilinin analizi yoluyla uygun ürün satmalarına ya da arkadaş bulma önerilerine destek sağlama

Tablo 2.4: Siber-Fiziksel Sistemlerin Uygulandığı Sektörler
Kaynak:(Musa vd., 2017: 54-56, Jamaludin ve Rohani, 2018: 3-4)

Siber-Fiziksel Sistemlerin özellikle endüstriyel anlamda kullanılmasının birçok yararı bulunmaktadır. Üretim süreçleri açısından, iş süreçlerinde kullanılan bir ekipman

sürekli gözlenebilir, ekipmanın o anki durumuna ve pozisyonuna kolaylıkla erişilebilir ve uzaktan kontrol yoluyla da her bir ekipmanın fonksiyonu kontrol edilebilir. Ekipmanlar sensör tabanlı veri işleme ve endüstriyel özel algoritmaya sahip olduklarından, otomatik hareket edebilme kabiliyetine sahip olup, bakımlarının ve tamirlerinin önceden tahmin edilmesi ve aksaklıkların önlenmesi, üretim süreçlerindeki zaman kayıplarını telafi eder ve müşteri tatminini artırır. Ayrıca ekipmanlar belli bir mesafeden hataları ve zararları da teşhis etme yeteneğine sahiptir (Kamaludin ve Mulyanti, 2020: 4).

Siber-Fiziksel Sistemler sahip oldukları avantajlarının yanında dezavantajlara da sahiptir. Sistem bünyesinde kullanılan cihazların; Bluetooth, Zigbee, Rf vb. gibi farklı iletişim protokolleri kullanması ve bunun veri heterojenine sebebiyet vermesi, güvenilirlik ve güven konusunda yaşanacak bir zayıflığın yaşama, mülkiyete ve sistem bozulmalarına varacak zararlara yol açma endişesi, sağlık, cinsiyet ya da din gibi hassas bilgilerin yönetiminde gizliliğe yönelik endişelerin ortaya çıkması gibi konular Siber-Fiziksel Sistemlere yöneltilen eleştirilerdir (Musa vd., 2017: 56-57).

Siber-Fiziksel Sistemlerin dış dünya ile etkileşime geçmesi, “Siber saldırı” olarak bilinen bir tehditle karşı karşıya gelmelerine neden olmuştur. Sisteme yapılan siber saldırı, sistemin tepki süresini etkileyebilir ve gerçek zamanlı gömülü sistemleri derin bir zarara uğratabilir. Sonuç olarak sistemde gecikmeler yaşanabilir ya da sistemde tahmin edilemez davranışlar vuku bulabilir (Jamaludin ve Rohani, 2018: 4-5). Tüm bu olumsuz durumlara rağmen bunu önleyecek sistemler de hayata geçirilmektedir. Gömülü sistemler için izolasyon temelli güvenlik mimarisi, istenmeyen türde yazılımların ve değişikliklerin saptanması için bütünlüğün doğrulanması sistemi ve cihaz eşleştirmesinin manuel yolla değil de otomatik yolla yapılarak, mevcut bilgilerin diğer cihazlar arasında da güvenli kullanılmasına imkân verecek aygıt yönetimi sistemi alınacak temel önlemlerden sayılabilir (Banger, 2018: 142-143).

Siber-Fiziksel Sistemler ’in endüstri sektörüne; iş akışlarının planlanmasında, üretim ve bakım sistemlerinde yararları olduğu bir gerçektir (Kamaludin ve Mulyanti, 2020: 7). Siber-Fiziksel Sistemlerin ekonomik potansiyeli sanıldığından çok daha geniş olmakla beraber Siber-Fiziksel Sistemlerin gelişmesi teknolojik ilerlemelere bağlıdır. Teknolojik gelişmelerle beraber Siber-Fiziksel Sistemlerde kapasite, uyumluluk, güvenlik ve esneklik gibi alanlarda ilerleme sağlanacaktır (Musa vd., 2017: 57). Siber-

Fiziksel Sistem kaynaklı üretim anlayışı geleceğin üretim anlayışı olacak olup, gelişen yapısıyla gelecekte endüstriler arasında ve küresel üretim senaryosunda daha fazla değer yaratacaktır (Jamwal, 2020: 9-10).

2.2.9.Büyük Veri

Büyük Veri, yapısal açıdan bakıldığında değişik türde ve büyük oranda yapılandırılmamış olan verinin hızla ve değişik bir yöntemle toplanması ve kayıt altına alınması ile oluşan veri setleridir (Altunışık, 2015: 45-49). Uygulamalarının ve çözümlemelerinin kendine has olduğu, geleneksel veri analizi yöntemini depolama teknolojisi ve tekniği ile geride bırakan Büyük Veri, ilişkisiz ya da farklı veri kümelerini bir araya toplayan, bunların analizini, işlenmesini ve depolanmasını sağlayan bir saha olarak ortaya çıkmaktadır. Veri depolanmasının kritik eşiği aşması durumunda devreye Büyük Veri girmektedir (Doğan ve Arslantekin,2016:23). Büyük Veri kavramıyla kastedilen, sosyal medya ya da internetten elde edilen verilerin anlamlandırılması ya da yapılandırılması faaliyetidir (Çark vd., 2019: 116).

Bilgi çağıyla beraber veri; tarım devriminde toprak, sanayi devriminde demir gibi Endüstri 4.0 döneminin de bir sembolü haline gelmiştir. Dijitalleşmeyle beraber herkesin yaptığı işlemlerde arkasında bir ayak izine benzer veri bırakması, bir bakımdan insanları tedirgin ederken asıl merak edilen konu ise verinin nasıl kullanışlı ve bilgi haline dönüştürüleceğiyle ilgili olmuştur (Çark vd., 2019: 116). Teknolojinin gelişmesi ve internetin her alana nüfuz etmesiyle; Nesnelerin İnterneti yoluyla makinelerden üretilen veriler, internetten sosyal medya kanalıyla, web siteleri yoluyla ya da e-ticaret alışverişleri maksadıyla elde edilen veriler artarak yığın haline gelmiş ve böylece söz konusu verileri üreten kişi ya da nesne kaynaklı analizlerin yapılmasının yolu açılmıştır. Büyük Veri kavramı burada ortaya çıkmış, veri yığınlarını kendi aralarında ilişkilendirmiş, sonrasında veri tabanlarında bunları yapısal bir yolla sınıflandırmış ve nihai olarak raporlama işlemi yaparak verileri kullanıcıların anlayacağı bir dile çevirmiştir. Büyük Veri sahip olduğu işlevle, geçmişte kullanıcılara ait verileri analiz ederek gelecekte oluşacak durumlara karşı insanları bilgi sahibi yapacak bir durum yaratmıştır (Aksoy vd., 2017: 1915).

Büyük Veri kavramıyla aslında ulaşılmak istenen temel amaç işletme ve endüstrilerin aldıkları stratejik kararlarla hedeflerin uyumlu olması ve değişen şartlarda sapmaların kabul edilir düzeyde kalmasıdır. İşletmeler tüm nedenlerden dolayı müşterilerinin tüm

bilgi ve verilerine ulaşma arzusu güderler. İnternetin ortaya çıkması ve kişilerin de ağı dahil olması işletmelerin arzusuna ışık tutmuştur. Kişilerin internete girerek, sosyal medyada ve e-ticaret sitelerinde isteyerek ya da istemeyerek bıraktıkları veriler, işletmelere kaynak sağlamıştır. Kişilerin internete bıraktıkları veriler, internet ya da herhangi bir diğer ortam aracılığıyla bir araya getirilmiş ve dijital formata dönüştürülmüş böylece devasa veri tabanları ortaya çıkmıştır. Oluşan kavram ise Büyük Veri bileşenini oluşturmuştur. Sonuç olarak, çeşitli kaynaklardan doğrudan ya da dolaylı şekilde veriler sisteme gelmekte ve depolanmakta ardından ise endüstriler ya da bireyler Büyük Veri 'nin desteği ile istedikleri verilere ulaşmakta ve karar alma süreçlerinde bunlardan faydalanmaktadır. Zamanla Nesnelerin İnterneti bileşenin yaygınlaşması ve makinelerden gelen verilerin artışıyla artık Büyük Veri 'nin içerisine akıllı cihazlarda katılmıştır. Akıllı cihazlardan da gelen veriler aynı sistematikte analiz edilmekte olup sistemi düzeltmeye ya da iyileştirmeye dönük adımlar atılabilmektedir (Görçün, 2020: 166-167).

Modern çağda işletmeler ve endüstriler hem ilgili süreçlere ait veri ve bilgilerin kendi kapasitelerini aştığından hem de dışsal kaynaklı değişimleri tam olarak yönetme şansına sahip olamadıklarından dolayı kendilerine ait veri tabanı oluşturup, bunları yönetecek güçten mahrumdurlar (Görçün, 2020: 170). Büyük Veri, sahip olunan geleneksel ilişkisel veri tabanlarında veri saklanması ve işlenmesinin maliyetli olmasından ötürü geliştirilmiş bir teknolojidir. İlk olarak 2003 yılında Google firması tarafından kullanılmış ve ardından ise diğer firmalar tarafından da açık kaynak kodlu yazılım gereçleri ile çoğaltılmıştır (Özdoğan, 2019: 84-85). Büyük Veri düşüncesinin teknoloji devi Google firmasından çıktığı düşünülse de Büyük Veri kavramının geçmişinin çok öncelere gittiği görülmektedir. Gill Press isimli araştırmacı 2013 yılında Forbes dergisinde “A Very Short History of Big Data” isimli bir makale yayımlamış ve Büyük Veri kavramının tarihçesini 1944 yılına kadar götürmüştür. Tarihi bu kadar eskiye dayanan kavramın oluşmasına ve gelişmesine ışık tutan araştırmacı ve kurumlar ile bu alana yaptıkları katkılar derlenerek **Tablo 2.5'**de verilmiştir (<https://www.forbes.com/sites/gilpress/2013/05/09/a-very-short-history-of-big-data/?sh=28e8a4b565a1>, Erişim tarihi: 10.02.2022).

Araştırmacı	Yıl	Yapılan Katkılar
Fremont Rider	1944	Kütüphanelerde her sene artan fiziki materyallere dikkat çekmiş ve kapasitelerin bu gidişle yetersiz olacağını ifade etmiştir.
Derek Price	1961	Bilimsel bilginin, yapılan bilimsel araştırmalara bakarak, katlanarak sürekli arttığını ifade etti.
B. A. Marron and P. A. D. de Maine	1967	Bilgi patlamalarını göstererek, bilgi depolaması gereksiniminin minimumda tutulması gerektiğini ifade etmişler, kâğıt yerine tamamen otomatik ve hızlı bir makine önererek, fiziki depolamayı azaltmak istemişlerdir
Japonya Posta ve İletişim Bakanlığı	1975	Kurum 1975 yılında Japonya genelinde dolaşımda olan bilgi hacmini izleyerek, bilgi akışı sayımlarını yürürlüğe koymuştur.
I.A. Tjomsland	1980	Mevcut durum için verilerin depolanma anlamında giderek boşluk bırakmayacak şekilde yer kapladığını ifade etti.
Macaristan Merkezi İstatistik Ofisi	1981	Ülkedeki bilgi endüstrilerinin kullandığı bilgi hacmini ölçmek ve hesaplamak için çalışma yaptı.
Peter J. Denning	1990	Veri kalıplarını anlayan ve tahmin edebilen ve bu yolla üretilen veri hacmini azaltmayı ve veri kurtarımını mümkün kılacak bir makine önerdi.
Michael Cox and David Ellsworth	1997	Bilgisayarlardaki görselleştirme işleminin bilgisayarları zorladığına dikkat çekmişler, üretilen veri dizilerinin çok büyük olduğunu belirtmişler ve bu kavrama Büyük Veri problemi adını vermişlerdir.
K.G. Coffman and Andrew Odlyzko	1998	2002 yılına kadar Amerika'daki internet veri trafiğinin ses trafiğini geçeceğini öne sürdüler.
Steve Bryson, David Kenwright, Michael Cox, David Ellsworth ve Robert Haimes	1999	Araştırmacılar bilimsel anlamda ilk kez Büyük Veri kavramını kullandılar.
Peter Lyman ve Hal R. Varian	2000	1999 yılında Dünya'da 1.5 exabayt veri üretildiğini, dünyada kadın, erkek ve çocukların her birinin 250 megabayt veri ürettiğini saptamışlardır.
Doug Laney	2001	Hacim, Hız ve Değer kelimelerinin İngilizcedeki karşılıklarının baş harflerinin hepsinin V harfi olmasından dolayı 3V kavramı Büyük Veri' nin boyutları olarak açıklandı.
Bret Swanson ve George Gilder	2008	Amerika'daki internet trafiğinin 2015 yılına kadar zetabaytlar mertebesine ulaşacağını, internet büyüklüğünün ise 2006 yılındakinden 50 kat daha büyük olacağını belirtilmiştir.
Roger E. Bohn and James E. Short	2009	2008 yılında yapılan çalışmada Amerikalıların yıllık 1,3 trilyon saatlik veri tükettikleri bunun ise

		ortalama kişi başına 12 saate karşılık geldiği belirlendi. Veri hacmi olarak ise 3,6 zetabayta karşılık gelmekteydi.
Martin Hilbert ve Priscila Lopez	2011	1986 ile 2007 yılları arasında dűnyada veri depolama kapasitesindeki analog ۆzelliđin, 2007 yılına geldiđinde %94'űnű dijital depolama teknolojisine dűndűđűnű belirtmiřlerdir.
Dnah Boyd and Kate Crawford	2012	Bűyűk Veri'yi kűltűrel, teknolojik ve bilimsel yűnden tanımlamıřlardır.

Tablo 2.5: Bűyűk Veri Kavramının Tarihsel Geliřimi

Kaynak: (<https://www.forbes.com/sites/gilpress/2013/05/09/a-very-short-history-of-big-data/?sh=28e8a4b565a1>, Erişim tarihi: 10.02.2022)

Dűnyada her geçen gűn oluřturulan verinin hacminin artması ve internet űzerinde űretilen verilerin sesten gűrűntűye, yapısalardan yapısal olmayana kadar çeřitlenmesi ile beraber, verilerin deđerlendirilmesinde Bűyűk Veri kavramı ۆne çıkmıřtır. Uluslararası bir firma olan Boeing firmasının 787 adlı uçađının bile bir uçuřunda yarım terabayt veri űretmesi, Bűyűk Veri 'nin ۆnemini ortaya koymaktadır (űzdođan, 2019: 84). Bűyűk Veri' nin merkezini veri oluřturmakla beraber verinin bűyűklűk olarak nasıl arttıđı ve hangi adlara karřılık geldiđinin de bilinmesi gerekmektedir. Veri bűyűklűđűnde en kűűk parçayı bayt diye tabir edilen bűyűklűk oluřtururken, en bűyűđűnű ise řu an yottabayt diye tabir edilen bűyűklűk oluřturmaktadır. Veri bűyűklűkleri ile veriler arasındaki kademe bűyűklűklerinin daha iyi anlařılması için veri bűyűklűklerinin somutlařtırılması yoluna gidilmiřtir. Somutlařtırılan veri bűyűklűkleri, **Tablo 2.6'**da verilmiřtir (<https://www.oldcolony.us/wp-content/uploads/2014/11/whatisbigdata-DKB-v2.pdf> -16, Eriřim tarihi: 02.03.2022).

Veri Bűyűklűk Terimi	űrnek Kısımında Karşılığı
Bayt	Bir pirinç tanesi
Kilobayt	Bir fincan pirinç
Megabayt	8 uval pirinç
Gigabayt	3 tır pirinç
Terabayt	2 konteynır gemisi pirinç
Petabayt	ABD eyaleti olan Mannathan'ı kaplayacak pirinç adeti
Exabayt	Washington, Kaliforniya ve Oregon eyaletlerini kaplayacak pirinç tanesi

Zettabayt	Pasifik Okyanusu'nu dolduracak pirinç tanesi
Yottabayt	Dünyayı kaplayacak pirinç tanesi

Tablo 2.6: Veri Büyüklüklerinin Sayısal Büyüklük Açısından Örneklenmesi
Kaynak: (<https://www.oldcolony.us/wp-content/uploads/2014/11/whatisbigdata-DKB-v2.pdf>,Erişim tarihi:02.03.2022)

Tablo 2. 6'dan da açıkça görüleceği gibi veri büyüklüğü arttıkça, veri büyüklükleri arasında sayısal makas açılmakta ve verinin büyüklüğü devasa boyutlara ulaşmaktadır. Megabayt ve Gigabayt değerleri daha çok bilgisayar işlemlerinde kullanılırken, Exabayt ve Zetabayt değerleri ise Büyük Veri işlemlerinde kullanılmaktadır. İnternetin, artan nüfus ve akıllı makineler yoluyla büyümesiyle çok yakın bir gelecekte Yottabayt kavramı da hayatımıza girecektir (<https://www.oldcolony.us/wp-content/uploads/2014/11/whatisbigdata-DKB-v2.pdf> ,Erişim tarihi:02.03.2022).

Büyük Veri temelde, verilerin sağlanması, bütünleştirilmesi, analiz edilmesi ve yönetilmesiyle ortaya çıkan bilginin, bilgiden yararlanacak ilgili kişiye teslimiyle son bulan bir süreçtir. Farklı kaynak ve uygulamalardan alınan veriler ilk aşamada kullanılmak üzere depolanır. Depolama işlemi bireysel olabileceği gibi Bulut Bilişim Sistemlerinde de olabilir. Çünkü veri hacmi her geçen gün büyümektedir. Elde edilen ve depolanan veriler, sonrasında geleneksel veri tabanlarının başaramadığı dağınık verileri bir araya getirir. Bir araya getirilen veriler tek bir veri haline gelir ve ilgili müşterinin isteğine uygun formata dönüştürülür. Nihai olarak analiz kısmında ise bütünleştirilen veriler, kullanıcıların istediği sonuçlara uygun şekilde analiz edilerek, bilgiye ulaşılması amaçlanır (<https://www.oracle.com/a/ocom/docs/what-is-big-data-ebook-4421383.pdf> ,Erişim tarihi:03.03.2022).

Veri kavramının büyüklüğünün yanı sıra sahip olduğu diğer önemli bileşen ise çeşitlilik özelliğidir. Veriler, yapılandırılmış, yapılandırılmamış ve yarı-yapılandırılmış olarak 3 türde sınıflandırılır. Yapılandırılmış veriler uzunluk, tasarım, tip vb. olarak belli bir tanıma sahip olup, SQL dilleriyle sorgulanabilmekte ve toplam veri hacminin %20'sini meydana getirmektedir. Yapılandırılmamış veri tarafında ise yapılandırılmış veride tanımlı olan tasarım, tip, biçim ve uzunluk gibi özellikler değişkenlik göstermekte olup kategorik değildir. Yapılandırılmış veriler yazma işlemli bir yapıya sahipken, yapılandırılmamış veriler ise okuma işlemli bir yapıya sahiptir (Banger, 2018: 86-87). Yarı yapılandırılmış veri ise yapı olarak yapılandırılmış veriye

benzemesine rağmen yapılandırılmış veri gibi statik de değildir. Statik anlayışta yüksek performans vardır ve paralel tekniğe ihtiyaç duyulmamasından dolayı bilgi çıkarımı kolaydır (Aktan, 2018: 3-4).

Büyük Veri kavramı anlaşılması için “4V” kuralıyla ifade edilir ve “4V” ifadesi İngilizce dilindeki dört kelimenin baş harflerini oluşturur. Bunlar: Velocity (Hız), Volume (Hacim), Variety (Çeşitlilik) ve Value (Değer) kavramlarıdır. 4V kavramındaki her bir sözcük verideki değişimi ifade ederken, değişimler arttıkça Büyük Veri kavramının öne çıkması da kolaylaşmaktadır. Endüstri 4.0 ile beraber robotik ya da siber devrim ürünlerinin makine verisi üretmek hareket etmesi, oluşan verilerin hacminin artmasına yol açmakta, artan veri hacminin ise analiz edilip, oluşum hızının ölçeklendirilmesi ve içlerinden yararlı diye tabir edilen bilgilerin alınması gerekmektedir. Verilerin analizi ile yararlı bilgilere dönüşüm işleminde “Büyük Veri” kavramı ve “Büyük Veri” kavramının iki bileşeni olan hacim ve hız kavramları öne çıkmaktadır. Veri çeşitliliği açısından önceleri yapılandırılmış ve geleneksel veri yönetim mekanizmalarına hitap eden veriler varken, zamanla karmaşık üreyen ve yapısal olmayan veriler çoğalmaya başlamıştır. Sonuç olarak, verilerin yönetilmesi, verilerden anlam çıkartılması, verilerin analizi ve saklanması gibi süreçlerde Büyük Veri ’deki çeşitlilik bileşeninden yararlanılmaktadır.

4V kavramının son bileşeni ise değer bileşenidir. Tüm veri aşamaları yapıldıktan sonra değer aşamasının yapılamaması elde edilen verilerin değerlendirilememesine, yığınlardan anlam ve bilgi analizi yapılamamasına, verilerin eskimesine ve maliyetlerin yükselmesine sebebiyet verir. Dolayısıyla, değer kavramı olan nihai aşama için Büyük Veri’ nin tüm araçlarının seferber edilmesi, işe yarar bilgilerin sağlanması önem arz etmektedir (Özdoğan, 2019: 85-86).

Günümüzde verilerin %95’inin yapılandırılmamış veri olması yani belli bir standart ölçeğe sahip olmaması, Büyük Veri’yi çeşitlilik açısından ortaya çıkaran bir etken olmaktadır. Hız bileşenine bakıldığında ise sosyal medyalarda günde milyarlarca kez beğeni yapılması, mesaj atılması ve tweet gönderilmesi ya da hareket halindeki araçların sensörleri vasıtasıyla kısa zamanda petabaytlar mertebesinde veri üretmeleri nedeniyle, üretilen verilerin aynı hız ile analizleri Büyük Veri ’nin hız bileşenini önemli hale getirmektedir. Üretilen veri miktarının üssel olarak artması, giderek

çoğalmas ve büyüklük olarak genişlemesi ve mevcut veri tabanlarına verilerin sığmaması, Büyük Veri 'nin hacim bileşenini öne çıkarmaktadır (Aktan, 2018: 4-5).

Büyük Veri 'nin endüstriyel kullanımı ve uygulama alanları her geçen gün artmaktadır. Bankacılıktan, eğitime, sağlıktan havacılığa kadar geniş bir uygulama yelpazesi vardır. Büyük Veri uygulaması veri üretiminin yoğun olduğu her alanda görülebilir. Büyük Veri 'nin uygulandığı süreçlere, savunma sektöründeki akıllı okuyucular ile üretim bandındaki robotların faaliyetleri sonucu ürettikleri veriler örnek verilebilir (Özdoğan, 2019: 87). PriceStats isimli işletme Büyük Veri'yi ülkelerin enflasyonunu tahmin etmede kullanırken, Walmart isimli işletme ise ticaret-doğa ilişkisini baz almıştır. Walmart, Amerika'da kasırğa olaylarından önce el feneri satışlarıyla beraber bir tatlı olan Pop-Tars'larında satın alındığını belirleyerek, mağazalarına kasırğa malzemelerinin yanında Pop-Tars tatlıları koymuş ve satışlarını arttırmıştır. Barnes & Noble adlı işletme ise e-kitap okuyucularının, ekran üzerinde yaptıkları hareketlerden kurgu dışı uzun kitapları bitirmeden bıraktıklarını tespit ederek okuyuculara yönelik yeni bir seri yayınlamıştır. 2014 yılında Brezilya'da düzenlenen Dünya kupasında Alman Futbol Federasyonu ile Avrupalı yazılım şirketi SAP bir iş birliği yapmışlar, oyuncu performansını arttırmak için Büyük Veri'yi kullanmışlardır (Doğan ve Arslantekin, 2016: 31-33).

Büyük Veri uygulamasının endüstri ve işletmelere rekabet ve maliyet avantajı sağlama, katma değer yaratarak yenilikçi bir izleyiş kazandırma, uzun vadeli strateji yaratma gibi faydaları bulunurken, bireysel bazlı kullanımlarda ise bireylere tecrübe anlamında bilgi sağlamaktadır. Büyük Veri işletmelerin ve endüstrilerin kaynaklarını ve gereksinimlerini anlık olarak eşleştirmekte ve kaynak-gereksinim ilişkisini optimize ederek gerçek zamanlı olarak sunmaktadır. Ayrıca alınan veriler sürekli güncellenerek sistemin performansının yükselmesine imkân tanınmaktadır. Büyük Veri işletmeler ve endüstrilerle, tedarikçileri ve tüketicileri arasındaki mesafeleri kaldırmakta, iletişim ve etkileşimi attırarak, tarafları birbirine yaklaştırmaktadır (Görçün, 2020: 169-179).

2.2.10. Otonom Robotlar

Görünüşte insana benzememesine veya insana benzer bir şekilde işlevler yerine getirmemesine rağmen insan emeğinin yerini alan makinelerin otomatik ya da otonom olarak işlevselleşmiş haline robot

denilmektedir(<https://www.britannica.com/technology/robot-technology>,Erişim tarihi:17.11.2021).Ayrıca robotların tasarımdan, üretilmesine; programlanmasından, üzerinde uygulama gerçekleştirmeye kadar ilgili konuların çalışıldığı teknoloji alanına Robotik bilimi adı verilmektedir. Robotik alanı mekanik kapsamın yanında robotların çeşitli işlemleri gerçekleştirmesine yardım eden sensörler, bilgisayar programlama ve bilgi işleme gibi alanları da kapsar (Banger,2018:71).

Robotlar kullanıldıkları sektöre ve gerçekleştirdikleri süreçlere göre endüstriyel robotlardan, nano robotlara, tıbbi robotlardan robot sürülerine kadar çeşitli kategorilere ayrılmaktadır. Robot tanımından hareketle otonom robot ifadesine açıklık getirilmesi gerekir (Banger,2018:71 Robotların sistemsel işleyişinde iki durum ön plana çıkmaktadır. Otonom ve Otomatik işleyiş şekli robotların temel işleyiş sistemleridir. Otomatik bir işleyiş sisteminde robotlara tanınan herhangi bir özgür hareket yetisi bulunmaz ve robot verilen görevleri aynı işeyişlerle tekrar eder. Otomatik işleyişte robotların yapılan işleri öğrenmelerine imkân tanıyan bir yapay zekâ sistemi de bulunmaz. Otomatik robotların aksine otonom bir işleyiş mekanizmasına sahip olan bir robotta en önemli bileşen robotun sahip olduğu yapay zekâdır. Yapay zekâyâ sahip olan robot çalışmasını dışarıdan bir etkiye gerek kalmadan yapmakta ve iş süreçlerini ise kendi planlamaktadır. İnsanların kontrolüne gerek kalmadan çevresini ve yaptığı işi tanıyarak öğrenenen davranışlar sergileyen otonom robotların, iş süreçlerini tekrarlayarak aynı işleyişini takip eden ve insan kontrolüne ihtiyaç duyan otomatik robotlara göre üstünlüğü göze çarpmaktadır (Çirkin ve Özdağoğlu, 2021: 1540-1541).

Robot dünyasında “Otonom robot” diye ifade edilen robot türleri öncelikle içlerinde gömülü-iletişim donanımı ve yazılımı bulundurlar. Otonom robotlar gömülü donanım ve yazılım sayesinde, yapay zekâ yoluyla çevresiyle iletişim kurabilir ve herhangi bir operatöre danışmadan kendi başına karar alabilir (Banger, 2018: 71). Otonom robot düşüncesi ve uygulaması canlıları baz alarak tasarlanmış olmakla beraber canlıları birebir taklit edecek bir noktaya doğru gitmektedir. Hayvanlar ve robotların her ikisi de çevrelerindeki nesneleri belli amaçlara ulaşmak için hareket ettirmektedir. Hayvanlar, çevrelerini incelemek için duyularını bazı zamanlar ise iç duyularını da kullanırlar. Sonrasında ise duyular beyinde işlenir ve büyük oranda hayvanın uzuvlarını kullandığı bir hareketle sonuçlanır. Hayvanlar tarafından

uygulanan süreç işleyişi robotlar açısından tekrar uyarlandığında ise robotlar çevrelerindeki bilgileri sensörleri vasıtasıyla alırlar, alınan bilgileri bir ya da birden fazla işlemciyi içeren yani robot beyni olan kontrol sistemlerinde işlerler sonrasında ise aktüatörüne motor sinyalleri göndererek, kendilerinin hareketini sağlarlar (Wahde, 2016: 1).

İngiltere'nin Bristol şehrindeki Burden Nerolojik Enstitüsü'nden W. Gray Walter, 1948 yılında üç ayaklı, kaplumbağa (şekillerinden ve hareketlerinden) diye tabir edilen robotlar üretmiş ve robotlar işğa tepkide bulunarak hareket etmiş, şarj durumları düştüğünde ise şarj istasyonunun yolunu tutmuşlardır. İlk robotun icadının ardından 1954 yılına gelindiğinde George Devol ilk sayısal tabanlı işleme ve programlanma özelliğine sahip robotu icat etmiş, ardından ise 1963 yılında Fuji Yusoki Kogyo işletmesince ilk paletleme robotu üretilmiştir (Banger, 2018: 72).1970'li yıllarda yapay zekanın ve dijital kontrol elektroniğinin meydana çıkmasının ardından sensör, aktüatör ve işlemci alanında meydana gelen maliyet düşüşleri otonom sistemlerin ve robotların gelişmesine zemin hazırlamıştır (Çirkin ve Özdağoglu, 2021: 1541).1973 yılında altı elektromekanik tahrik eksenini bulanan robot Kuka firmasınca patentlenmiş,1976 yılına gelindiğinde ise artık tüm robotu programlamak yerine herhangi bir parçasını programlamanın mümkün olacağı programlanabilir evrensel manipülasyon kolu icat edilmiştir(Banger, 2018: 72). Önceki dönemlerde insan faaliyetleriyle yapılan fakat belirli bir katma değer düzeyine ulaşamayan faaliyetler robotlar eliyle yapılmaya başlanmıştır.1960'lı yıllarla beraber robotlar da endüstriyel faaliyetlerde aktif olarak yerini almıştır. İlk kez 1961 yılında General Motors firmasının Ultimate adlı robotu, üretim süreçlerinde kullanılmıştır. Endüstriyel robotların artan şekilde üretim süreçlerine katılmasıyla, gelecek vaat eden bir teknoloji ortaya çıkmıştır (Görçün, 2020: 187).

Çok sayıda sektördeki üretici karmaşık görevleri ele almada robotları uzun bir süre kullanagelmekle beraber robotlar daha büyük yararlılıkla gelişmeye devam etmektedir. Süreçler ilerledikçe robotlar daha otonom, daha esnek ve daha işbirlikçi bir yapıya kavuşmaktadır. Robotlar bir başka robotla beraber çalışabilirken, insanlarla da yan yana çalışabilmektedir. Ayrıca, yaptıkları eylemlerle de diğer robotlardan ve insanlardan öğrenimde bulunabilmektedirler. Daha az maliyete sahip olan robotların bugünün üretim sürecinde daha geniş bir kapasite mevcudiyeti vardır (Rüßmann vd.,

2015: 5). Sirkin vd. (2015: 3-5), robotların üretim verimliliğini arttırdığını, emek maliyetlerinde önemli tasarruflar sağladığını, ülkelere rekabet avantajı yarattığını ve daha kaliteli bir iş gücü meydana getirdiğini belirlemişlerdir.

Günümüzde ABD ve Almanya’da “Ros” adı verilen robot işletim sistemi kurma gayretleri vardır. “Ros” çalışması, donanıma bağlı kalmadan robotların karar ya da hareketlerini meydana getirmede bir yazılım alt yapısı oluşturma gayretidir. Çalışmalar tüm hızıyla sürerken robotik alanında gelişmeler de hız kesmeden devam etmektedir. “Caterpillar” işletmesi, kendi kendini hareket ettirebilen operatörsüz ya da şoförsüz bir kamyon geliştirirken, “Erge” isimli geliştirilen bir robotun ise gazete okuduğu, banka bilgisine ulaştığı ya da hangi lokantaların daha iyi olduğu önerisi verdiği görülmüştür. “Baxter” isimli geliştirilen robotun ise kendisine gösterilen davranışları öğrenme yetisi bulunması, artık robotların programlanma aşamasından çıktığı daha karmaşık görevler için ise öğrenme yoluyla robotların öğrenmesinin mümkün olduğu bir aşamaya doğru geçilmiştir (Banger, 2018: 73).

Robotların artık öğrenme aşamasına geçtiğiyle ilgili örneğe Avrupalı robot ekipman üreticisi “Kuka” işletmesi örnek verilebilir. “Kuka” işletmesi, birbirleriyle etkileşimde bulunabilen Otonom robot tasarlamıştır. Otonom robot kavramıyla işletme birbirine bağlı, beraber çalışan, otomatik olarak hareketlerini bir sonraki üretim aşamasına ayarlayan hareketsetel esnekliğe ve duyarlılığa sahip robot amaçlamıştır. Bir diğer endüstriyel robot tedarikçisi “ABB” işletmesi ise “Yumi” ismi verilen, insanlarla beraber çalışabilen ve özel olarak ürünlerin parçalarını birleştirme görevi olan iki kollu bir robot tasarlamıştır (Rüßmann vd., 2015: 5).

Robotların ilk etapta operatör eliyle kullanılmaları, insan faktörü olmadan etkisiz kalmaları ve sınırlı alanlarda performans artışı yaşatmaları nedeniyle öncelikli merak edilen konu diğer alanlarda da etkili ve verimli nasıl kullanılacakları olmuştur. Sonraki süreçte ise vasıf gerektirmeyen ve insanlar tarafından yapılan çoğu işler robotlara devredilirken, insanlar sadece robotların bakımı, otomasyonu gibi süreçlerle ilgilenmeye başlamışlardır. Önceki süreçlerde robotların özerklikten mahrum olmaları ve insan eliyle yönlendirmelerine rağmen gelecek durum senaryosunda ise robotlar, insanın özelliklerine ve donanımlarına sahip bir yapıya kavuşmaya başlayacaklardır(Görçün, 2020: 188).Önceleri belirli görevleri yapmak üzere programlanan robotlar gittikçe esnek, akıllı ve otonom hale gelen, sensörlerden

aldıkları verileri birleştiren, fabrikadaki diğer otomasyon bileşenleriyle haberleşen, endüstriyel bilgisayarlarla bütünleşmiş bir robot karakteristiğine doğru yol almıştır (Çirkin ve Özdağoğlu, 2021: 1541). Endüstri 4.0'ın yapı taşlarından biri olan ve kimi kaynaklarda “Akıllı makine” kimi kaynaklarda “Öğrenen makine” olarak geçen “Otonom robot”, yapay zekâyı sahip olduğu gömülü yazılım ve donanım sayesinde gerçekleştirir. Yapay zekâ sayesinde karar üretebilen ve harekete geçebilen, çevresinden veri toplayıp, buna uygun davranış gerçekleştiren ve diğer akıllı ve bağlantılı makinelerle haberleşebilen Otonom robot terimi ortaya çıkar. Otonom robotlar bir diğer özellikleri nedeniyle öğrenen robotlar olarak da adlandırılmaktadır. Otonom robotlar, kendilerinde gömülü halde bulunan yapay zekâyla çevrelerinden gelen verileri alıp bunları bilgi haline getirerek, çevrelerindeki değişikliklere uyum sağlayıp aynı zamanda da yeni bilgiler de öğrenebilmektedir. Otonom robotlar, normal robot türlerinden çeşitli özellikler açısından ayrılmaktadır. Otonom robotlar öncelikle çevresiyle ve kendisiyle ilgili verileri toplar ve böylece bilgi edinir, adının gerektiği üzerine insan müdahalesi olmadan uzun süre faaliyette bulunabilir ve faaliyetlerine hareket yetisi ve uzuv hareketi de ekleyebilir. Otonom robotlar, pasif kaldıkları süre boyunca kendilerine ve çevreye de zararlı bir harekette bulunmazlar (Banger, 2018: 74-77).

Otonom robotlar genelde uzaktan kumanda edilebilirler. Örneğin bir kişi üretim hattında bir hata meydana geldiğinde bununla ilgili bir mesaj alabilir ve uzaktan robota bağlanabilir, problemi saptayabilir ve üretime devam emri verebilir. Böylece, kişi kendisi ertesi gün fabrikaya ulaşana dek üretim durmamış olur. İşçiler belli zaman diliminde fabrikada olmamasına rağmen, Otonom robotlar sayesinde üretimin 24 saat devam ettiği aralıksız ve süreğen bir üretimin önü açılmış olur (Think Act, 2014: 8).

Robotların otonom üretim faaliyetlerine ilişkin çeşitli süreç örnekleri verilebilir. Örneğin müşterilerden dolayı veya doğrudan alınan talepler Siber-Fiziksel Sistemler tarafından robotlara gönderilir, alınan görevi robotlar herhangi bir insan müdahalesine gerek duymadan gerçekleştirebilir. Diğer bir örnekte ise raftan müşteri tarafından alınan bir ürünle beraber raftaki sensörler alımı sisteme bildirir, sistem ise ürün envanterini kontrol eder, ürün miktarı belli bir düzeyin altına inmişse robotlara üretim emri gönderilir ve robotlar ise üretimi gerçekleştirir (Görçün, 2020: 189).

Endüstriyel ve ticari robotlar imalattan, nakliye, paketlemeden uzay araştırmalarına, silah geliştirme uygulamalarından tüketici mallarının seri üretimine vb. yaygın olarak kullanılmaktadır. Robotların kullanımlarının sektörel bazda artmasının nedenleri olarak; insanlara nazaran robotların iş süreçlerini daha iyi, daha güvenilir ve daha maliyetli gerçekleştirmeleri ve sağlık açısından uygun olmayan, tehlikeli ve tekrarlı işlerde daha çok tercih edilmeleri verilebilir (Banger, 2018: 72). Robotların avantajlarına maliyet kaleminin de eklenmesi yanlış olmayacaktır. Robotlarda operasyonel özellikte ve ardı ardına devam eden maliyetler silsilesi bulunmamaktadır. Ayrıca gerek aydınlıkta gerekse karanlıkta faaliyet de bulunmaları enerji verimliliği sağlamaktadır. Robotların gerçekleştirdikleri üretim faaliyetlerinde sapma olasılıkları son derece düşük olduğundan meydana gelecek hata ve kayıp oranı da son derece düşüktür. Tehlikeli işlerde daha çok kullanılmaları netice itibarıyla iş yerini ve insanları güvenceye almalarını da sağlamaktadır (Görçün, 2020: 189-190).

Üretim süreçlerinin içerisinde bulunan robotların analiz, sezi ve data toplama gibi görevleri gerçekleştirmeye başlamasıyla, süreçlerde insandan kaynaklı hatalar son bulmaya, işlemler belli bir standarda oturmaya başlamıştır. Ayrıca, insanların fizyolojik ve psikolojik durumlarına göre endüstriyel süreçlerde tepki sürelerinin yavaşlaması ve bundan dolayı endüstrilerin güven temelinin sarsılmasına karşın robotların, subjektif durumlara sahip olmamaları subjektif durumlardan kaynaklanacak olumsuzlukları asgariye düşürmektedir. Robot tarafından yaşanacak olumsuz durumlar teknik kaynaklı olup objektif açıdan değerlendirilmektedir. Katma değeri düşük olan süreçlerden yüksek olana geçişle beraber daha fazla akıllanmaları, robotları üretim süreçlerinde otonom hale getirmeyi teşvik ederken, robotların zekâ, sezi ve karar odağındaki işlemlerde daha fazla görev almalarına neden olmaktadır. Robotların giderek üretim süreçlerini ele geçirme hamleleriyle, üretim süreçlerinin bir diğer bileşeni insan zor durumda kalmıştır. Robotlarla insanların üretim süreçlerinde karşı karşıya gelmesinde robotların her an çalışmaya hazır olması ve bir emirle çalışmayı sonlandırması, verimlilik alanında fark yaratmaları, gelişmiş teknolojik sistemlerle beraber otonom çalışıp üretim faaliyetini gerçekleştirmeleri gibi özellikler insanlar karşısında üstünlükleri olmaktadır (Görçün, 2020: 188-189).

Üçüncü Sanayi Devrimi'nin getirdiği yeniliklerden biri olan robotik kolların kullanımıyla beraber hayatımıza giren robot kavramı, sonraki süreçlerde ise hızlı

gelişme göstermiştir. Endüstri 4.0 ise robot sistemlerin ilerleyişlerinin çok daha fazlasını görecek, yakın gelecekte ise insanlarla beraber yan yana çalışan ve iş birliğinde bulunan robotlara şahit olacaktır. Robot ve insan iş birliği, işletmeye gerek rekabette gerek üretimde gerekse kârlılıkta daha büyük kapasite artışlarına destek verecektir (Mpc,2018:17).Gelecek yıllarda donanım ve yazılım fiyatlarının %20'den daha fazla ucuzlayacağıyla ilgili görüşler, her sene robotların performansının %5 iyileşmesi ve daha ekonomik ve programlanmalarının daha kolay olması, birçok küçük üreticiye bile robotları kullanım imkânı verilebilecek olması ve endüstriyel tedarik zinciriyle derin bir şekilde bütünleştirilebilmesinin önünün açılması gibi etkenler robotlara artan bir rağbet meydana getirmektedir. Görsel algılayıcılar, kavrama sistemleri ve bilgi teknolojilerinde meydana gelen ilerlemeler robotları daha akıllı hale getirmekte ve ağ bağlantılarını daha da güçlendirmektedir. (Sirkin vd.,2015:3). Robotik bilimindeki gelişmeler, sensör araçlarındaki gelişmelerden etkileneceği gibi Yapay Zekâ, Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişim ve Siber-Fiziksel alanlarında yaşanacak gelişmelerden de etkilenecektir (Yavuz, 2021: 85). Robotların türlerinin çoğalması, performanslarının artması ve maliyetlerinin giderek ucuzlaması iş modeli ve biçimlerinde yeni alanların açılmasına yol açmıştır. Otonom robotların endüstriyel süreçlere dahil olması, iş dünyasının Otonom robotlardan beklentilerini arttırmıştır (Banger,2018:78).

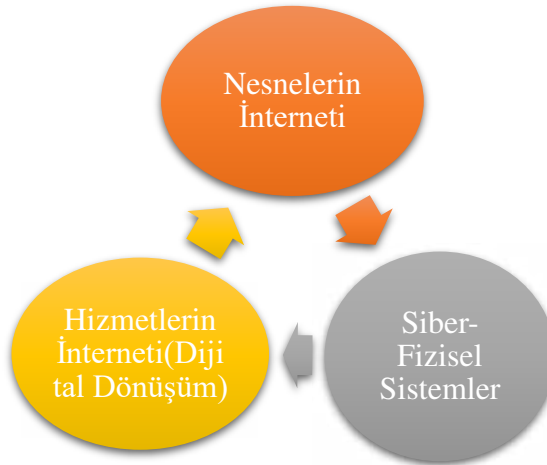
2.3. Türkiye’de ve Dünya’da Endüstri 4.0 Araçları

2010 yılında öncelikle Almanya’da başlayan, akabinde ise ABD ve Avrupa’ya yayılan Endüstri 4.0 düşüncesi; üretim süreçlerinin yeniden dizaynı anlamına gelmekte olup, küresel sahada ülkelerin paylaştığı iş bölümü görevlerinin de yeniden belirleneceği bir yaklaşım sergilemektedir (Kozal ve Barboros,2019:19).Sanayide “İnsan-makine” süreç akışı yerine “Makine-makine” süreç akışının hakim olduğu, üretimin Akıllı fabrikalarda akıllı makineler tarafından yapıldığı, insan faktörünün üretim süreçlerinden çekilerek üretim sürecini makinelerin devraldığı ve planladığı, evrimleşen teknolojiye doğru dünya yol almaktadır(Davutoğlu,2021:795).Ortaya çıkan süreç, çeşitli ülkeleri, Endüstri 4.0’ ı etrafıca anlamaya ve Endüstri 4.0’a entegre olacak yol haritası belirlemeye itmiştir. **Tablo 2.7**’de Endüstri 4.0 stratejisi oluşturan çeşitli ülkeler gösterilmektedir. Türkiye’de de Endüstri 4.0 konusunda çeşitli çalışmalar olduğu görülmektedir.

Ülkeler	Endüstri 4.0 Stratejileri
ABD	Akıllı İmalat Koalisyonu
	Akıllı İmalat Açık Platformu
AB	Geleceğin Fabrikaları
	Kaynak ve Enerji Verimliliği
	Sürdürülebilir Proses Endüstrileri
Almanya	Endüstri 4.0 ve Dijital Ekonomi
	Vizyon 2025
	Uygulama Stratejisi
Japonya	Toplum 5.0
	Akıllı Üretim Sistemleri
	Yeni İmalat Sistemleri
İngiltere	Katma Değerli İmalat Girişimi
	7 Uzmanlaşmış Merkez
Fransa	Geleceğin Endüstrileri Girişimi
Türkiye	Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası

Tablo 2.7: Endüstri 4.0 Stratejisi Oluşturan Çeşitli Ülkeler
Kaynak:(Tübitak,2016:2)

Tablo 2.7 ‘de özellikle Türkiye’de uygulanması amaçlanan “Akıllı Üretim Sistemleri Teknolojisi Yol Haritası”, Endüstri 4.0 teknolojilerinden “Büyük Veri”, “Nesnelerin İnterneti”, “Bulut Bilişim”, “Robotik Sistemler” ve “Akıllı Fabrikaları” kapsamaktadır. Ayrıca, “Akıllı Üretim Sistemleri Teknolojisi Yol Haritası”nın, “Otomasyon ve Kontrol Sistemleri”, “İleri Robotik Sistemler” ve “3 Boyutlu Yazıcı” sektörüne büyük katma değer yaratacağı ön görülmektedir (Tübitak, 2016: 5).



Şekil 2. 9: Endüstri 4.0 Temel Uygulama Yapısı
Kaynak:(Davutoğlu, 2021: 797-798)

Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanma sahasına bakıldığında, temelde üç teknolojiye sahip bir yapının olduğu ve kalan teknolojilerin ise belirtilen üç teknolojinin işleyişine katkı sağladığı görülmektedir. **Şekil 2.9**'a bakıldığında “Nesnelerin İnterneti” teknolojisi, nesnelerin çevrelerinden gerekli bilgileri alıp birbirleriyle internet üzerinden iletişim kurmalarını ve süreçleri yönetmelerine olanak verirken, Siber-Fiziksel Sistemler ise üretimdeki fiziksel operasyonların hesaplamalarını bilgisayar ve ağlar ile kontrol etmekte ve buna göre geri bildirim üretmeyi sağlamaktadır. Siber-Fiziksel Sistemler ve Nesnelerin İnterneti'nin yanı sıra Endüstri 4.0'ın alt teknolojisi olmayıp, alt teknolojileri sanal ortamda buluşturan ve haberleşmelerine sanal ağ üzerinden izin veren Hizmetlerin İnterneti (Dijitalleşme), Endüstri 4.0'ın temel uygulama sahaları olarak sayılabilir (Davutoğlu, 2021: 797-798). Ülkelerin Endüstri 4.0 kapsamında belirledikleri rotalar böyleyken, şimdiden Endüstri 4.0 kapsamında çalışan çeşitli ülkelerde çeşitli işletmeler mevcuttur. Sözü edilen işletmeler şimdiden Endüstri 4.0 kavramının vücut bulmasına ön ayak olmuş durumda olup, **Tablo 2. 8**'de verilmiştir.

Ülke	Kuruluş	Kullanıldığı Sektör	Kullanılan Endüstri 4.0 Teknolojisi
Almanya	Class	Tarım	Nesnelerin İnterneti
	John Deere	Tarım	Nesnelerin İnterneti
	Adidas	Spor	Nesnelerin İnterneti
	Siemens	Üretim	Nesnelerin İnterneti
	Bosch	Akıllı Ev Sistemi	Nesnelerin İnterneti
	Festo	Üretim	Otonom Robot
	Atos Danışmanlık ve Sistem Entegrasyonu	Hizmet	Bulut Bilişim, Büyük Veri ve Siber Güvenlik
	Audi	Üretim	Büyük Veri, Otonom Robot ve 3 Boyutlu Yazıcı
	Deutsche Bahn AG	Hizmet	Büyük Veri, Nesnelerin İnterneti
	Kuka	Üretim	Otonom Robot
İngiltere	Athletic Group Uk Ltd	Üretim	Nesnelerin İnterneti, Büyük Veri
	Reebok	Üretim	Nesnelerin İnterneti
	E-Devlet ve E-Dönüşüm	Hizmet	Bulut Bilişim, Dijital Dönüşüm
	PAMS	Tarım	Nesnelerin İnterneti

Çin	Case IH	Tarım	Nesnelerin İnterneti, Otonom Robot
Japonya	Softbank	Hizmet	Otonom Robot
	Seiren	Hizmet	Arttırılmış Gerçeklik, Simülasyon
	Mitsubishi	Hizmet	Nesnelerin İnterneti
	E-Devlet ve E-Dönüşüm	Hizmet	Bulut Bilişim, Dijital Dönüşüm
Tayvan	Yeshealth İfarm	Tarım	Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişim, Siber-Fiziksel Sistemler,
	Pinnacle	Hizmet	Büyük Veri
	YCM	Üretim	Akıllı Fabrika
	Hiwin Technologies	Üretim	Akıllı Fabrika
	Tayvan Hükümeti	Üretim	Büyük Veri, Nesnelerin İnterneti, Otonom Robot
İsrail	Cropx	Tarım	Nesnelerin İnterneti
	Arava	Tarım	Nesnelerin İnterneti
	Phytech	Tarım	Nesnelerin İnterneti
ABD	General Electric	Üretim	Akıllı Fabrika
	Bigbelly	Hizmet	Nesnelerin İnterneti
	Harley Davidson	Üretim	Siber-Fiziksel Sistemler
	Touch Bionics	Hizmet	Otonom-Robot
	Rethink Robotics	Üretim	Otonom-Robot
Brezilya	Qualcomm	Hizmet	Nesnelerin İnterneti, Akıllı Fabrika,
	Logicalis	Hizmet	Nesnelerin İnterneti
Türkiye	Mitsubishi Electric	Üretim	Otonom Robot
	Zorlu Holding	Üretim	Dijital Dönüşüm
	Eldor	Üretim	Akıllı Fabrika, Nesnelerin İnterneti
	Tarbil	Tarım	Nesnelerin İnterneti
	Platform 360	Üretim-Lojistik-Pazarlama	Nesnelerin İnterneti
	Hema Endüstri A.Ş,	Üretim	Akıllı Fabrika
	Ford Otosan	Üretim	Otonom Robot, Dijital Dönüşüm
	Kibar Grubu	Üretim	Dijital Dönüşüm
Avustralya	Csiro	Spor	Nesnelerin İnterneti
Kanada	Precision Hawk	Havacılık	Nesnelerin İnterneti, Büyük Veri

Tablo 2.8: Türkiye’de ve Dünya’da Endüstri 4.0 Uygulamaları ve Araçları

Kaynak:(Davutoğlu, 2021: 798-806)

Tablo 2.8’e bakıldığında genel olarak her ülkede Endüstri 4.0 olarak irili ufaklı ya da büyük çapta oluşumların başladığı ve gelişen teknolojiyle oluşumların daha ileri seviyelere ulaşılacağı mümkün gözükmektedir. Bilgisayarın icadı ve internetin tanıtımıyla başlayıp Endüstri 4.0’ın yaygınlaşmaya başlamasıyla etkinliği artan “Dijitalleşme” olgusuna bölümde yer verilmiş olup birçok ülkenin “Dijitalleşme” konusunda da hazırlık yaptığı görülmektedir.

Endüstri 4.0 kavramı ve alt teknolojilerinin Türkiye’de hangi düzeyde bir aşamada olduğuyla ilgili Tübitak (2016:4)’ın 2016 yılında yaptığı araştırma son derece önemlidir. Tübitak’ın 1000 özel sektör kuruluşuyla yaptığı araştırmaya göre Endüstri 4.0 konusunda ayrıntılı bilgiye sahip olduğunu belirten işletme sayısı %22 olurken, ilgili alt teknolojileri kendi bünyelerinde entegre etmede istekli olan işletmeler ise %50 düzeyinde olmuştur. Ayrıca Türkiye sanayisinin dijital olgunluk seviyesi Endüstri 2.0 ile Endüstri 3.0 arasında çıkarken, dijital olgunluk seviyesi konusunda en yüksek seviyeye ulaşan sektör ise malzeme, bilgisayar, elektronik ve optik ürünler ile otomotiv ve beyaz eşya yan sanayii olmuştur. Genel olarak rapor değerlendirildiğinde ise özellikle Endüstri 4.0’ın bel kemiği durumunda olan ve alt teknolojilere geçişte ön şart olan dijitalleşmede geri kalınması ve farkındalık düzeylerinin yetersizliği, Türkiye sanayisinin Endüstri 4.0 yarışında geriye düşmesine sebebiyet verecektir. Endüstri 4.0 yarışında geriye düşülmesinin önüne geçilmesi için sektör bazlı dijital olgunluk haritalarının çıkarılıp, sektördeki farkındalık düzeylerinin de artırılması gerekmektedir. Ayrıca, Türkiye Endüstri 4.0 kavramını özümstedikçe ve teknolojilerini kullanma oranını attırdıkça ekonomik büyümeden, sanayideki verimlilik artışına, yatırım ve istihdamda yeni alanlar açılmasına kadar birçok yarar sağlayacağı açıktır (Gelmez ve Yılmaz, 2021 :11).

2.4. Endüstri 4.0’ın İşletme Bilim Dalında Kullanım Alanları

Müşteri beklentilerinin değişmesi, ürünlerin değerlerinin verilerle artması, iş dünyasında yeni iş birliği biçimlerinin yaygınlık kazanması ve var olan iş süreçlerinin yeni dijital modellere dönüşmesi gibi etkenler Endüstri 4.0 ve teknolojilerinin işletmeler üzerindeki etkilerine örnektir (Schwab,2016:54). Endüstri 4.0’ın işletmeler üzerindeki genel etkisi, işletmelerin iç süreçleri açısından düşünüldüğünde, özellikle Endüstri 4.0 üretim açısından maliyetlerin düşürülmesini, üretim süresinin azaltılmasını ve operasyonlarda bekleme süresinin kısaltılmasını önermekle

işletmenin üretim birimine hitap eden bir yaklaşım sergilemektedir. Ayrıca üretim biriminin yanı sıra Endüstri 4.0'ın, işletmelerin yönetimi, organizasyon yapısı ve kaynak tedariki üzerinde de büyük bir etkisinin olduğu da bilinmektedir. (Üstündağ vd.,2018:7; Schwab,2016:52).

Endüstri 4.0 etkisini küresel düzeyde ve ülkeler çapında hissettirirken, işletmeleri de etkileyeceği açık olmakla beraber işletmelerin hangi bölümlerini ne oranda etkileyeceğiyle ilgili sonuçlar da önemlidir. McKinsey&Company (2015:25) işletmesinin yaptığı bir araştırmaya ilişkin bulgular **Şekil 2.10**'da verilmiştir.



Şekil 2. 10: Endüstri 4.0'ın İşletmelere Sağlayacağı Faydalar
Kaynak:(McKinsey&Company, 2015: 25)

Şekil 2.10 detaylı olarak incelendiğinde, Endüstri 4.0'ın işletmeleri kalite bölümünden, pazar bölümüne, üretim bölümünden iş gücü ve ekipman kullanımına kadar birçok noktada etkilediği görülmektedir. Ayrıca, sağlanan faydalar noktasında bakıldığında, bir işletmenin öncelikli hedefi kâr etmek ve maliyet azaltmak olduğundan işletmelere kâr bakımından büyük avantajlar sağlayacağı da açıktır.

Sonuç olarak, Endüstri 4.0'ın işletmenin hangi birimleri açısından önemli olduğunun ayrıntılı analizi, Endüstri 4.0'ın işletme bilimiyle ilişkisinin daha sağlıklı ortaya konması için önem arz etmekte olup, bununla ilgili veriler ise **Tablo 2.9**'da verilmiştir. **Tablo 2.9**'a bakıldığında Endüstri 4.0 teknolojilerinin, işletme bilim dalının sadece bir yönü için uygulandığını söylemek bir yana işletmenin tedarik bölümünden kalite bölümüne üretim bölümünden yönetim bölümüne kadar birçok bölümünde uygulandığını söylemek yerinde olacaktır. Sonuç olarak denilebilir ki Endüstri 4.0 uygulamaları işletmeyi bir bütün olarak gözetmektedir.

Endüstri 4.0 Araçları	İşletme Bilim Dahı Kullanım Alanları
Bilgi Teknolojileri	Yönetim (Karar Alma Süreçleri)
	Üretim
	Tedarikçi
	Müşteri
	Rekabet
	Hayatta Kalma
	Verim Artışı
	Pazarlama
Siber-Fiziksel Sistemler	Üretim
3 Boyutlu Yazıcılar	Hızlandırılmış Ürün Geliştirme
	Tasarımdan Üretime Döngüde Azalma
	Karmaşık Parçaların Kolayca Üretilmesi
	Ürün Tasarımcıları İçin Artan Talep
	Maliyet Azaltımı
	Üretim Esnekliği
	Atıkta Azalma
	Zaman Tasarrufu
	Üretim
Bulut Bilişim	Ürün Yaşam Döngüsü Uzatımı
	Maliyet Azaltımı
	Verim Artışı
	Müşteri Odaklılık
	Optimum Kaynak Kullanımı
	Tedarikçi
Arttırılmış Gerçeklik	Kalite Yönetim Sistemi
	Montaj Hattı Planlaması
	Lojistik ve Tedarik Zinciri
	İşletim ve Bakım Talimatları
Simülasyon	Ürün veya Süreç Planlaması
	Ürün Geliştirme
	Test ve Optimizasyon

	Üretim Süreci Geliştirme
	Tesis Tasarımı
Büyük Veri	Maliyet Tasarrufu
	Müşteri Etkileşimleri
	Üretim Sistemlerinin Performansı
	Daha Akıllı Kararlar
	Daha İyi ve Daha Hızlı Kararlar
	Daha İyi İş Sonuçları
Otonom Robotlar	Tedarik Zinciri ve Lojistik
	Malzemelere Daha Fazla Erişim
	Üretim "Yeniden Paylaştırma" (Yani Denizaşırı İşçilerin Yerini Robotlarla Değiştirme
	Üretim Sürecini İzleme, Anlama ve Optimize Etme
	Yeni Ürünleri Yeniden Yapılandırma
	Arızaları Teşhis Etme ve Giderme
Nesnelerin İnterneti	Kaynakların Kullanımında Artan Verimlilik
	Daha Düşük Hizmet Sunma Maliyeti
	Güvenlik
	Ürünlerin “Dijital Olarak Bağlanabilir” Olacak Şekilde Tasarımı

Tablo 2.9: Endüstri 4.0 Teknolojilerinin İşletme Bilim Dalında Kullanım Alanları
Kaynak:(Naralhan, 2006: 3-4; Üstündağ vd. ,2018: 8-191; Schwab, 2016: 133-148)



3.DÖNGÜSEL EKONOMİ

Doğrusal Ekonomi, İkinci Sanayi Devrimi'yle beraber uygulanmaya başlanmış ve özellikle 2.Dünya Savaşı'nın bitiminden sonra ekonomik açıdan ülkeleri başarılı şekilde destekleyen bir model olmuştur. Doğrusal Ekonomi işleyiş modelinde “üret, kullan ve at” düşüncesi yatmaktadır. “Üret, kullan ve at” düşüncesi, Dünya'nın sınırlı ham madde kaynaklarını görmezden gelerek üretime yönlendirmekte ve üretim sonucu oluşturduğu ürünlerin ise tüketicilere teslimiyle son bulan bir süreç takip etmektedir. Tüketiciler tarafından kullanılan ve faydası son eren ürünler ise atık sahalarında son bulmaktadır. Atık sahalarında biriken ürünler, yeniden değerlendirilme şansını yitirmekte, çevresel kirlenmelere, kazalara ve felaketlere yol açmaktadır. Doğrusal Ekonomi, sosyal açıdan ise son zamanlarda istihdam ve yeni iş süreçleri yaratamaması gibi nedenlerden dolayı bir çıkmaza girmiş durumdadır. Sonuç olarak çeşitli sorunlarla gündeme gelen Doğrusal Ekonomi 'ye alternatif arayan işletmeler, kendisine yeni bir ekonomi modeli olan Döngüsel Ekonomi 'yi bulmuştur.

3.1.Döngüsel Ekonomi Tanımı

Döngüsel Ekonomi; ham maddelerin tüketimini azaltmayı, ürünün kullanımdan sonra atık vazifesi görmektense tekrar geri kullanılmasını ve kolayca parçalarına ayrılabilen uygun ürün tasarımını hedefleyen, ürünlerin bakım ve tamirat ile ömürlerinin uzatılmasının yanında geri dönüşüm yoluyla da ham maddelerdeki atık akışını geri kurtarmayı amaçlayan bir sistem olarak belirlemektedir (Kirchherr ve Piscicelli, 2019: 1).Döngüsel Ekonomi, yeni bir kavram olduğu için üzerinde uzlaşıya varılan tek bir tanım olmamasına rağmen, genel kabul gören iki tanım mevcuttur. Tanımlardan ilki “Döngüsel ekonominin merkezi” tanımıdır ve tanıma göre, Döngüsel Ekonomi; ham madde ve enerji kaynaklarının, üretim süreçlerinde mümkün olduğu kadar kullanımının uzatılarak, yeni ham madde ve enerji kaynaklarının kullanımının önüne geçilmesi düşüncesine dayanmaktadır. Diğer tanım ise “Döngüsel çevrim sistemi üzerine kurulu bir ekonomi” tanımıdır ve tanıma göre Döngüsel Ekonomi; hammaddeyi, enerji akışını ya da çevresel bozulmayı, ekonomik büyümeyi, sosyal ve teknolojik gelişmeleri sınırlamaksızın azaltmayı hedefleyen bir modeldir (Govindan ve Hasanagic, 2018: 281). Çeşitli araştırmacılar tarafından Döngüsel Ekonomi kavramına yönelik tanımlamalar vardır ve **Tablo 3.1'de** verilmiştir.

Yazar(lar)	Döngüsel Ekonomi Modeli Tanımları
Yavuz (2021: 20)	Döngüsel Ekonomi, atıkların ve kaynakların yönetilmesidir.
Geissdoerfer vd. (2017: 759)	Döngüsel Ekonomi; yavaşlayan, daralan ve kapanan materyal ve enerji çevrimi sayesinde kaynak girişinin, israfın, emisyonun ve enerji sızıntılarının minimize edildiği yenileyici bir sistem olarak belirtilir.
Ghisellini vd. (2016: 16)	Döngüsel Ekonomi, sistemsel olarak güçlendirici ve yenileyici bir tasarımın mevcudiyetine dayanır.
Haupt vd. (2016: 615)	Döngüsel Ekonomi; materyal ve enerjiyi, geri kullanım, geri dönüşüm ve onarım gibi yollara yönelterek, bu sayede kayıpları tümüyle minimize eden üretim ve tüketim sistemi tasarımına denir.
Jiao ve Boons (2014: 21)	Döngüsel Ekonomi; üretim, dolaşım ve tüketim işlemlerinde azaltım, geri dönüşüm ve geri kullanım işlemlerini ön plana çıkaran ve iyileştirmeyi mümkün kılan bir sistemdir.
Lieder ve Rashid (2016: 36)	Döngüsel Ekonomi; atık üretimi, kaynak kıtlığı ve sürdürülebilir ekonomik yararlar gibi bir dizi zorluklar serisine karşı alternatif çözümler üretme ve iyileştirme yapma becerisine sahip bir sistemi ifade eder.
Ma vd. (2014: 506)	Döngüsel Ekonomi; çevreyi korumayı ve kirliliği önlemeyi, bu sayede ise sürdürülebilir ekonomik gelişimi kolaylaştırmayı amaçlayan gelişimsel ekonomi modelidir.
Naustdalslid (2014: 305)	Döngüsel Ekonomi; üretim, tüketim ve bu iki nokta arasındaki süreçlerin işlemleriyle bağlantılı faaliyetlerde kullanılan azaltım, geri kullanım ve geri dönüşüm gibi önlemler için bahsedilen genel bir konsepttir.
Niero vd. (2017: 743)	Döngüsel Ekonomi; amaç ve tasarım yoluyla koruyucu ya da yenileyici endüstriyel sistem düşüncesinin yaratılmasını içerir.
Park vd. (2010: 1496)	Döngüsel Ekonomi; kaynak verimliliğini geliştiren, eko-verimliliği destekleyen ve çevresel sürdürülebilirliği güçlendiren bir sistem çizmektedir.
Sauvé vd. (2016: 49)	Döngüsel Ekonomi; atık üretiminin ve ham madde çıkarımıyla bağlantılı çevrenin korunumunun özümsemiği, ayrıca materyallerin bir çevrim boyunca döndüğü ve sürekli sistemde kaldığı, ürünlerin üretim ve tüketim modelidir.
Su vd. (2013: 215)	Döngüsel Ekonomi, enerji ve materyal kullanımında verimliliğin geliştirilmesini ve öne çıkarılmasını amaçlayan bir sürdürülebilir gelişimsel stratejidir.

Wen vd. (2007: 475)	Döngüsel Ekonomi; kaynaklar, çevre ve ekonomi üzerindeki sürdürülebilir kalkınma problemlerini çözmek için ortaya konan konseptlerden biri olarak düşünülmüştür.
Zhang vd. (2009: 264)	Döngüsel Ekonomi; endüstriyel ortak yaşam stratejisinin önemli bir parçasını oluşturmakla beraber, sürdürülebilir kalkınma yönünde ilerleyen bir yol olarak düşünülebilir.

Tablo 3.1: Döngüsel Ekonomi Kavramıyla İlgili Tanımlar

Tablo 3. 1'deki tanımlamalar incelendiğinde, modelin genelde materyal, ürün ve enerji odaklı olduğu görülmektedir. Üretim ve tüketim süreçlerinde; onarım, yenileme ya da geri dönüşüm yoluyla atık minimizasyonunun sağlanması ekonomi ve çevre açısından pozitif etkiler sağlarken, materyal ve enerji çevrimleriyle ürün yaşam döngüsünün uzatılması daha sürdürülebilir bir sistem oluşmasını sağlamaktadır. Genel olarak Döngüsel Ekonomi, üretimin ilk aşamasıyla başlayan ve tüketiciyi de içine alan bir değer zincirinin, her aşamasında üretilen değer korunmasını ve başka değerler yaratılmasında da kullanılmasını amaçlayan, bunu yaparken çevreye ve sosyal bileşenlere zarar vermemeyi içeren bir sistem olarak da tanımlanabilir.

3.2.Döngüsel Ekonomi Tarihi Gelişimi

Jawahir ve Brandley (2016: 104) ile Homrich vd. (2018: 526) yaptıkları çalışmalarında, Döngüsel Ekonomi 'nin kökeni hakkında iz sürmenin zor olduğuna değinirlerken, ilk yapılan çalışmaları ve dolayısıyla Döngüsel Ekonomi kavramının ortaya çıkma kökenini Pearce ve Turner'a bağlamışlardır. Pearce ve Turner, Döngüsel Ekonomi kapsamında, "kaynak-üretim-kirlilik" tarzıyla modelin kapsamlı çatısını oluşturmuşlardır (Winans vd., 2017: 826). Çeşitli araştırmacılar tarafından Pearce ve Turner'ın Döngüsel Ekonomi kavramının isim babalığını yaptığı ve kavrama çatı oluşturduğu belirtilse de buna karşı çıkan araştırmacılar da vardır. Sariatli (2017: 32) yaptığı çalışmasında, Döngüsel Ekonomi 'nin her ne kadar Pearce ve Turner tarafından tanıtıldığını belirtse de kavramın kökeninin doğuşunu Boulding'a dayandırmıştır. Sariatli (2017: 32)'ye göre Boulding, Doğrusal Ekonomi yerine Döngüsel ekolojik bir sistem uygulanmasını önermiştir. Ekonomist Kenneth Boulding Döngüsel Ekonomi düşüncesine paralel olarak 1966 yılında ekonomik büyüme, sürdürülebilirlik ve sıfır artık kavramlarıyla uyumlu uzun soluklu Döngüsel Ekonomi 'yi açıklamıştır (Greyson, 2007: 1383).

Pearce ve Turner, Döngüsel Ekonomi kavramının ilk kez 1980’li yıllarda ekonomi ve çevre etkileşimli bir kapalı sistemi tanımlamak için Batı literatüründe kullanıldığını idaa etmişlerdir (Murray vd., 2017: 371-372). Pearce ve Turner adlı kişiler Döngüsel Ekonomi sisteminin Batı kaynaklı olduğunu idaa ederken, Liu vd. (2009: 265) ile Yuan vd. (2008: 4), Döngüsel Ekonomi’nin köken olarak Çin’e ait olduğunu idaa etmişlerdir. İddiaya dayanak olarak ise, 1998 yılında Zhu tarafından ortaya atılan “Endüstriyel Ekoloji” paradigmasının modele esin kaynağı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, Liu vd. (2009: 265) Döngüsel Ekonomi kavramının bilim adamları tarafından 1998 yılında ilk defa Çin’de uygulanması için önerildiğini ve 2002 yılında merkezi hükümet tarafından çevrenin korunması, kirliliğin önlenmesi ve sürdürülebilir gelişim olarak üç ayaklı strateji hedefiyle kabul edildiğini öne sürmüşlerdir.

Döngüsel Ekonomi ‘nin fikir olarak çok eski zamanlardan beri var olduğu ve tarihinin 1848’lere kadar uzandığı ifade edilebilir. Royal Society of Chemistry kurumunun ilk başkanı olan R.W. Hofman’a göre, ideal bir kimya fabrikasında asla atık olmamalı sadece üretim olmalıdır. Ayrıca, daha da iyisi fabrikanın atıklarını kullanmasıdır. Sonuç olarak, R.W. Hofman’ ın atık oluşturulmaması ve atıkların tekrar değerlendirilmesiyle ilgili düşüncelerinin Döngüsel Ekonomi ‘yi kavram olarak çağrıştırdığı söylenebilir (Murray vd., 2017: 371-372). Döngüsel Ekonomi’yle ilgili atılan temelle birlikte, modelin vücut bulmasına yönelik çeşitli araştırmacılar çalışma yapmışlardır. Rachel Carson yazdığı “Silent Spring” adlı kitabıyla, Roma Kulübü adlı kuruluşun yayınladığı “Limits to Growth” raporuyla ve Barbara Ward ve Kenneth Boulding ‘in yazdıkları “The Launch of Spaceship Earth” adlı makaleyle Döngüsel Ekonomi’nin gelişimine destek artmıştır (Winans vd., 2017: 826). Stahel ve Reday-Mulvey adlı araştırmacılar ise kapalı döngü ekonomi kavramından ilk bahseden araştırmacılar olmuşlardır (Murray, 2017: 372).

3.3.Döngüsel Ekonomi Süreci

Döngüsel Ekonomi, işletmenin çeşitli paydaşları için yeni değer yaratmayı amaçlar ve tüm iş modellerinin tedarik zinciri döngüsünü kapatır. Ayrıca Döngüsel Ekonomi, yüksek kaliteli ve dayanaklı ürünler sunmaya çalışır ya da bu yönde çaba harcar (Rudnicka, 2018: 110). Dünya’nın toplam nüfus grafiğinin sürekli yukarı yönlü seyretmesi, hali hazırda sınırlı olan kaynakların tüketim açısından geri dönülemez azalışlarına sebep olmaktadır. Döngüsel Ekonomi kavramı, ürünler ve materyaller

arasında yeni bir ilişki boyutu olarak ortaya çıkarken, kaynak ve enerji israfının önlenmesinde ve tasarrufun sağlanması noktasında etkili olabilecektir. Model ayrıca yeni iş fırsatları yaratıp, istihdamı teşvik edecek bir görünüm çizmektedir (Stahel, 2016: 436). Stahel (2016: 435), eskiyen Toyota marka otomobilini değiştirmek ve yenisini almak yerine, aracını yenilemeye karar vermiştir. 2 ay 100 saat süren çalışmanın ardından orijinal güzelliğiyle evine getirdiği otomobili için komşusunun kendisine “Çok mutluyum ki sonunda yeni bir araba aldın” demiştir. Stahel yaşanan durum için Doğrusal Ekonomi’yle beraber insanların algısının kalite olarak yeniyi algıladığını, uzun dönemli kullanımın ve bakımın kabul görmediği ve verimli bir yöntem olarak düşünülmediğinin farkına varmıştır.

Doğadaki döngülere bakıldığında, örneğin su ya da yiyecek döngüsüne, döngüden atılan nesneler başka süreçler için kaynak haline gelmektedir. Aynı durumu insanoğlunun uyguladığını söylemek güçtür, çünkü kullanılan Doğrusal Ekonomi doğa döngüsü düşüncesini göz ardı etmektedir. Kullanılan plastik atıkların Dünya genelinde 3’te birinin toplanamaması da doğa döngüsünün uygulanmadığı düşüncesini desteklemektedir. Doğrusal Ekonomi’yle ilgili mevcut problemlerin önüne geçmek ve doğayı baz alan bir sistemi ekonomik düzene entegre etme noktasında Döngüsel Ekonomi ortaya çıkmıştır. Döngüsel Ekonomi ’de hizmet yaşamlarının sonuna gelen ürünler, diğer işlemler için kaynaklara dönüştürülür ve dönüştürülme işlemi endüstriyel ekosistem içerisinde döngülerin kapatılarak ve atıkların minimize edilmesi yoluyla yapılır. Model işleyişini, üretimle yeterliliği değiştirerek, uygulanabilecek yol varsa geri kullanımla, geri kullanım yolu yoksa geri dönüşümle, kırılan bir şeyi onararak, onarılamayacak bir düzeyde ise geri üretmeyle gerçekleştirir (Stahel, 2016: 435-436).

Döngüsel Ekonomi yaklaşımını belirten çeşitli özellikler mevcuttur. Ekonomi haricinde çevresel ve sosyal yararları da gözetken Döngüsel Ekonomi yaklaşımının özellikleri şu şekildedir (<http://www.skdturkiye.org/en/surdurulebilir-sanayi-ve-dongusel-ekonomi>, Erişim tarihi: 15.01.2022):

- Materyalleri yenileme ve geri dönüştürme yoluyla ya da biyoçözünür materyal kullanarak geri kazanma yoluna giden döngüsel tedarik zincirine sahip olma,
- Her materyalin başka ürünün girdisini oluşturarak ömrünü uzatma prensibine dayanan geri kullanım ve geri dönüşüm,

- Kırılan, bozulan ya da tarihi geçen ürünleri, tamirat, geliştirme ya da yenileme yoluyla ekonomiye kazandırmayı amaçlayan ürünün yaşam süresini uzatma,
- Tüm atıl kullanılmayan büyüklü küçüklü eşyaların kiralanması veya değiştirilmesini mümkün kılarak yeni iş fırsatları üreten paylaşım platformları meydana getirme,
- Ürünleri müşterilere satmak yerine belli bedel karşılığında kullandırarak bir değişik iş modeli gelişimine olanak sağlayan hizmet odaklı yapısalılık

Model ekonomik yönden, atıkların doğru yönde değerlendirilmesiyle ekonomik performansın artmasında ve kaynak verimliliğinin desteklenmesinde katkı sağlarken, çevre bakımından ise doğanın; sermayesinin ve direncinin arttırılmasına olanak tanır (Upadhyay ve Alqassimi, 2018: 64). Döngüsel Ekonomi 'yi sadece çevresel ve ekonomik açıdan düşünmek yerinde olmamakla beraber, tasarımsal olarak ürünün yaşam döngüsünün tüm noktalarında, kullanılan süreçlerin en üst düzeye çıkarılarak maksimum yarar sağlanması amaçlanır. Süreçlerden sona erenler, başka ürünün oluşturulması noktasında girdi olarak değerlendirilir. Bir ürünün oluşturulmasında yeni ham madde kaynaklarına yönelmek yerine çeşitli süreçlerle kazanılmış ya da belli amaçlar için değiştirilmiş materyallerin kullanılması amaçlanır. Böylece, çevresel ve ekonomik yararlardan başka yararların da ortaya çıkması söz konusu olur (Açıkalın, 2020: 241-242).

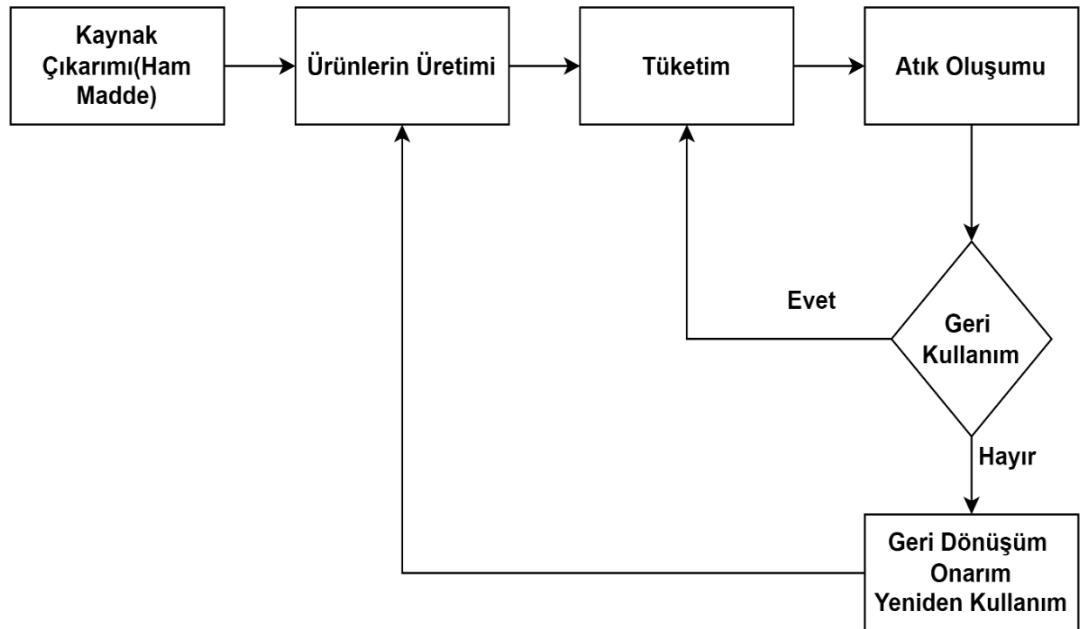
Döngüsel Ekonomi 'ye ürün açısından bakıldığında, ürün yaşam süresinin bitiminden önce ve bitiminin akabinde meydana gelecek işlemlerden bahsedilmesi yerinde olur. Eğer bir ürün yaşam süresini tamamlamamışsa bununla ilgili tamir, yeniden kullanım gibi metotlarla ürünün yaşam süresinin uzatılması amaçlanır, şayet bir ürün yaşam süresinin sonuna gelmişse atık olarak atılıp değer kaybı yerine birçok üretim sürecinin girdisini oluşturabilir. Model aynı zamanda gerek ekonomi gerekse de tarımsal sistemlerin yeniden inşasını sağlayabilir. Çünkü var olan atıklar bir başka işlem için girdi olabilir, yenilenebilir ya da biyolojik materyaller yenilenemez olanlarla yer değiştirebilir. Döngüsel Ekonomi girdilerin önemli bölümünü oluşturan enerji ve ham madde kullanımını önemli ölçüde azaltabilir ve böylece sürekli olarak kaynak çıkarımına duyulan ihtiyacı da ortadan kaldırabilir. (Preston ve Lehne, 2017: 4). Döngüsel Ekonomi, ürünlerin ömürlerini çöp sahalarında tamamlaması yerine yeniden değerlendirilmesi ve ürünlerden alınan yararın maksimum düzeye çıkarılmasına

çalışır. Ürünlerin üretim aşamasında ya da sonrasında tekrardan değerlendirilebilecek şekilde tasarlanması, Döngüsel Ekonomi 'nin uygulanması için önem arz eder. Sonuç olarak Döngüsel Ekonomi 'nin uygulanmasını kolaylaştıracak ürün tasarımında “Mükemmel ürün” kavramı öne çıkar. “Mükemmel ürün” diye tabir edilen kavram, bir lego gibi hem kolayca parçalarına ayrılabilmesi hem de sökülebilmelidir. Ayrıca, ürün yapı olarak yeniden üretim-tüketim süreçlerine girecek şekilde tasarlanmalı ve ürünün kullanım ömrünü uzatmak için de ürünün kişi bazlı olması gerekir (Weetman, 2016: 51).

Döngüsel Ekonomi süreç olarak iki gruba ayrılır. Bunlardan ilki, geri kullanımı teşvik etme, onarım, yeniden üretim, geliştirme ve tadilat yoluyla ürünün yaşam süresini uzatma üzerine kuruluyken, diğesinde ise eski ürünlerin ve materyallerin geri dönüşümü yoluyla yeni kaynaklara dönüştürülmesi vardır. Tüm yaş grubundaki insanlara Döngüsel Ekonomi kavramı hitap etmekle beraber, eskiyen ürünlerden, binaların ve alt yapıların tamirine ve yeniden üretimine kadar birçok Döngüsel Ekonomi kaynaklı iş ve işlemler yerel çapta geniş bir iş sahasının oluşmasına da ortam yaratabilir (Stahel, 2016: 435). Döngüsel Ekonomi 'yi açıklamada çeşitli yaklaşımlar vardır ve söz konusu yaklaşımlar Döngüsel Ekonomi'yle ilgili anahtar kavramları vurgulamaları yönünden birbirlerinden ayrılmaktadır. Buna rağmen, yaklaşımların benimsediği çeşitli ortak yanlar da vardır. Döngüsel Ekonomi'yle ilgili ortak yanlar şu şekilde ifade edilebilir (Weetman, 2016: 47):

- Materyal ve ürünlerin yaşamlarını uzatma becerisi ve bunu çoklu döngülerle gerçekleştirmesi
- Özellikle biyolojik materyallerin kurtarılmasına yardım edecek, “atık=nimet” yaklaşımına sahip olması ve biyolojik materyallerin çevreye bir toksik olarak geri dönüşünün önüne geçmesi
- Üründe ve materyalde mümkün olduğunca enerji ve su gibi girdilerin bütünleştirilmesinin sürdürülmesini sağlaması
- “Kirlenen öder” prensibi gibi piyasa mekanizmalarından, vergilere ve politikalara kadar çeşitli politik araçlarla model yönünde adımlar atılması

Döngüsel Ekonomi temelde dört faktör üzerine kuruludur ve dört faktör, “Geri kullanım-Geri dönüşüm-Onarım ve Yeniden üretim” bileşenleridir. **Şekil 3.1**’de döngüsel üretim ve tüketim modeli açısından kaynak akışları gösterilmektedir. Diyagrama göre, maksimum öncelik kaynakların atık olarak görülmesinden ziyade, yeniden değerlendirilmesine ya da yeniden üretilmesine verilir. Alınan ham maddeler ürünlere dönüştürülür, sonra tüketicilerin kullanımına sunulur. Tüketici tarafından kullanılan ürün sonucu oluşan atık, tekrardan kullanılabilir durumda ise tüketime yönlendirilir ve tekrardan kullanıma sunulur. Süreç “İkinci el” diye tabir edilen ürünler gibi ifade edilebilir. Eğer atık durumuna düşen ürün tekrar kullanıma uygun değilse geri dönüşüm, onarım ya da yeniden kullanım aşaması seçeneklerinden herhangi birisi uygulanmak üzere üretim aşamasına yönlendirilir. Burada, incelenen noktalara göre geri dönüşüm seçeneği seçilirse ürün diğer ürünleri oluşturmak için parçalarına ayrılır ve ham madde işlevi görür. Şayet onarım ya da yeniden kullanım aşaması seçilirse üründe gerekli iyileştirme yapılarak tekrardan kullanıma sunulması sağlanır. Döngüsel Ekonomi düşüncesinde maksimum öncelik kaynakların çöp sahasına iletilip, atık durumuna düşürülerek israfı yerine bunları yeniden kazanarak daha yaşanabilir bir dünya yaratmaya verilir (Upadhayay ve Alqassimi, 2018: 64).



Şekil 3. 1: Döngüsel Ekonomi Akış Diyagramı
Kaynak: (Upadhayay ve Alqassimi, 2018: 64)

Döngüsel Ekonomi uluslararası toplum nezdinde artan ilgi görmeye başlamıştır. Birçok devlet çalışma yapmaya başlayarak, modelin nimetlerinden yararlanma yolları aramaya başlamıştır. Yüz yıllar süren dünyadaki siyasi gelişmelere en çok damga vuran etkenlerden birisi ekonomi olduğu için, devletlere ekonomik bir gelişim paradigması oldukça çekici gelmektedir. Bundan dolayı devletler uyguladıkları ekonomi politikalarına Döngüsel Ekonomi 'yi de dahil etmeye başlamışlardır. Çin hükümeti, Döngüsel Ekonomi 'yi kalkınmanın bir anahtarı olarak görmüş olup, 11. ve 12. kalkınma planlarını Döngüsel Ekonomi 'ye dayalı olarak hazırlamıştır. Ayrıca, Çin hükümeti 2008 yılında çıkardığı bir kanunla Döngüsel Ekonomi 'yi ete kemiğe büründürmüştür. Kanun içeriğinde Döngüsel Ekonomi, üretim, tüketim, dolaşım ve diğer ara işlemler için, “Reduce=Azaltım”, “Reusing=Yeniden kullanım” ve “Recycling=Geri dönüşüm” yöntemlerini kullanan ve süreçlerin baş harflerinin oluşturduğu “3R” (Reduce-Reusing-Recycling) kavramıyla belirtilmiştir. (Yang vd., 2014: 218).

Döngüsel Ekonomi, sahip olduğu düşünce itibarıyla mümkün olduğu kadar çok üret anlayışı yerine, tasarruf kavramını baz alır ve ham madde çıkarımına bağımlı olmadan ürün ve hizmet üretiminin nasıl yapılacağıyla ilgili bir soruya cevap arar. Döngüsel Ekonomi ürün ve hizmet üretimiyle ilgili soruya atık ürünleri geri dönüşüm, onarım ve yenileme yöntemiyle geri kazanarak ve üretimin girdilerini üretim süreçlerinde daha çok tutarak cevap verir (Sauvé vd., 2016: 53). Sikdar (2019: 1174), Döngüsel Ekonomi 'nin amacının enerji kaynaklarına hükmeden fosil kaynaklardan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş olduğunu ifade etmiş ve Döngüsel Ekonomi 'nin başarması gereken üç hedefi işaret etmiştir. Bunlar: “Atık ve kirliliği ürünün tasarım aşamasında yok et”, “Ürün ve materyallerin sürekli geri dönüşümünü ve geri kullanımını sağla”, “Doğal sistemleri geri oluştur” şeklindedir. Döngüsel Ekonomi, tasarrufu ön plana alarak çok az şeyin israf edildiği ve sistemsiz olarak doğanın işleyişini baz alan bir yaklaşım sergiler. Döngüsel Ekonomi yaklaşımında temel amaç; tıpkı doğada olduğu gibi küçükten büyüğe her doğa bileşenin ya da olayının bir atığa sebebiyet vermemesi, verse bile atığın yine doğa tarafından bir şekilde kullanılmasıdır. Söz konusu düşünceyi ekonomik sisteme uygulamak, kaynak verimliliğini sağlamada ve sağlıklı bir rekabetin oluşmasında önem arz eder (Sauvé vd., 2016: 53).

3.4.Döngüsel Ekonomi İlkeleri

Dünya genelinde Döngüsel Ekonomi 'nin uygulanmasını teminen çeşitli ülkeler farklı ilkeler belirlemektedir. Örneğin Çin'de Döngüsel Ekonomi kavramının ilkesini eko tasarım, temiz üretim, eko-endüstriyel parklar ve geri dönüşüme yatkın insan topluluğu oluştururken, Almanya'da ise Döngüsel Ekonomi ilkelerini atıktan mümkün olduğunca kaçınma ve kapalı geri dönüşüm döngüsü oluşturmaktadır. Döngüsel Ekonomi 'nin genel olarak kabul gören iki ilkesinden birisi atıkları mümkün olduğunca minimize etmekken, diğeri ise materyallerin değer seviyesinin mümkün olduğunca uzatılmasıdır (Adams vd., 2017: 16).

Prieto-Sandoval vd. (2018: 607-610), Döngüsel Ekonomi'yle ilgili yaptıkları çalışmalarında modelin ana ilkeleri olarak; yenileyici duruşu ve ekolojik merkezli bakış açısını belirtirlerken, Döngüsel Ekonomi 'nin İngilizce dilindeki üç kelimenin baş harflerinden oluşan ve “3R” diye de ifade edilen, “Geri kullanım”, “Azaltım” ve “Geri dönüşüm” temel ilkesi üzerine kurulu olduğunu belirtmişlerdir. ABD'den, Vietnam'a, AB'den Japonya'ya kadar birçok ülkede Döngüsel Ekonomi'yle ilgili sektörel girişimler “3R” düşüncesinden doğmaktadır. Temelde “3R” kavramı, Döngüsel Ekonomi 'nin temel kılavuzu durumundayken, aynı zamanda atık yönetiminin de temel ilkesidir.

Atık yönetiminde ve Döngüsel Ekonomi 'nin yürütücülüğünde önemli bir konum teşkil eden “3R” kavramının ne ifade ettiğinin anlaşılması, Döngüsel Ekonomi'nin desteklenmesinde önemli bir konum teşkil edecektir.”3R” kavramından ilki “Reduce” yani “Azaltım” kavramı, tüketim süreçlerinin ve eko-verimliliğin geliştirilmesi yönünde girdilerin azaltımını hedef alan, böylece ham madde ve enerji kullanımını azaltmayı ve atık oluşumunu düşürmeye imkân tanıyan bir ilke olarak ortaya çıkmaktadır. Diğer bir kavram olan “Reuse” yani “Geri kullanım” ise üreticileri, tüketicileri ve çevrecileri kendi düşüncesi yanına çekmekte gayet başarılıdır. Yeni bir ürün üretmek yerine yeniden kullanım daha cezbedici görünmektedir. Yeniden kullanımda sınırlı sayıda kaynağa ve enerjiye ihtiyaç duyulurken, bir ürünün baştan üretiminde ise yeni ham maddeye ihtiyaç duyulur. Böylece maliyette artışlar ve çevreye verilen zararlar kaçınılmaz olur. Son ilke olan “Recycling” yani “Geri dönüşüm” ilkesine bakıldığında, temel amacın ürün yaşam döngüsünü tamamlayarak atık durumuna gelen ürünlerin, çevresel etkilerini azaltmak ve geri kullanılabilir ve

yararlı materyalleri atıklardan ayırarak üretim sistemlerine geri kazandırmak olduğu görülür (Chauhan vd., 2021: 2-3). İlkeler konusunda yapılan diğer bir çalışma ise, İngilizce “Sustainable Design Strategies” olan “Sürdürülebilir Tasarım Stratejileridir”. Tasarım stratejileri kendi aralarında üçe ayrılmaktadırlar. Bunlar: LCA (The Life Cycle Assessment-Ürünün Yaşam Döngüsü Analiziyle Eko-Tasarım Rehberliği), NIDS (Nature-Inspired Design Strategies-Doğadan İlhamlı Tasarım Stratejileri-Biyotaklit) ve C2C(Cradle-to-Cradle-Mezardan Mezara-Tasarımla İlgili Bilinçlendirme Amacı) yaklaşımlarıdır. Her üç yaklaşımda atıklar yiyeceklerle eş değer tutulur, güneş gibi yenilebilir kaynaklardan mevcut olduğunca yararlanılır ve çeşitliliği, özellikle de gerek kaynak gerekse enerjiyi ön plana çıkarır. Tasarım Stratejileri (SDS) ilkesi ve “3R” ilkesi, esasında Döngüsel Ekonomi’nin çatısını oluşturan iki ilkedir. İki ilkenin birbiriyle iş birliğinde çalışma durumu varken, diğer taraftan ilkelerin farklı seviyelerde çalıştığının ve farklı fonksiyonlara sahip olduğunun da bilinmesi gerekir. Esasında “3R” ilkesi Döngüsel Ekonomi ’de sarmal bir uzanışa sahip olup, boylu boyunca tüm üretim, tüketim ve kaynakların geri dönüşümü döngüsü boyunca uygulanabilecek bir kavramdır. “SDS” ya da “Sürdürülebilir Tasarım Stratejileri” ise bir katalizör olarak düşünülebilir. Çünkü, ikinci ilke, bir eko-yenilikçi ürün ya da hizmetin tasarlanmasında rehber ya da kılavuz olarak kullanılır ve böylece eko-yenilikçi tasarımıyla biyolojik veya teknik kaynakların uzun vadede sisteme yeniden dahil edilmeleri mümkün hale gelir (Prieto-Sandoval vd., 2018: 610-611).

Stahel’e göre kaynak döngülerinin daha da küçülmesinin, kaynak verimliliğini ve kârı arttırdığı düşüncesi, malzemelerin ekonomi içerisinde sürekli ve döngüsel olarak hareketi ve bunların yeni üretim işlemlerini beslemeleri düşüncesi, ürünlerin kalite ve performans değerinin sürdürülmesi düşüncesi, stok yönetiminde verimliliğin stok akış hızıyla ilişkisinin ters yönlü baz alınması düşüncesi, alınan bir ürünün maliyet-etkin bir strateji için mümkün olduğunca elde bulundurulması ve çıkarılmaması düşüncesi ve iyi düzenlenmiş ve organize edilmiş bir ikinci el piyasa düşüncesi Döngüsel Ekonomi’nin temel ilkelerini oluşturmaktadır (Upadhyay ve Alqassimi, 2018: 66). Masi vd. (2018: 540)’e göre Döngüsel Ekonomi ’nin anahtar ilkesi temelde döngü yaratarak sistemi tasarruf ve verimlilik alanında geliştirme üzerine kuruludur. Döngüselliliği baz alan ilkeyle, üretim sistemlerinde ham madde ve enerji girdilerinin azaltılarak mümkün olduğunca minimuma indirilmesi ve doğa sisteminin taklit edilmesi amaçlanır.

Avrupa Komisyonu 2015 yılında uygulamaya koyduğu “Döngüsel Ekonomi Eylem Planı” ile ürünün dayanıklılık süresini arttırarak, değerini arttırmayı baz almıştır. Avrupa Komisyonu böylece atıkları azaltmayı ve kaynakların verimli kullanımını teşvik etmeyi amaçlamıştır. Döngüsel Ekonomi ilkelerinin geneline bakıldığında hep ürün bazlı düşünceler öne çıkmakta olup ortaya çıkan durum ürün tasarımı önemli hale getirmektedir. Çünkü ürün tasarımı yoluyla geri kullanım, geri dönüşüm, yeniden üretim ya da yenileştirme gibi ilkelerin uygulanması mümkün hale gelmekte ve seçeneklere uygun ürün tasarımı yapılabilmektedir. Tasarım düşüncesini Döngüsel Ekonomi ve ilkeleri konusunda önemli yapan neden, ürün tasarımının doğrudan değer zincirinin inşasını ve yönetilmesini etkilemesi ayrıca, kapalı döngü tedarik zincirini desteklemede de hayati öneme sahip olmasıdır (Bovea ve Pérez-Belis, 2018: 483-484).

Döngüsel Ekonomi sınırlı sayıda ilkelere dayanan bir sistem olmakla beraber, ilkelerin Döngüsel Ekonomi’nin ana temasını oluşturduğu görülür. Söz konusu ilkelere bakıldığında, ilki, atıkları önleme ve mümkün olduğunca minimuma indirme gayesi olurken, ikincisi ise döngü sürecinin, bir ürünün tüketilen/tükenen parçası ile dayanaklı parçası arasında bir ayrım sunarak, dayanaklı parçaları yeniden kazanmak ve tükenen yapılardan ayırmaktır. Üçüncü ilkede ise girdi konusunda en az ham maddeler kadar işletmeleri zorlayan ve sistemi bunlara bağımlı hale getiren enerji kavramının, bağımlılığı önlemek adına yenilenebilir kaynaklardan sağlanması gerekliliğidir. Döngüsel Ekonomi ’de tüketilen maddeler genelde toksik değildir ve biyosfere geri dönecek kadar güvenli ve çoğunlukla biyolojik besin ya da maddelerdir. Söz konusu ana ilkelerden başka yan dal olarak ifade edilecek alt kademe ilkeler de mevcuttur. Bunlar aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Ellen MacArthur Foundation, 2013a: 7):

- **İç Döngülerin Gücü:** Kavramın temel amacı, Doğrusal Ekonomi ’ye zıt yönde bir hareketle materyal kullanımının mümkün olduğunca azaltılmasıdır. Bu çerçevede döngü kavramı ön plana çıkar. Şayet bir ürünün döngüsü ne kadar sık olursa, ürünün geri kullanımı, yenilenmesi, yeniden üretimi daha az olur, bu sayede kullanıma daha hızlı döner ve emisyon salınımından, emeğe, enerjiden sermaye faktörlerine kadar birçok noktada tasarruf sağlama potansiyeli artar.

- **Daha Çok Döngü Yapma Gücü:** Döngü odağı üzerine kurulu ilkede amaç, ardışık döngü (geri kullanım, yeniden üretim, geri dönüşüm) sayısını arttırmak ya da her bir döngü için süreyi maksimum yapmaktır. Gözetilen temel amaç sistem verimliliğini arttırmak ve döngüyü daha etkin kullanmaktır.
- **Kat-Kat Kullanım Gücü:** Alt-bileşenin temel amacı, değer zinciri üzerinde ürünü geri kazanmanın bir seçeneği olan “Geri kullanım” yöntemini çeşitlendirmektir. Kat-Kat Kullanım Gücü ilkesi, “Geri kullanım” ın sadece bir kez olacak ya da gerçekleşecek bir yol olarak düşünülmemesini amaçlar. Örneğin, pamuklu bir nesne ikinci el eşya olarak kullanılabilir, sonrasında ise mobilya sektöründe döşemelerde lif dolgusu olarak yer alabilir, daha sonrasında ise lif dolgularının yalıtım malzemeleri olarak binalarda kullanılması sağlanabilir. Buradan hareketle yukarıda sayılan her süreçte tekrar tekrar kaynak çıkarıp bunları girdi olarak kullanmak yerine bir materyal her üç aşamada da geri kullanılmakta ve güvenli kullanım için biyosfere dönmesi sağlanmaktadır.
- **Doğal Döngülerin Gücü:** Bu alt-bileşen teknik materyallerin kalite bağlamında devamlılığını sağlarken, bir yandan da kirlenmemiş materyal akışlarının verimli bir şekilde toplanmasını ve tekrar dağıtımını sağlar. Sonuç olarak ise ürünün dayanıklılığı artırılır ve materyal verimliliği yükseltilir.

Döngüsel Ekonomi ile ilgili çeşitli ilkeler belirtilmekle beraber, ilke kavramına sokulacak ve belki de modelin yolunu aydınlatacak ve ana omurgasını oluşturacak bir yapı zinciri mevcuttur. Söz konusu yapı zincirlerini: “Beşikten beşiğe”, “Endüstriyel ekoloji”, “Endüstriyel simbiyoz”, “Kapalı döngü” ve “Tersine lojistik” kavramları oluşturur. “Beşikten beşiğe” kavramı, kapalı döngü sisteminde belirli bir malzemenin her kullanım sonrası geçişinde, yeni bir döngü yaratımının ve yeniden kullanım mantığının öne çıkarıldığı bir düşünceyi ifade eder. Düşüncenin amacı, malzemelerin döngülerde güvenli ve potansiyel manada sonsuz kalmalarına imkân verecek şekilde ürünler oluşturmaktır. Burada işlem sadece ürün tasarımıyla sona ermez, ürünün parçalara ayrıldığında geri oluşturulması ya da geri kullanılması noktasında da tasarıma destek verilir. “Endüstriyel ekoloji” kavramı ise akademik çerçevede malzeme ve enerji akışlarının endüstriyel sistemler aracılığıyla incelenmesi üzerine kuruludur. Kavram temel olarak endüstriyel sistemlerle ilişkili aktörlerin birbirlerinin atık malzemelerini ve enerji akışlarını kullanarak iş birliği yaptığı bir endüstriyel

sistemi savunur. “Endüstriyel simbiyoz” kavramı, temelde endüstriler arasındaki karşılıklı yarar ve iş birliğine dayanır ki bunları; su, kaynak ve enerji paylaşımının oluşturduğu gibi tüm işletmelerin çevresel ve ekonomik yararlar için atıklarının ve yan ürünlerinin de paylaşılması oluşturur. Bu kavramla materyal ve enerji akışları optimize edilirken atık üretimi ise minimuma indirilir. Kalan atıklar ise endüstriyel ekosistemler boyunca malzeme akışlarının tasarımıyla bir başka ürün için girdi durumuna gelir. Döngüsel Ekonomi ’nin can damarını oluşturan “Kapalı döngü kavramı”, lojistiğin iki bileşenini, tersine ve ileriye dönük lojistiği tek çatı altına alan, ham madde ve atık oluşumunu, atık materyalleri arıtarak ve bunları yeniden kullanıma vererek ya da ürün dayanıklılığını arttırarak azaltmaya dayanan bir lojistik sistemdir. Kısaca ifade edilirse “Kapalı döngü kavramı”, kullanılmış ürünlerin ve ürünlerin parçalarına ayrılmasıyla meydana gelen bileşenlerin atık olarak yaşamlarını çöp sahalarında son buldurmaktansa bundan kaçınılarak bunların yeniden değer elde edilmesi için farklı üretim sistemlerinde kullanılmasını baz alır. Döngüsel Ekonomi ’nin son bileşeni olan “Tersine lojistik kavramı” ise her zaman bilinen normal lojistik kavramının tam tersi bir işleyişe sahiptir. Nasıl ki bir ürün üretim yerinden, dağıtım kanalına oradan da tüketiciye doğru bir akış izliyorsa, tersi düşünüldüğünde ise akış, ürünlerin kullanılmış veya kullanılmamış olanlarını ya da parçalarını tersine taşıma süreci olarak değerlendirilir. Tersine işleyişte amaç kaybolan değeri yeniden kazanmak ya da düzgün atık oluşumunu sağlamaktır. “Tersine lojistik kavramı” atıkların toplanmasını ve endüstrilerde işlenmesini savunur, nedenini ise tekrar geri kullanım ya da üretim değer zincirine yeniden katılım oluşturur (Sehnem vd., 2018: 785). Ortaya çıkan tüm ilkeler, farklı Döngüsel Ekonomi kavramının öncüllerinin özüdürler ve Döngüsel Ekonomi’yle ilgili yapılan kavramsal çalışmaların esasında hepsinin ilkelerin oluşmasında kıyısından, köşesinden bir katkısı vardır.

3.5.Resolve Modeli

Döngüsel Ekonomi ’ye yönelik çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmeye çalışılan ilkeler bulunmakla beraber, yapılan araştırma kapsamında kullanılacak ve araştırmaya temel teşkil edecek model “Resolve” olacaktır. Model, ilk kez 2015 yılında Ellen MacArthur Foundation tarafından yayımlanan “Growth Within: A Circular Economy Vision For A Competitive Europe” başlıklı raporda geçmiştir. Resolve modeli temelde altı iş modeli üzerine kuruludur ve bunları “Yenile”, “Paylaş”, “Optimizasyon”,

“Döngü”, “Sanallaştırma” ve “Değişim” unsurları oluşturur (Kalmykova vd., 2018: 193-194). Resolve modelinin ana hedefini, yenilenebilir enerjiye geçiş, kaynak verimliliği ve etkinliğinde optimizasyon, daha uzun yaşam döngüsü için dairesel kullanıma önem verme ve sanal hizmetlere geçiş oluşturur (Bek ve Lim, 2008: 97). Resolve modeli, işletmelerin Döngüsel Ekonomi ’ye geçişini hızlandırmada yol gösterici olmasının yanında, sahip olduğu potansiyelle işletmelere gelişmiş bir strateji sunmaktadır (Jabbour, vd., 2019: 547).

Resolve Çatı Bileşenleri	Açıklaması
Yenile	Ekosistemi baz alan ve biyosferik döngüyü takip eden malzeme ve enerjide yenilenebilirlik yaklaşımı
Paylaş	Ürünlerin tekrar tekrar kullanım yoluyla ömürlerinin uzatılması
Optimizasyon	Performans ve verimlilikte iyileştirmeler
Döngü	Ürünlerin ve bileşenlerin yeniden üretime yönlendirilmesi
Sanallaştırma	Sanallaştırma yoluyla fiziksel öğelerden tasarruf
Değişim	Yeni teknoloji ve gelişmelerle malzeme ve ürün geri dönüşümünü arttırmak

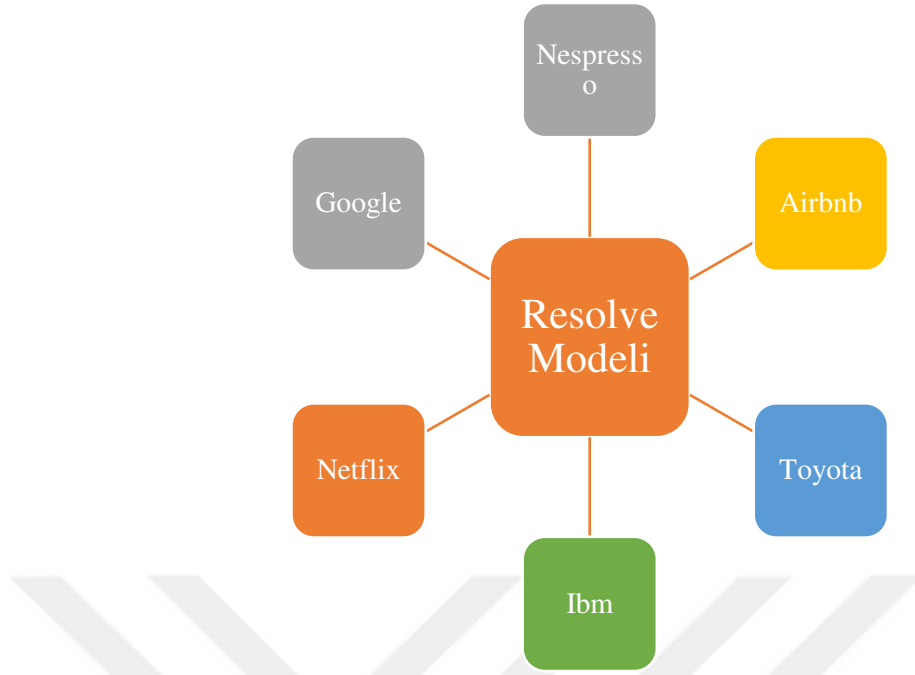
Tablo 3.2: Resolve Çatı Bileşenleri
Kaynak:(Ellen MacArthur Foundation, 2015a: 9)

Tablo 3.2’ye bakıldığında ve Resolve modelinin bileşenleri incelendiğinde, biyosferin geri dönüşüm felsefesinin (doğada her şey bir başka şey için girdi olur ama atık olmaz) kabul edildiği görülür. Atık minimizasyonu, ürünlerin mümkün olduğunca ekonomik dolaşımda tutulması ve bunun geliştirilmesi için verimlilik ve paylaşım araçlarına önem verilmesi, yeni teknolojilerle geri kazanımı mümkün olmayan ürünlerin geri kazanımı ve sanallaştırma yoluyla fiziksel öğeler için yapılacak ham madde zayıyatının önüne geçilmesi modelin temel yapı taşlarını oluşturur.

Resolve modelinin yapısını oluşturan altı bileşen ve bileşenlere karşılık gelen açıklamalar böyleyken, Resolve modelinin bileşenlerinin Döngüsel Ekonomi’nin uygulanmasını kolaylaştırma noktasında neleri amaçladıklarının da bilinmesi önem arz eder. Resolve modelinin bileşenlerinden “Yenile”, bir geri dönüşüme sahip ekosistem kurmayı ve geliştirmeyi amaçlarken, “Paylaş” ise bir ürünün kullanım ömrünü maksimum düzeye çıkaracak ürün yaşam döngüsünü devam ettirmeyi amaçlar. “Optimizasyon” bileşeni, ürün performansını kullanım açısından en iyi düzeye getirmeyi amaçlarken, “Döngü” bileşeni ise üretime giren materyallerin ve

enerjinin sürekli olarak kullanılarak üretime yeni materyal ve enerji girişini sınırlandırmayı hedefler. “Sanallaştırma” bileşeni, materyallerin fiziki olarak üretilip ham madde ve enerji kaynaklarının tüketimi yerine mümkün olduğunca materyallerin dijital ortama kaydırılmasını amaçlar. Son bileşen olan “Değişim” ise sınırlı olan ve hızla tükenen ham madde kaynaklarında ve enerjide tasarrufu amaçlar (Tu vd., 2020: 4).

Günümüzde Resolve modeli, Döngüsel Ekonomi’nin uygulanma noktasında Dünya’nın önde gelen birçok işletmesine rehberlik etmektedir. Resolve modelini kullanan işletmeler **Şekil 3.2’de** verilmiş olup otomotiv sektöründen, elektronik sektörüne, içecek sektöründen eğitim sektörüne kadar birçok işletmenin Resolve modelini kullandığı görülmektedir (Ellen Mac Arthur Foundation, 2015b: 26). Resolve modelinin işletmelerde uygulanmasının bileşenler özelinde incelenmesi modelin anlaşılmasını kolaylaştıracaktır. Kahve üreticisi olan Nespresso işletmesi Resolve modeli bileşenlerinden “Yenile” bileşenini baz almış olup, ürettiği kahve kapsüllerini geri dönüştürülebilir şekilde üretmektedir. Kiralık konaklama işletmesi olan Airbnb işletmesi, konaklamaya ihtiyacı olan kişileri, evlerini konaklamaya açanlarla buluşturmaktadır. Resolve modelinin “Paylaşım” bileşenini baz alan Airbnb işletmesi, kişilerin evlerini ve eşyalarını paylaşarak ürünlerden kullanımı maksimum düzeye çıkarmaktadır. Otomotiv üreticisi olan Toyota işletmesi “Optimizasyon” bileşenini baz almış olup, ürettiği elektrikli otomobillerle yakıt tasarrufunu ve verimliliği hedeflemektedir. Norveçli gıda üreticisi olan Yara and Veolia işletmesi “Döngü” bileşenini baz almış olup, gıdaları geri kazanarak ve geri dönüşümünü teşvike ederek tarımsal gıda zinciri kurmuş durumdadır. Dijital medya işletmesi olan Netflix “Sanallaştırma” bileşenini baz almıştır. Binlerce film, dizi ve görsel öğeleri fiziksel yol yerine dijital olarak bünyesine alan işletme, fiziki materyal israfına son vermektedir. Tekstil işletmesi olan Desso, “Değişim” bileşenini baz almış olup, toksik olmayan ve geri kullanılabilir halı materyali üretmiştir. İşletme yaptığı dönüşümle malzemelerin geri dönüşümünü arttırmayı hedeflemektedir (Tu vd., 2020: 4).



Şekil 3. 2: Resolve Modeli Kullanan Bazı İşletmeler
Kaynak:(Ellen Mac Arthur Foundation, 2015b: 26)

3.6.Döngüsel Ekonominin Faydaları

İlki 2014 yılında, ikincisi ise 2015 yılında Avrupa topluluğu komitesi tarafından yayınlanan Döngüsel Ekonomi temelli tebliğler sonucu model, Avrupa Birliği'nde popüler hale gelirken, aynı zamanda küresel bir strateji haline de gelmiştir. 2014 yılında yayınlanan “Towards A Circular Economy Zero Waste Programme For Europa” programı ve 2015 yılında yayınlanan “Closing The Loop- An EU Action Plan For The Circular Economy” programı, birliğe Döngüsel Ekonomi 'nin uygulanmasında sistem ve organizasyon değişikliğiyle, teknolojik yenilikleri barındıran bir yol haritası önermiştir. Modele geçişte artan isteklerin nedenleri olarak halk ve kamu arasında modelin farkındalığının artması, akıllı sürdürülebilirlik ve kapsayıcı büyüme konusunda modelin önemli bir rol oynayacağına duyulan inanç sayılabilir. Tüm nedenler uygulama yoluna dökülerek kendilerine Avrupa-2020 stratejisinde de yer bulmuşlardır (Smol vd., 2018: 1035). Genel çerçeveden uygulamaya dönük kısmi çerçeveye dönüldüğünde, ulusal pazarların birer birer küresel pazara açılması ve bütünleşmesi neticesinde rekabetin artması, ülkelerin yönetimlerinin modelin yarar noktasını kavrayıp, kanun ve düzenlemeler yoluyla doğrudan yada dolaylı olarak modele destek vermeleri ve çevreyi korumaya yönelik katı kurallara gitmeleri, sağladıkları hibeler ve vergilendirmeler yoluyla işletmelere

kolaylıklar sağlaması, küresel standartlar (İSO 14001 vb.) ve amaçlar (enerji yoğunluğu ve emisyonlar) küresel arenada Döngüsel Ekonomi 'yi destekleyen uygulamalar olmuştur(Tura vd., 2019: 91). Döngüsel Ekonomi 'nin gelişmekte olan ve gelişmiş ülkeler nezdinde tahminlenen ya da hesaplanan yarar skalası büyük olmakla birlikte, maliyet azaltımından, yeniliğe, kaynak verimliliğinden, üretkenliğe kadar birçok yarar vaat eden bir model olarak öne çıkmaktadır. Modelin sadece ekonomi alanında getireceği birikim ve tasarrufun miktarı bile son derece yüksektir (Schröder vd., 2018: 79). Döngüsel Ekonomi'nin getireceği yarardan dolayı son zamanlarda uluslararası kalkınma toplulukları da modele ilgi göstermeye başlamıştır. Ruanda, Nijerya ve Güney Afrika devletleri Dünya Ekonomik Forumu ve AB ile beraber çalışıp Döngüsel Ekonomi'yle ilgili gerek teknik gerekse teorik destek alırken, Ruanda, Nijerya ve Güney Afrika devletleri bir yeniliğe daha imza atarak Afrika'da Döngüsel Ekonomi alanında Afrika Birlikteliği oluşumunu başlatmışlardır. Döngüsel Ekonomi 'nin yayılımı Afrika'da devam ederken, çok yönlü kalkınma bankaları ise Döngüsel Ekonomi 'nin potansiyelini keşfetmek adına Kolombiya ve Türkiye'de çalışmalarda bulunmuşlardır. Ayrıca model Hindistan'ın da ilgisini çekmiş ve Hindistan Kaynak Paneli son zamanlarda Döngüsel Ekonomi 'yi vurgulayan kaynak verimliliği üzerine bir eylem programı başlatmıştır (Preston ve Lehne, 2017: 2).

Herhangi bir işletme atıklarını ne kadar çok kullanıyor ve döngü çevrimi içerisinde tutuyorsa, o işletme Döngüsel Ekonomi 'nin uygulanma mantığına ve kârlılık etkenine o kadar çok yaklaşmaktadır. Peki bir işletmenin Döngüsel Ekonomi 'yi uygulamasıyla edineceği kazanımlar neler olacaktır ya da modelin sağladığı yarar noktaları nelerdir? Döngüsel Ekonomi, temelde sınırlı kaynakların kullanımını azaltmayı amaçlarken bunu girdi kalemlerinin bir diğer büyüklüğünü oluşturan enerji kaynakları üzerinde de yapmaktadır. Fosil kaynaklar yerine temiz ya da doğaya duyarlı enerjinin kullanımını teşvik etmektedir. Döngüsel Ekonomi'nin sağladığı avantajlar sadece çevreyi atık bir çöp sahasına dönüştürmemek olarak düşünülmemelidir. Çünkü, Döngüsel Ekonomi tükenebilir diye tabir edilen kaynakların da üretim süreçlerinde mümkün olduğunca az bir süreci kapsamasına olanak verilmesini ve böylelikle bağımlılık olayının ortadan kaldırılmasını da tasarlamaktadır. Döngüsel Ekonomi'nin elle tutulur somut yararlarına bakıldığında, ilkinin materyallere ulaşmada daha ucuz ve daha iyi güvence sağlaması olurken, ikincisini ise yeni iş sahaları açma ve iş süreçlerinde her adımda uzmanlaşmayı mümkün kılması özelliği verilir. Döngüsel Ekonomi, yatırım

sermayesinin ülkeye çekilmesinde ve arttırılmasında da önemli bir yer tutmaktadır. Döngüsel Ekonomi, netice olarak daha kaliteli ve dayanaklı ürünlerin tasarımına imkân vermesinin yanında, ekonominin yönünün daha yenilikçi, daha verimli ve üretken hizmet sektörü tarafına kaymasını da sağlamaktadır. Kayma beraberinde daha az kaynak kullanımını, dışsal etkilenmelere maruziyetin önlenmesini ve verimli kaynak kullanımının artışı getirmektedir (Sariatli, 2017: 32-33).

Döngüsel Ekonomi 'nin uygulanmasındaki yararlar işletmeler açısından değerlendirildiğinde çeşitli faktörler ortaya çıkmaktadır. İşletmeleri yükselen ham madde fiyatları zorlarken, Döngüsel Ekonomi 'ye geçişle birlikte ham maddelerin daha çok döngüye dahil olmaları, ürün yaşam döngüsünün uzatılması ve geri dönüşümün yaygınlık kazanmasıyla birlikte girdi kaleminde önemli bir yeri işgal eden ham maddelerin, fiyatı düşecek ve arzları daha güvenli hale gelecektir. Böylece, tedarik zinciri pozitif yönde etkilenecek, Döngüsel Ekonomi ile tedarik zinciri iş birlikleri, daha sıkı ve güçlü olacaktır. Ayrıca, işletmeler kâr elde edilebilecek yeni pazarlar geliştirme fırsatına kavuşacaklar, uzun soluklu yatırımlara yönelecekler ve kâr marjlarını arttıracaklardır. Döngüsel Ekonomi'nin getireceği; ürünlerin ve faydalı materyallerin yaşam döngüsünün uzatılarak değer kazanımlarının arttırılmasının sağlanması ve ömürlerinin bitiminin takriben, bunların diğer ürünler için girdi görevi görmesinin sağlanmasıyla ilgili yaklaşımlar sayesinde tüketicilerin korunması sağlanacak, ürün tesliminden hizmetlere kadar, kiralama ya da ödünç verme hizmetleriyle, müşteri ve işletmeler arasında daha uzun soluklu bir ilişki kurulacaktır. Yeni yeni ortaya çıkan sattığını geri alma garantisiyle, işletmeler artık sattıkları ürünleri tüketicilerden kullandıktan sonra geri alacaklar, bunları ise tekrardan satarak ya da yenileyerek dolaşıma katacaklardır (Elisha, 2020: 511-512).

Döngüsel bazlı yaklaşım ekonomilere birçok avantaj sunmaktadır. Döngüsel Ekonomi'nin, ekonomi kapsamında sağladığı faydaların temelinde daha etkili kaynak yönetimi vardır. Etkili kaynak yönetimiyle bir ekonomi yılda trilyonlarca lira tasarruf edebilir. 2016 yılında Ellen MacArthur Foundation kuruluşu tarafından yayınlanan bir makalede, AB'de Döngüsel Ekonomi'nin uygulanmasıyla, net malzeme tasarrufu boyutunun birliğe yıllık 630 milyar dolar kaynak sağlayacağı belirtilirken, Döngüsel Ekonomi'nin yararlarının sadece bununla kalmayacağı, ekonomik büyümeyi tetikleyip, yeni iş sahası yaratarak, GSYİH göstergelerini %0,8 ile %7,0 oranında

arttıracığı, bunun yanında iş alanlarının gelişimine ise %0,2 ile %3 arasında artış sağlayacağı belirlenmiştir. Uygulamayla beraber ham madde fiyatları önemli ölçüde düşebilecek, istihdam ve yenilik faktörleri ise artış gösterecektir. Ham maddelerin her geçen gün daha fazla artan oranda geri dönüştürülmesi sayesinde, yeni ham maddelere ihtiyaç ve bağımlılık azalacak, ham madde çıkarımı düşecek, böylece ham madde fiyatlarında belirgin düşüşler yaşanacaktır. Ham madde tüketimine dayalı ekonomik büyüme anlayışı kısacası “çıkar-üret-at” düşüncesi son bulacak ayrıca, ekonominin zaman zaman maruz kaldığı kıt ham madde kaynaklı durumdan zarar görme ihtimalinin de önüne geçilecektir. Döngüsel Ekonomi’yle aynı zamanda müşterilerin istek ve ihtiyaçları daha zamanında ve doğru şekilde bilinebilecek böylece daha az ham madde kullanımı ve daha az atık oluşumu sağlanacaktır. Döngüsel Ekonomi’nin ekonomik olarak sunduğu avantajlara ek olarak, döngüsel ürün geliştirilmesi, üretimi ve sürdürülmesi uzmanlaşmış yeni bir iş gücü yaratması ve istihdamı olumlu yönde etkilemesi, toplumsal yararlara da kapı aralayacaktır (Ellen MacArthur Foundation, 2016: 23-24; Elisha, 2020: 509-510).

Döngüsel Ekonomi ’nin ekonomik alanda yarar ortaya getiren tek bir disiplin olarak düşünülmemesi gerekir. Modelin kapsam olarak içeriğine bakıldığında, merkezine biyolojik döngüleri baz alan, daha az atık oluşturarak kapalı bir çevrim yaratan ve akış devamlılığını sağlayan bir sistem çıkar (Ellen MacArthur Foundation, 2016: 24). Döngüsel Ekonomi ’nin ortaya koyduğu fayda anlayışının sadece bir yönlü ve ekonomi boyutunu ilgilendiren bir yapı olarak görülmemesi gerekir. Modelin faydalarından bir diğeri çevre boyutudur. Model sahip olduğu anlayışla, ekolojik sistem üzerinde olumlu etkilere ışık tutmakla beraber doğadan fazlaca yararlanıp tahrip edecek ve doğayı tüketecek düşüncelere de karşı çıkar. Günümüzde toprakta yaşanan bozulmaların maliyetleri giderek artarken, biyoçeşitlilik azalırken ve el değmemiş alanlar ortadan yok olurken, devreye giren Döngüsel Ekonomi, daha fazla biyolojik materyali gübreleştirme işlemi ve anaerobik arıtma yoluyla değerlendirerek, toprağa döndürmekte ve doğal bozulmanın önüne geçmektedir. Döngüsel Ekonomi’nin çevreye sağladığı avantajlardan diğeri ise sera gazı salınımlarının azaltılmasıdır. Sera gazları daha çok üretimde kullanılacak materyallerin çıkarımı, işlenmesi ve üretime girmesi dolayısıyla oluşmaktadır. Döngüsel Ekonomi ise materyal çıkarımlarını sınırlayan ve kapalı döngü sistemiyle akış çevriminde materyal kullanımını daim kılan bir anlayışa sahip olmasından dolayı modelin sera gazlarını

azaltacağına duyulan güven artmaktadır. Döngüsel Ekonomi'nin başarılı şekilde uygulanması durumunda, AB'deki karbon salınımının 2050 yılına kadar %56 düşeceği öngörülmektedir. AB karbon azaltımını daha da yaygınlaştırmak ve Döngüsel Ekonomi'nin uygulanmasını sağlamak için ham materyal alımını sadece birlik ülkeleriyle sınırlandırmıştır. Modelin ekonomide uygulanmasıyla topraktan, havaya ve suya kadar yaşamsal ekosistemler oluşturulmasının önü açılacak olup, ekosistemlerin ortaya çıkışıyla, bereketli araziler, tozlaşmanın desteklenmesi, temiz içme suyu ve temiz ürün gibi fırsatlar meydana gelecektir. Ham maddelerin çıkarılması ve atıkların boşaltımı gibi çevre üzerinde negatif etki yaratan süreçler, Döngüsel Ekonomi ile son bulacak ve döngüsel işlemler sayesinde her iki negatif etki de sonlanacaktır (The Ellen MacArthur Foundation, 2016: 23-24; Elisha, 2020: 510-511).

Döngüsel Ekonomi' nin temel faydalarından birisi sosyal bileşendir. İstihdam yaratımı ve müşterilere verilen bilinç temel sosyal yararları oluşturur. Bilinç kavramı zaten modelin ana felsefesiyle dolaylı da olsa topluma aksetmektedir. Modelle beraber yeni iş sahalarının ve hizmetlerinin açılarak bunun istihdamı pozitif yönde etkileyeceği düşünülebilir. İş sahalarına, modelle beraber girecek olan tersine lojistik işletmeleri örnek verilebilir. Normal lojistik işletmeleri üretimden tüketiciye kadar bir değer dağılımı sağlıyorsa tersine lojistik işletmeleri ise dağıtılan değerleri tüketiciden üreticiye doğru geri döndürmektedir. Tersine lojistik işletmeleri, kullanımdan sonraki ürünleri üretimde geri kullanılması için toplar, onarır ya da tekrardan piyasaya geri dağıtır. Tersine lojistik işletmeleri haricinde ürünlerin yaşamlarını uzatmada ya da onlardan daha yüksek orandan yararlanmayı mümkün kılma, piyasalar ya da satış platformları verilebilir. Ayrıca, ürünlerin yeniden tamirini ve yeniden kullanımını kolaylaştıran, uzman kişiler de Döngüsel Ekonomi kapsamında yaratılan istihdamın uzantılarından olabilir (Elisha, 2020: 512).

Döngüsel Ekonomi yönünde yol alan işletmeler, Döngüsel Ekonomi uygulamalarını benimsedikçe, markalarının imajını korumasının yanında markalarını güçlendirecek ve farklılıklarını arttıracaktır. Ayrıca gelecekte Döngüsel Ekonomi sayesinde, tedarik zinciri yüksek ve hızlı kaynak fiyatlamasından kaçınarak, kaynak bağımlılığına olan düşkünlüğünü de azaltacaktır (Tura vd., 2019: 91). Gelecekte ne kadar çok işletme atığını döngüledikçe ve geri kullandıkça, kendisini ekonomik anlamda kâra geçirecek

ve Döngüsel Ekonomi düşünce menziline bir adım daha yaklaşacaktır. Sonuç olarak da çevreye daha duyarlı bir işletme ortaya çıkacaktır. (Sariatli, 2017: 32).

3.7.Döngüsel Ekonominin Karşılaştığı Engeller

Döngüsel Ekonomi belli sektörlerde ve süreçlerde kullanılagelmekle beraber, kullanımının tüm sektörlerle yayılıp geniş bir yelpazeyi barındırdığını söylemek güçtür. Modelin geniş kabul görmesini engelleyen çeşitli engeller vardır. Modelin uygulanmasını sağlayan ve yürütümünü engelleyen noktaların birlikte değerlendirilmesi, modeli zenginleştirecek ve modelin yararlı bir zemine oturtulmasına olanak sağlayacaktır (OECD, 2019: 38). Modelin henüz emekleme devresinde bulunması ve karmaşıklığa sahip olması; doğal bilimlerden, mühendisliğe, ekonomiden yönetime kadar çeşitli bilimlerin bir araya gelip ortaklaşa ele alması gereken bir konudur. Modelin ana yapı taşlarından biri olan döngü çevriminde, üretim döngüsünün kapatılması ve tüketimden sonra ürünlerin yeniden üretim süreçlerine kazandırılması noktasında model gerekli teşvikleri sağlamak zorundadır. Modelin karşılaştığı engellerin başında dayanıklı, uzun ömürlü bir ürün üretiminin, rakibi olduğu Doğrusal Ekonomi 'deki gibi hızlı ve tek kullanımlık bir süreçten genellikle daha pahalı olmasıdır. (Sauvé vd., 2016: 54).

Günümüzde var olan Doğrusal Ekonomi'yle ilgili birçok sıkıntı meydana gelmiş durumdadır. Modele alternatif olarak ortaya çıkan Döngüsel Ekonomi ise meydana gelen sıkıntılara alternatif üretmekle beraber, her sistemin karşılaştığı engeller gibi kendisinin de sahip olduğu engeller mevcuttur. Elisha (2020: 513)'e göre modelin karşılaştığı engeller, genel olarak ekonomik ve kurumsal boyuttadır. Elisha (2020: 513) modelin karşılaştığı kurumsal engel boyutlarına;

- Dünyadaki mevcut ekonomik düzenin Doğrusal Ekonomi yönünde hızlanması,
- Döngüsel Ekonomi' ye geçilmesinde faaliyet maliyetinin olmamasının belirsizliğe yol açması,
- Mevcut iş gücü piyasasında kuralların ve düzenlemelerin Döngüsel modelle çatışması ve karşıtlığa sebebiyet vermesi,
- Doğrusal değer zincirini dışarıda bırakacak döngüleri kapatmak için mevcut birlikteliklere duyulan gereklilik,
- Çoğu işletmenin kısa dönemli hedeflerinin olması, gibi göstergeleri örnek verirken

Ekonomik engel boyutlarına ise,

- Ham madde fiyatlarının kararsız duruşuna rağmen ikincil kaynakların rekabetçi bir durum sergilememesi,
- Ekonomik kararlarda çevresel ve sosyal maliyetleri içermeyen fiyatlandırılmasının hatalı piyasa durumlarına yol açması,
- Modelin hali hazırda geliştirilmesinin ekonomik olarak takviye edilememesi,
- Tedarik zincirinde modelin sağladığı gelir ve giderin dengesizliğe ve belirsizliğe yol açması,
- Döngüsel önerilere talebin sınırlı olması ve modelle ilgili bilgili personel eksikliği
- Döngüsel modelin işletmelerle ve dış paydaşlarıyla yakın ve yoğun ilişkiye sebebiyet vererek karmaşık bir ilişki yaratması gibi göstergeleri vermiştir

Sariatli (2017:33), “Linear Economy Versus Circular Economy: A Comparative And Analyzer Study For Optimization of Economy for Sustainability” adlı çalışmasında Döngüsel Ekonomi ve Doğrusal Ekonomi arasında Swot analizi yapmış ve analizin bir uygulaması olarak da Döngüsel Ekonomi’nin zayıflıklarını yani dezavantajlarını şu şekilde belirlemiştir:

- Modelin halen tüm ürün ömrünün birleştirilmesini baz alan bir döngüyü gerektirmesi,
- Modelin uygulanması noktasında her sektöre yönelik özel bir yol haritasının olmaması,
- Modeli belli standartlara oturtacak ve düzenleyecek uluslararası arenada kabul gören bir kurumun var olmaması,
- Üretim işlemleri için kullanılacak ham maddelerde yarı-dönüştürülebilir özellikteki maddelerin atlanması ya da ihmal edilmesi,
- Toplumun modelle ilgili yeterli bilgiye sahip olmaması,
- Kampanyaların sektördeki insanlara ulaşmasındaki eksiklik,
- Modeli sektöre tanıttakç yatırımların yetersizliği,
- Modelin kendisiyle ve uygulanmasıyla ilgili henüz bir düzenlemeye sahip olmaması.

Döngüsel Ekonomi' nin karşılaştığı engelleri incelemek adına çalışma yapan diğer araştırmacılar ise Adams vd. (2017: 18-19)'leridir. Adams vd. (2017: 18-19) yaptıkları çalışmada, modeli inşaat sektöründe incelemişler ve endüstriyel alanda uygulanmasıyla ilgili, uygulamayı kolaylaştıran ve zorlaştıran etkenleri belirlemek adına, katılımcılara alt göstergelere ayırdıkları bölümlerle alakalı soru yöneltmişlerdir. Döngüsel Ekonomi'nin uygulanmasındaki zorluklar başlıklı bölümü 10 alt bölüme ayırmışlar ve katılımcılara modelin uygulanmasında 10 alt sekmeden hangisinin daha zor olduğunu; "1" numaranın çok kolay olduğu, "4" numaranın çok zor olduğu seçeneğinde belirlemelerini istemişlerdir. Araştırma sonucunda ortaya çıkan verilere göre modelin uygulanmasında en büyük zorluk, ürünün yaşam döngüsünü mümkün olduğunca uzatacak tasarımlar için verilen teşviklerin yetersizliği görülmüş, bunu ise piyasayı model yönünde iyileştirecek gerekli piyasa ekonomisi mekanizmasının olmaması izlemiş, son sırayı ise modelle ilgili bilgi sahibi olunmaması almıştır. Çalışmanın geneline bakıldığında ise ana zorlukların, ekonomik, yapısal ve bilgi alanında olduğu görülmekle beraber uygulamanın inşaat sektörüne hitap ettiği de unutulmamalıdır. Modelin karşılaştığı engelleri kategorilere ayırarak sınıflayan bir diğer araştırmacılar ise Kirchherr vd. (2017: 6) olmuştur. Kirchherr vd. (2017: 6) diğerleri yaptıkları çalışmada modele yönelik engelleri dört kategoride incelemişlerdir:

- **Düzenlemeyle İlgili Engel:** Döngüsel Ekonomi' ye geçişi sağlayacak düzenlemelerin ya da kanunların yokluğu
- **Kültürel Engel:** Döngüsel Ekonomi'yi model olarak incelemede isteksizlik ya da bilgisizlik
- **Teknolojik Engel:** Döngüsel Ekonomi 'yi teoriden uygulamaya geçirecek teknolojilerin yoksunluğu
- **Piyasa Engeli:** Döngüsel Ekonomi iş modellerinin ekonomik anlamda hayatta kalabilme becerisinden yoksun olması

Bir işletme, Döngüsel Ekonomi'yle ilgili tereddüde sahipse, Döngüsel Ekonomi'yle ilgili tasarımlar geliştiremeyecek ve piyasaya Döngüsel Ekonomi'yle ilgili bir şey sunamayacaktır. Ayrıca, işletme Döngüsel Ekonomi'nin ne olduğu ya da yararının

nelere tekabül edeceği noktasında bilgisiz bir müşteri kitlesi de yaratmış olacaktır. Birbirleriyle bağlantılı engellerin genişletilmesi mümkündür. Bir diğer örnek olarak piyasa ve düzenleme engelleri arasındaki ilişki verilebilir. Bir işletme sınırlı döngüsel temine sahipse, yani girdilerini Döngüsel Ekonomi kapsamında tam temin edemiyorsa, bu durum ilgili işletmenin piyasada ürünlerinin bir yer ettiği ve başarılı olduğu ile ilgili inandırıcılığın yitirilmesine yol açacak olup, ilgili işletmenin döngüsel iş modeliyle ilgili kaynağını ya da finansal olanağını da sınırlandıracaktır. Zincirleme durumlar özellikle döngüsel politikaların hayata geçirilmesinde ve uygulanması noktasında politika yapıcılar arasındaki istekliliklerin sayısına zarar verecek olup, modelin başarılı örneklerinin görülmesinin ıskalanması da buna katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak teorik çerçevesinin ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları açısından göz kamaştırıcı bir modelin, uygulama açısından bekleneni verememesi düzenleyici çevreyi tereddütte düşürecektir. Bundan dolayıdır ki piyasa engelleri düzenlemedeki engellere yol açarken, piyasa engelleri daha da artan şekilde düzenlemedeki hareketlerin, faaliyetlerin daha başlangıç aşamasında engellenmesine neden olacaktır. Birbirine bağlı olan dört engel bileşeni, Döngüsel Ekonomi zincirinin başarısızlığına sebebiyet verecek, hali hazırda uygulanmakta olan Doğrusal Ekonomi'nin kullanılmasına dair bir ortam yaratacaktır. Engeller belliyken ve zafiyet ortadayken, problemlerin analiz edilmesi ve problemlere çözüm bulunması, modele geçiş yolunda, zayıf noktaların belirlenmesini sağlayabilir. Ayrıca, güvenli ve etkin bir ekonomi trafiğine yol açabilir ve modelin benimsenmesine olanak tanıyabilir (Kirchherr vd., 2017: 6).

Söz konusu zayıflıklar irdelendiğinde, modelin halen bir gelişim aşamasında olduğu, genel çerçevede tam olarak tanımlanamadığı ve belli standartlara oturtulamadığı anlaşılmakta olup, uluslararası alanda ise düzenlemeleri yönetecek ve gerekli geri bildirimi alıp sürece yön verecek bir kuruluşun var olmaması, modele ulusal ve uluslararası alanda daha çok önem verilmesi gerektiği fikrini öne çıkarmaktadır.

3.8. Doğrusal Ekonomi ve Döngüsel Ekonomi İlişkisi

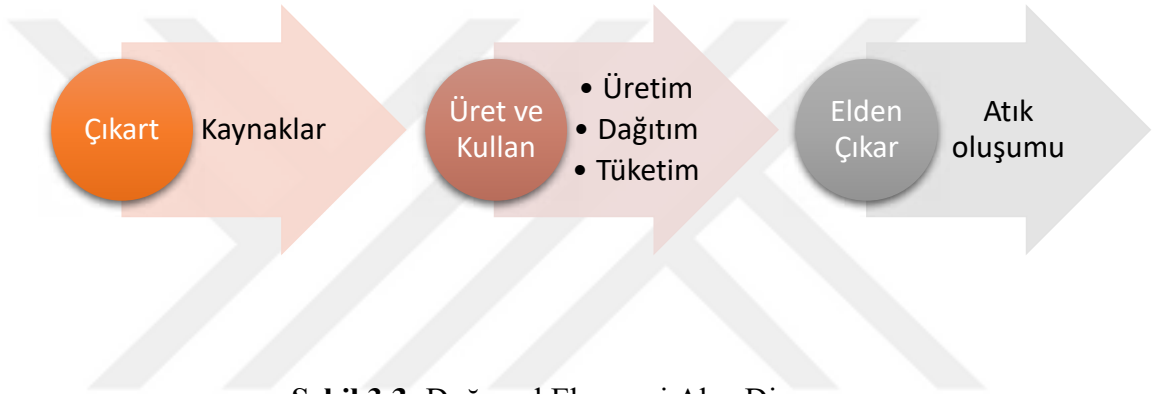
İngilizce dilindeki ifadesiyle “Linear” Türkçe karşılığı ise “Doğrusal” olan ve düz bir çizgi akışına sahip olan “Doğrusal Ekonomi”, üretime gerekli girdilerin alınması akabinde ürünlerin üretilmesi, ardından satılması ve tüketiciler tarafından kullanılmasıyla beraber atık olarak elden çıkarılması sürecine dayanan, tek yönlü

üretim ve tüketim modeline denilmektedir (Ellen MacArthur Foundation, 2013b: 6). Doğrusal Ekonomi “al, yap, at” düşüncesine dayanan ekonomik modeldir. Söz konusu modelde, kaynaklar yeryüzünden çıkarılır, üretim sürecinin sonunda tüketilir, tüketimin kalıntıları çöp sahasında ya da yakım sahalarında birikir (Upadhyay ve Alqassimi, 2018: 63). Modele “Doğrusal” denilmesinin sebebi; ürünün üretilmesi, üretildikten sonra kullanılması akabinde çöpe atılması ve ömrünün sonlandırılması düşüncesidir. Ürün tıpkı bir canlı gibi doğar, gelişir ve ardından ömrünü tamamlar. Fakat canlılardan farklı olarak atılan ürünlerin tekrar değerlendirilme şansları bulunmaktadır. Süreç, bir yolun bitimi gibi atık sahalarında son bulmakta ve atıklar tekrar “U” dönüşü bir yola sahip olamadığından, model “Doğrusal” olarak adlandırılmaktadır. Doğrusal Ekonomi ’de üretim ve tüketim süreçlerinde oluşan atıklar sınırlandırılmamakta ve atıkların geri kazanılması için hiçbir çaba sarf edilmemektedir (Sillanpää ve Ncibi, 2019: 18-19).

Doğrusal Ekonomi, İkinci Sanayi Devrimi’yle beraber ortaya çıkmış ve özellikle 2.Dünya Savaşı’nın bitiminden sonra ekonomik refah açısından zamanla kayda değer büyüme göstermiştir (European Investment Bank, 2020: 1). 1900 ile 2000 yılları arasında Dünya Gayri Safi Yurt İçi Hasılası (GSYİH)’ nda yaklaşık 20 kat artış yaşanmıştır (<https://ourworldindata.org/grapher/world-gdp-over-the-last-two-millennia>,Erişim tarihi:10.02.2022). Fakat, zamanla talebin üzerinde yapılan üretimler, ürünlerin yaşam döngülerinin kısalması, çevreye verilen zararlar ve bilinçsiz kaynak kullanımı gibi etkenler ekonomik, toplumsal ve sosyal boyutta birçok mağduriyete sebebiyet vermiştir. Ham maddelerin alınıp işlenmesi ve ardından ürünlere dönüştürülmesinden sonra, ürünlerin insanlar tarafından kullanıldıktan sonra atılması işleyişine dayanan Doğrusal Ekonomi; kaynaklarda verimlilik yerine tüketime odaklanması, netice itibarıyla değer zincirinde önemli kayıplara sebebiyet vermiştir. Zamanla gelişen süreçlerle beraber, modelin kaynakları sürdürülemez şekilde kullanması ve süreçlerinde çevreyi görmezden gelmesinden dolayı, atıklar devasa boyutlara ulaşmış ve atıkların içerisinde toksik maddelerinde bulunması canlılar için sağlık anlamında tehlike yaratmaya ve çevreyi tahrip edecek bir noktaya doğru evrilmeye başlamıştır (Türkmen ve Kılıç, 2020: 2545-2546).

Doğrusal Ekonomi ’nin daha iyi anlaşılması için **Şekil 3.3** verilmiştir. **Şekil 3.3**’de yer yüzünden çıkarılan kaynaklar, üretim işlemiyle ürünleri oluşturmakta, sonrasında

tüketicilere sunulan ürünler ise atılarak çöp sahalarında son bulmaktadır. Şekilde en fazla dikkat çeken nokta, modelin düz bir akışa sahip olmasından dolayı sistemin geri besleme yapmaktan yoksun olmasıdır. Özetle, model çevrim (döngü) yeteneğinden yoksundur. Doğrusal Ekonomi önceliğine üç temel perspektifi almış durumdadır. Düşük maliyete sahip üretim, olabildiğince çok ürün arzı ve bunun doğal sonucu olarak kâr elde etme arzusu, modelin üç temel perspektifidir. Doğrusal Ekonomi önceliğine çevre ve sosyal düşünce yerine ekonomi ve sanayiye almaktadır (Önder, 2018: 198).



Şekil 3.3: Doğrusal Ekonomi Akış Diyagramı

Kaynak: (Türkmen ve Kılıç, 2020: 2545)

Doğrusal Ekonomi, mümkün olduğunca çok sayıda ürünün üretilmesine ve satılması kavramına dayanır ve dolayısıyla model geri dönüşüm felsefesini göz ardı eder. Geri dönüşüm felsefesini benimseyen bir ekonomide kullanılan ve işlevi bittikten sonra elden çıkarılan bir ürün, tekrardan aynı ürünün yenisinin üretilmesi için kullanılabilir. Örneğin bir cam bardak kullanılıp işlevi bittikten sonra atıldığında geri dönüşüm yoluyla yeni bir cam bardağın üretiminde kullanılabilir. Ürün ve materyallerin, üretime tekrar geri kazandırılması düşüncesini içeren geri dönüşüm kavramı kendine Doğrusal Ekonomi’ de yer bulamamaktadır (Elisha, 2020: 500). Durum böyleyken Dünyamızın sınırları bellidir ve modelin ulaşabileceği üretim ve tüketimin de belli bir seviyesinin olduğu açıktır. Modelle beraber üretilen ürünlerin tüketilmeleri sonrasında oluşan atıklar, çöp sahalarını kapladığında ve buradan çevreye yayılıp çevreye zarar vermeye ve çevreyi kirletmeye başladığında modelin bir kısır döngüye sahip olmuş olduğu bariz şekilde açığa çıkmaktadır (Sauvé vd., 2016: 53). Doğrusal Ekonomi’ nin

en büyük dezavantajlarından birisi üretilen ürünlerin atıklara dönüşmesinden sonra hiçbir şekilde üretim sürecine girişinin mümkün olmamasıdır. Atıkların geri dönüştürülmemesi ekolojik ve ekonomik anlamda Dünyamıza büyük zararlar vermektedir. Halihazırda “al-kullan-at” mantığındaki model nedeniyle, OECD ülkelerinin vatandaşlarının tüketim için aldıkları ürünlerin (yiyecek ve içecek) yaklaşık %80’inin yaşamı çöp sahalarında, çöp fırınlarında ya da atık sulara sonlanmaktadır (Ellen MacArthur Foundation, 2013b: 7). Zaman içerisinde ekonomik sistemin kaynak kullanımını arttırdığı görülmekte, “kullan at” denilen ve çevreyi görmezden gelen tüketim toplumlarının da oluştuğu gözlenmektedir (European Investment Bank, 2020: 1). Zamanla gelişen süreçler modelin artık limitine ulaştığını ve inişe geçtiğini göstermektedir. Modelin işletmelere, üretim için gerekli rekabet gücünü ve ürün farklılığını sağlamada yetersiz kalması, işletmelerin odak noktasını oluşturan kâr marjının; talepteki azalış, kaynak fiyatlarındaki artan maliyetten dolayı düşme eğilimine girmesi, tarım sektöründe gözle görülen büyüme yavaşlaması, toprakların verimsizleşmesi dolayısıyla yiyecek ve besinlerde yaşanan kalitesizlik ile yiyeceklerin güvenlik ve koruma risklerinin küresel tedarik zinciri tarafından tehdit edilmesi gibi yaklaşımlar modelin artık zayıfladığına işaret eder (Ellen MacArthur Foundation, 2013b: 7).

Doğrusal Ekonomi, enerji ve materyal yoğun bir sistemdir ve ölçek ekonomisine dayanmaktadır. Milyarca kişiye ekonomik değerde mal ve materyal zenginliği sunması modeli son derece başarılı kılmasına rağmen, Dünya nüfusunun göreceli olarak artacağı ve artan nüfusun ise ihtiyaçlarının karşılanması için tüketimin artacağı da bir gerçektir. Artan tüketim ise girdi maliyetlerini arttıracak ve girdi maliyetlerini yukarı yönde baskılayacaktır. Zincirleme gelişen süreçlerle beraber, kaynak tedarikine artan yoğun ilgi çevre üzerinde gözle görülür sıkıntılara yol açacaktır. (Ellen MacArthur Foundation, 2013b: 6-7). Doğrusal Ekonomi ’nin, ekolojik ve ekonomik anlamda yarattığı yıkıma plastik örneği verilebilir. Dünya’da üretilen plastiklerin %70’inden fazlasının ömrü çöp sahalarında, nehir, göl, deniz ya da okyanus gibi su kaynaklarında son bulmaktadır. Gidişat böyle devam ederse 2050 yılına kadar okyanuslarda balık popülasyonundan çok plastik atıkların görülmesi içten bile olmayacaktır. Hâli hazırda ise su kaynaklarına akan plastiklerin yıllık maliyeti 13 Milyar dolara ulaşmış durumdadır (<https://www.washingtonpost.com/news/morning-mix/wp/2016/01/20/by-2050-there-will-be-more-plastic-than-fish-in-the-worlds->

oceans-study-says/ Erişim tarihi:10.09.2021). Doğada plastikler gibi biriken; alüminyumdan, çeliğē, kâğıttan deriye kadar binlerce şüpheli madde vardır. Yaşanan durumların hemen hepsi Doğrusal Ekonomi' ye göre hareket eden işletmelerin, sağlıksız rekabete yol açmalarından, ekolojiye zarar vermelerinden ve kullanılan ürünleri daha ömürlerini tamamlamadan demode haline getirme çabalarından kaynaklanmaktadır (Upadhayay ve Alqassimi, 2018: 63-64). Günümüzde Doğrusal Ekonomi 'nin gerek ekonomi alanında gerek sosyal alanda gerekse de kültürel alanda artık derin bir kriz altında olduğuna çok sayıda güçlü işaretler vardır ki çevresel alandaki endişelerinde oluşan derin krize katkısının atlanmaması gerekir. İş dünyasından son dönemde gelen şikayetler, işletmelerin maruz kalacağı finansal risklerin artmasından ve işletmelerin önceliklerinin üretimden çok finansal risk alanına kaymasından meydana gelmektedir. Sonuç olarak, iş dünyasında da Doğrusal model sorgulanır hale gelmiştir. Marino ve Pariso (2016: 271) yaptıkları çalışmalarında Doğrusal Ekonomi 'nin artık sınırlarına ulaştığı ve çeşitli riskler yarattığını belirtmişler ve bunları aşağıdaki şekilde gruplara ayırmışlardır:

- Sistemlerin risklere maruz kalma oranını arttırması,
- Kaynak fiyatlanmasında yükselmelere ve dalgalanmalara neden olması,
- Tedarikte ve enerji arzında yaşanan aksaklıkların kimi sektörlerde rekabet ve talep konularında aksaklıklara sebebiyet vermesi.

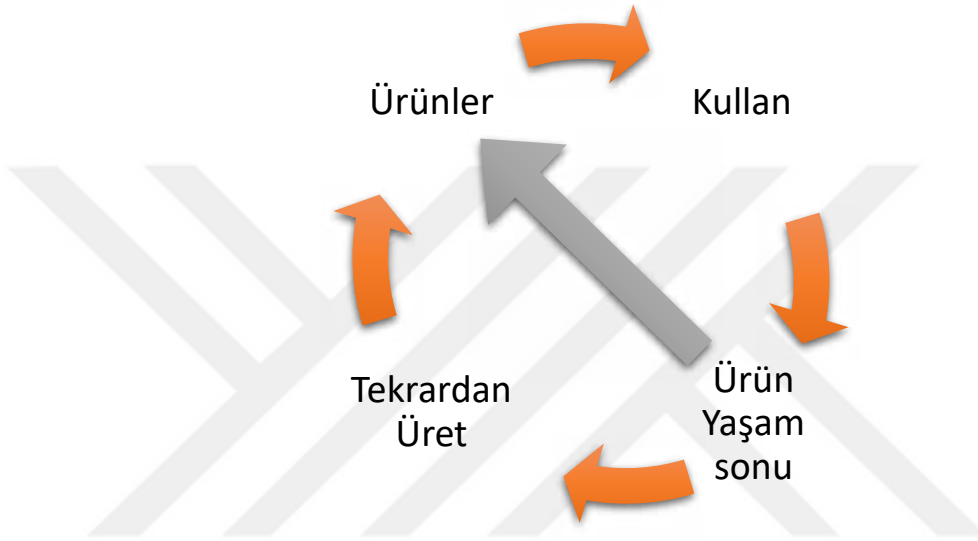
Sonuç olarak çevreye verilen zararın artmasıyla küresel anlamda tehlikeyi önlemek adına “Sürdürülebilir Kalkınma Anlayışı” ön plana çıkmaya başlamıştır. Doğrusal Ekonomi'nin çevreyi dikkate almayan davranışları ve sadece ekonomiyi baz alan yaklaşımları adeta çevrede bir talan yaratmış ve git gide insanoğlunun yaşamına tehlike arz edecek bir gelişmeyi beraberinde getirmiştir. Sürdürülebilir Kalkınma Anlayışı 'nın gerçekleştirilmesindeki en büyük zorluğun, mevcut ekonomik model olan, Doğrusal Ekonomi olduğu fark edilmiş ve modele alternatif aranmaya başlanmıştır (Önder, 2018: 198).Doğrusal Ekonomi 'ye son zamanlarda alternatif olarak ortaya çıkan Döngüsel Ekonomi, temelde ürün ya da hizmetlerin biyolojik ya da teknik döngülerle yeniden kullanılacak şekilde tasarlanması mantığına dayanmakla beraber gerek ürünler gerekse ürünleri oluşturan bileşen ya da materyallerden en yüksek değer yaratımını amaçlamaktadır. Döngüsel Ekonomi' ye, geçişle birlikte

kaynak tükenişinin önüne geçilmesi ve kaynakların verimliliğinin artırılması, gibi hedefler güdülmektedir (Türkmen ve Kılıç, 2020: 2546).

Döngüsel Ekonomi temelde çevrimsel bir yapıya sahip olmakla beraber çevrime temel teşkil etmede gezegenimizi baz alır. Döngüsel Ekonomi'nin aksine Doğrusal Ekonomi ise kaynak kullanımında ve atık oluşumunda çevresel etkenleri dikkate almamakla beraber döngü olaylarına girmemesi sonucu kaynak çıkarımlarında ve atık oluşumlarında ciddi bir artış ve israf görülür. Doğrusal Ekonomi düz bir çizgi şeklinde olduğundan, süreçler sonucunda ortaya çıkan ve sonucunda gezegenimize tekrar dönen maddeler atık olarak kaybedilir ve değerlendirilme şansını yitirir. Döngüsel Ekonomi 'de ise kaynakların, üretim ve tüketim sistemleri içerisinde döngüsel çevrimler yaratılarak değerlendirilmesi yoluna gidilir ve her bir aşamada kaynak kullanımıyla atık ve kirliliğin önlenmesi optimize edilmeye çalışılır. Döngüsel Ekonomi kaynak tüketimi zenginliği düşüncesiyle, ürünlerin ve hizmetlerin tüketim miktarları düşüncesini ayrıştırma amacı güder. Döngüsel Ekonomi'yle süreklilik arz eden ham madde kaynaklarının çıkarımı işleminin önüne geçilir ve ürünlerin insanlar tarafından tüketildikten sonra nihai olarak çöp sahalarında son bulmasının kapalı döngüler vasıtasıyla önüne geçilir (Sauvé, 2016: 52-53). Döngüsel Ekonomi hali hazırda kullanılmakta olan Doğrusal Ekonomi 'den açık döngü yerine kapalı döngü tabiriyle ayrılmaktadır. Döngüsel Ekonomi 'de ürünler sistem içerisine tekrardan kolayca girebilecek şekilde ve teknik ya da biyolojik bileşenlerine kadar kolayca ayrılabilir şekilde tasarlanırlar. Doğrusal Ekonomi 'de var olan “üret-kullan-at” mantığı yerine, Döngüsel Ekonomi, “kaynak-ürün-geri kullanılabilir kaynak” olarak bir süreci takip eder ve bir geri besleme barındırır. Döngüsel Ekonomi, kullanılan ürünlerin atık olarak atılmasından ziyade kullanılan ürünleri ayrıştırarak bir başka ürünün üretimine kaynak teşkil ettirmeye çalışır. Döngüsel Ekonomi, sahip olduğu ilkeyle, çevreyi ve sınırlı kaynakları baz alır ve sonsuz büyümeyle çevresel bozulma arasındaki denklemi iyileştirmeye ve düzeltmeye çalışır (Can, 2017: 143).

Şekil 3.4'de Döngüsel Ekonomi 'nin çalışma mantığı verilmiştir. Doğrusal Ekonomi'nin aksine düz bir akış yerine şeklin döngüsel bir akışı takip ettiği görülmektedir. Doğrusal Ekonomi'nin aksine, ham maddeler üretim kısmına girip, ürün olarak çıktıktan sonra tüketicilere gelip kullanım aşamasına geçmekte, sonrasında ise “atık” etiketi almak yerine yaşam süresini tamamlamamışsa buradan doğrudan

tekrardan gerekli iyileştirmelerle ürün olarak değeri devam ettirilmekte ya da yaşam süresini tamamlamışsa buradan gerekli işlemler yoluyla tekrardan üretime kazandırılmaktadır. Her iki model arasında dikkate değer farkı burada görmek mümkündür. Döngü yoluyla mümkün olduğunca atık durumuna gelecek değerleri geri kazanmak, çevreyi ve sosyal hayatı içinde bulunduğu durumdan kurtararak, bunlar karşısında sorumluluğu bulunan ekonomik anlayışı çevre ve sosyal yapılara göre tekrardan dizayn etme gerekliliği, aradaki farkı açıklamaktadır.



Şekil 3. 4: Döngüsel Ekonomi 'nin Akış Diyagramı

Kaynak: (<https://www.ecomena.org/third-policy/>,Erişim tarihi:28.02.2022)

İki farklı yaklaşımın çakıştığı nokta bariz şekilde açıktır. Döngüsel Ekonomi, işletmelerin sahip olduğu üretim ve tüketim felsefesini doğal ve derin şekilde dönüştürmeyi amaçladığından dolayı Doğrusal Ekonomi 'ye tamamıyla zıt bir modeldir. Üretim ve tüketim kalıplarının uygulanmasıyla ekonomik sistem içerisindeki materyaller daha uzun şekilde endüstriyel süreçler içerisinde tutulur (Marino ve Pariso, 2016: 272). Böylece atıkların minimizasyonu sağlanmış olur ve kaynaklardan yararlanmada optimizasyon gerçekleştirilmiş olur. Döngüsel Ekonomi odağına, yaşam döngüsünü tamamlayan ürünlerin, bileşenlerini tekrardan kullanmayı ya da kaynaklardan daha fazla tasarrufu ya da daha fazla yararlanmayı alır. Ayrıca, Döngüsel Ekonomi çevreyle ilgili çeşitli zorluklara hitap eden ve kaynakların kullanımını ve atıkların azaltımını optimum etme yönünde olan sürdürülebilir amaçları ise başarmada bir potansiyele sahiptir (Gupta vd., 2021: 4).

Temelde iki model arasındaki fark değer yaratım süreci üzerinde şekillenir. Doğrusal Ekonomi 'de değer yaratımı mümkün olduğunca çok ürün üretimi ve satılması olurken, Döngüsel Ekonomi 'de ise girdi kaynaklarının tüketiminin azaltımı ve atık minimizasyonu amaçlanır. Değer yaratımı temelde üç ilke üzerine kurulu şekilde işler. Bunlar:“ Geri dönüşüm”, “Tekrardan kullanım” ve “Azaltım” olurken, yeni kaynak kullanımının mümkün olduğunca azaltımı ,“Azaltım” fonksiyonunu, ürün ve materyallerin mümkün olduğunca defalarca kullanımı “Yeniden kullanım” fonksiyonunu, ürünlerin materyallere ayrıştırılarak değişik ürünlerin üretiminde kaynak olarak kullanılması ise “Geri dönüşüm” fonksiyonunu vermektedir (https://donguselekonomiplatformu.com/en/knowledge-hub/article_1-what-is-the-definition-of-a-circular-economy_11.html?page=3#articlePageTitle Erişim tarihi:11.01.2022).

Döngüsel ve Doğrusal Ekonomi 'nin karşılaştırılmasının, Eko-verimlilik ve Eko-etkililik açısından da incelenmesi gerekir. Aslında, Döngüsel ve Doğrusal Ekonomi kavramlarının ortaya çıkış noktası modellerin “Sürdürülebilirlik” gözünden incelenmesi temeline dayanır. Doğrusal Ekonomi “Eko-verimlilik” üzerine kuruluyken, Döngüsel Ekonomi ise “Eko-etkililik” üzerine kuruludur. Eko-verimlilik kavramı, aynı çıktıyı elde ederken çevreyi mümkün olduğunca az etkileme üzerine kuruluyken, Eko-etkililik ise çevreye etkiyi Doğrusal Ekonomi 'de olduğu gibi minimum tutma amacı güderken, bir yandan da çevreyi, ekonomiyi ve sosyal boyutları da pozitif yönde etkiler. Doğrusal Ekonomi, ürün çıktısını sayısal olarak etkilemeden çevreyi etkilememeye çalışırken, Döngüsel Ekonomi ise çevre boyutunu etkilemek şöyle dursun üç boyutu da pozitif yönden arttırmaya çalışması, modelin ekonomi yönünden de Doğrusal Ekonomi 'den bir adım önde olduğunu göstermektedir. Her iki model arasındaki farklar bir yönde oluşmaktan ziyade birden fazla yönde oluşmakta olup, aradaki farkların belirlenmesi iki modelin düzeylerinin anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. **Tablo 3.3**'de iki modele ait çatı farklar verilmiştir (<https://kenniskaarten.hetgroenebrein.nl/en/knowledge-map-circular-economy/how-is-a-circular-economy-different-from-a-linear-economy/>Erişim tarihi:28.02.2022).

Çatı Kavramlar	Doğrusal Ekonomi Modeli	Döngüsel Ekonomi Modeli
İlerleyiş Aşaması	Al-Yap-At	Azalt-Geri kullan-Geri dönüştür
Odak Noktası	Eko-Verimlilik	Eko-Etkililik

Sistemin Sınırları	Satın Alma-Satma (Kısa Dönemli)	Çoklu Yaşam Döngüleri (Uzun Dönemli)
Geri Kullanım	Sınırlı Geri Dönüşüm	İleri Dönüşüm, Basamaklı İşlemler, Yüksek Dereceli Geri Dönüşüm
İş Modelleri	Ürün Odaklı	Hizmet Odaklı

Tablo 3.3: Doğrusal ve Döngüsel Ekonomi Arasındaki Çatı Farklar

Kaynak: (<https://kenniskaarten.hetgroenebrein.nl/en/knowledge-map-circular-economy/how-is-a-circular-economy-different-from-a-linear-economy/> Erişim tarihi:28.02.2022)

Tablo 3.3'de ilerleyiş aşamasına bakıldığında, Doğrusal Ekonomi 'nin işleyişi ürünün yaşamıyla son bulurken, Döngüsel Ekonomi 'de ise ürünün yaşamı son bulsa bile, üründen değer kazanımı amacı güdüldüğü görülür. Odak noktası faktörüne bakıldığında ise, Eko-verimli olan Doğrusal Ekonomi'nin sadece çevre boyutu etkisini minimize etme amacı güttüğü görülürken, Eko-etkili olan Döngüsel Ekonomi'nin ise çevre boyutuna ek olarak sosyal ve ekonomi boyutlarını da göz önüne aldığı görülmektedir. Sistem sınırlarında Doğrusal Ekonomi'nin sınırı ham maddeyi çıkarıp, işleyip, tüketiciye satması akabinde biterken, Döngüsel Ekonomi' de ise sınır döngü işlemleriyle bir ürünün tüm yaşam döngüsünü kapsamaktadır. Geri kullanımda ise Doğrusal Ekonomi hayli basit ve sınırlı şekilde ürünlerin geri kazanılmasını amaçlarken, Döngüsel Ekonomi' de ise kullanımı sona eren bir ürünün bir başka ürünün girdisini mümkün kılmada kullanıldığı basamaklı işlemler yoluyla geri dönüşüm uygulanmaktadır. Tüm anlatılanlar çerçevesinde Doğrusal Ekonomi odağını ürün üzerine kurarken, Döngüsel Ekonomi ise ürünlerden değer kazanımına yöneldiği için değer elde etmeyi daha da ileri aşamaya götürecek hizmet noktasına odaklanmıştır.

Ham maddenin alınıp, işlenip ardından ise insanlara sunulmasıyla başlayan Doğrusal Ekonomi sonrasında ise tüketicilerin ürünleri alıp kullanıp, atmasıyla son bulan bir sürece sahip olmakla beraber değer zinciri açısından bakıldığında her bir aşamada ne bir iletişim mevcuttur ne de karar vericiler, üreticiler ve geri dönüşümcüler arasında akış sağlayacak bir hat olanağı vardır. Döngüsel Ekonomi 'de ise değer zinciri, aktörler ve faaliyetlerle yukarı ve aşağı yönlü koordinelidir ve değer zincirinin yukarı yönlü kararları Döngüsel Ekonomi'nin bir çerçeve planın oluşmasına da yardımcı olur. Döngüsel Ekonomi, diğer modelin aksine birçok sektörde ürünlerin tamamen geri dönüşümü ya da değer olarak tamamen geri elde edilebilmesinin tasarımsal olarak

farkına varmıştır. Döngüsel Ekonomi, üreticilerle, dağıtıcılarla, tüketicilerle ve geri dönüşümcülerle bağlantı kurmakla beraber, söz konusu aktörlerin her birisinin faydasını birbirine bağlar ki bağlantıyı fayda ve maliyet dağıtımını eşit olacak şekilde yapar (Marino ve Pariso, 2016: 272).

Döngüsel ve Doğrusal Ekonomi birçok yönden birbirlerinden ayrılırlar da benzer olan yanları da vardır. Öncelikli olarak bir ham madde kaynağının üretiminden, dağıtımına, tüketiminden, atık oluşumuna kadar süreçlerde Doğrusal ve Döngüsel Ekonomi aynı çizgiyi izlemektedir. Fakat her ne kadar bir çizgi akışı takip edilse de Döngüsel Ekonomi 'de akışlar modelin adeta ayrılmaz parçaları haline gelmektedir. Eğer bir ürüne sadece yararlı olduğu zaman boyutuyla değilde tüm yaşam döngüsü açısından bakılırsa Döngüsel Ekonomi'nin anlaşılması bir adım daha kolaylaşacaktır. Doğrusal Ekonomi 'den Döngüsel Ekonomi 'ye geçilmesinde yapılması gereken birçok şey olacaktır. Bir sistemden diğer bir sisteme geçmek demek belli kalıpların, uymayan noktaların değiştirilmesi, yeni gelen modele uygun yeni bir sistem inşa edilmesini gerektirecektir. Ayrıca, mevcut atık yönetim sistemi güncellenecek, piyasalar yeniden dizayn edilirken, yeni iş modellerinin gelişimi ise hızlanacak olup, ürünler ve iş süreçlerinin ise yeniden tasarlanmasına hız verilecektir (Drljača, 2015: 39-40).

3.9.Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik İlişkisi

Sürdürülebilirlik kavramı, içerdiği kapsama göre çeşitli tanımlamaları bulunan ve yaşamın her noktasından görünebilen ya da sezinlenebilen bir kavram olarak meydana çıkmaktadır. Sürdürülebilirlik, günümüz insanının ihtiyaçlarını gelecek nesillerin de karşılamalarına mâni olmaksızın gerçekleştirmesi ya da elde etmesi olarak tanımlanabilir. Sürdürülebilirlik çevreyle ilişkili olmasının yanında, sosyal eşitlik ve ekonomik gelişimle de alakalıdır ki, bundan dolayı gelecek nesillere adaletli paylaşımın sağlanması için doğa ile doğanın sahip olduğu ekonomik ve sosyal kaynakların da korunmasını gerektirir (Balcıoğlu, 2021: 21). Sürdürülebilirlik kavramı, günümüzde nispeten yeni olsa da ya da öyle görülse de bir ağacın kökleri gibi onu da var eden ve günümüze ulaştıran çeşitli kökler vardır. Köklere örnek olarak sosyal adalet, doğacılık ve zengin tarih verilebileceği gibi verilen kavramlar kapsamındaki tüm düşünceler 20.yy'ın sonuna doğru "Sürdürülebilir Kalkınma" altında birleşmişlerdir (<https://www.mcgill.ca/sustainability/files/sustainability/what-is-sustainability.pdf>:1-Erişim tarihi:27.02.2022). Sürdürülebilirlik sözcüğü genelde

tek başına kullanılmayıp kendisine eklenen kelimeye anlam katan ve o kelimenin sürekliliğini baz alan bir yaklaşımda kullanılmaktadır. Örneğin “Sürdürülebilir Kalkınma” diye ifade edilen yapıyla kalkınmanın devamlılığı belirtilmiş olur. Sürdürülebilirlik kavramıyla ilgili ilk kullanımlar daha eskilere dayanmaktadır. Örneğin, “Sürdürülebilirlik” kavramı daha eski tarihlerde haliyle o dönemin baskın sektörü olan tarımda ve hayvancılıkta kullanılmıştır. Ormanlar ve balıklar için kullanılan ifadeyle, ormanların ve balıkların yok edilmesinin önüne geçilmek istenmiş yani kaynak problemleri yaşamamanın önlenmesi amaçlanmış ve ihtiyaçların elde edilerek devamlılığının sağlanması arzulanmıştır (Can, 2017: 138-139).

Dünyayı sarsan ve ülkeleri yerle bir eden 2.Dünya Savaşı’ndan sonra ekonomilerini düzeltmek için uğraşan büyük devletler çevresel düzeni görmezden gelerek sanayileşmeyi sadece ekonomik düşüncelerle ilişkilendirmişlerdir. Fakat, çevreye süreçlerin büyük yıkımlar getirmesi raporlarla ispatlanırken, bunula ilgili ilk büyük atılım ise 1968 yılında kurulan ve kendilerini “Roma Kulübü” olarak tanıtan bir sivil toplum kuruluşundan gelmiştir. Kuruluş; sosyal açıdan ekonomik açığa, çevresel açıdan kültürel açığa kadar her türlü sorunu küresel düzeyde çözme istekliliğinde bulunmuştur. Kurumun yaptığı araştırmalardan belki de en önemlisi çevreyle ekonomik kalkınma arasındaki ilişkiyi açıklayan rapordur. Çevre ve ekonomik kalkınma arasındaki bilincin gelişmesi ve ilerlemesiyle, “Sürdürülebilir Kalkınma” kavramı kendisini BM bünyesindeki Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından tanınıp, sonrasında yaygın şekilde kullanılmasında bulmuş, böylece belli bir yapıya ya da biçime oturmasının önü açılmıştır. Sürdürülebilirlik kavramının köklerini ekonomi, toplum ve çevre oluştururken, kavram kökleriyle bir denge kurmuştur. Hal böyle iken son dönemlerde yaşanan çevresel bozulmaların ekonomik kalkınmayı zaafa uğratacağıyla ilgili kaygılar kavramın merkezine ekonominin oturmasına neden olmuştur (Can, 2017: 139). Her ne kadar kavrama ekonomi boyutundan bakılsa da sürdürülebilirliğin düşünülmesi için sadece ekonomik başarılarla odaklanmak çok dar bir çerçevedir ve daha kapsamlı geniş bir çerçeve için sosyal ve çevresel amaçları da bütünleştiren bir değer yaratımı gerekir (Manninen, 2018: 414).

“Sürdürülebilirlik” kelimesi günümüzde yaygın olarak kullanılmasının yanında “Sürdürülebilir Kalkınma” kavramının da çıkış noktası haline gelmiştir. Sürdürülebilir Kalkınma ifadesi şu an ki nesilleri gelecek nesillere karşı sorumlu tutarken,

insanoğlunun ihtiyaçlarını, kendisinden sonraki kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılama olanağından yoksun bırakmadan karşılaması olarak tanımlanmakla beraber ortada bir sorumluluk olgusunun belirttiği de açıktır. Sürdürülebilir Kalkınma kavramı ilk kez BM'nin komisyonlarından Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından yayınlanan “Ortak Geleceğimiz” başlıklı raporla uluslararası arenada tanınmış ve yaygınlık kazanmıştır. Daha sonraki süreçlerde kavramın hedeflerine ulaşabilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmış ve modeller öne sürülmüştür. Yeşil ekonomi ve Düşük karbon ekonomisi bunlardan bazılarıyken, şu an revaçta olan Döngüsel Ekonomi kavramı da yine Sürdürülebilirlik kavramının hedeflerine ulaşabilmesi için öne sürülen modellerden biri olmuştur (Can, 2017: 138). Sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkması ve Dünya çapında ilgi görmesiyle beraber iş dünyası ve çeşitli sektörler iş yapılarını ve süreçlerini yeni kavrama adapte edecek çeşitli yollar aramaya koyulmuşlar ve bunun sonucu ise “Sürdürülebilir Kalkınma” ya katkı olarak belirmiştir. Sonuç olarak ise, Döngüsel Ekonomi ve Döngüsel Ekonomi ile doğrudan bağlantılı Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Kalkınma önem kazanmıştır (Balcıoğlu, 2021: 21).

Sürdürülebilir Kalkınma 'nın daha kolay uygulanmasını temin etmede ve çevre, sosyal ve ekonomik boyuta genel bir perspektiften bakmada, Sürdürülebilir Kalkınma ile aynı rotayı izleyen Döngüsel Ekonomi artan şekilde ilgi çekmektedir. İlgi kaynağını ise “al, kullan, at” sistemine dayanan Doğrusal Ekonomi 'yi alt etme isteğinden almaktadır. Çünkü, Doğrusal Ekonomi Sürdürülebilir Kalkınma düşüncesiyle aynı yolları takip etmemektedir (Fraccascia vd., 2019: 430). Doğrusal Ekonomi'nin sanayi devriminden beri kullanıla gelmesiyle beraber artan bir şekilde karbon ve su ayak izlerinde artış olmuş ve doğal kaynaklar üzerinde bir baskı meydana gelmiştir. Ortaya çıkan durum ise halk nezdinde sürdürülebilir değer yaratmanın önemini daha da öne çıkarmıştır. Tüm bu düşüncelerin öne çıkışıyla beraber “Döngüsel Ekonomi” mevcut ekonomik modelin olumsuzluklarına alternatif model olarak belirmiştir (Açıkalın, 2020: 240).

Döngüsel Ekonomi'yle beraber doğal kaynakların korunumu ve geliştirilmesi, malzemelerin ve atılan ürünlerin çevrime sokulması yoluyla değerlendirilmesi ve sürdürülebilir iş süreçlerinde ortama çıkan mevcut dışsallıkların elimine edilmesinin amaçlanması gibi süreçler öne çıkarılmış ve ekonomiye girdi olan ham madde kaynaklarının bilinçli kullanılması ve ekonominin çevre üzerinde yarattığı olumsuz

etkilerin azatlımı ve ortadan kaldırılması hedeflenmiştir (Açıkalin, 2020: 240). Özellikle 2008 yılında küresel krizin yaşanmasının, 2017 yılında ve sonralarında yer kürede meydana gelen iklimsel değişimlerin, hava olaylarının ve çevresel kaynaklı sorunların kaynağını, artan endüstrileşme ile kaynakların hızla tüketilmesi ve kaynakların değerinin yeniden geri kazanılamaması oluşturmuştur. Sonuç olarak, çevreye ve ekosisteme verilen zararlar artmış ve kirliliğin boyutları devasa bir hal almıştır. Çevresel bozulmaların etkisiyle gerek endüstri sektörü gerekse hükümetler ve toplumlar Sürdürülebilirlik olgusunu gerçekleştirmek için Döngüsel Ekonomi'ye geçişi kendilerine zorunlu görmüşlerdir. (Balbay vd., 2021: 557). Böylece, Sürdürülebilir Kalkınma'nın hayata geçirilmesinde ve uygulanmasında en önemli aktörlerinden biri olan "Döngüsel Ekonomi" sürekli olarak uygulanma ve araştırılma konusuna kaynaklık teşkil etmiştir (Açıkalin, 2020: 238).

Günümüzde artan bir şekilde kamunun ve toplumun Döngüsel Ekonomi 'ye ilgi göstermesinin nedeni ekonomik olduğu kadar çevreseldir. Belli bir maliyeti oluşturan kaynakların her yıl ekonomiye katılması sonucu bunların çoğunun akıbeti çöp sahalarında son bulmakta, çevresel ve sağlık boyutunda risk teşkil etmekte, iklim krizini tetiklemekte, ekonomideki Sürdürülebilir üretim anlayışına da darbe vurmaktadır. Döngüsel Ekonomi, kullanılan ürünlerin atık ismini alarak ömürlerini çöp sahalarında tamamlamalarına engel olarak, bunları tekrardan üretim işlemlerine dahil etme yoluna gitmektedir. Döngüsel Ekonomi yoluyla ekonomide kaynaklar alanında bir karadeliliğin oluşmasının da önüne geçilmektedir (Balbay vd., 2021: 557-559).

TÜDAM (Türkiye Değerlendirilebilir Atık Malzemeler Sanayicileri Derneği)'nin 2017 yılında yaptığı bir araştırmaya göre, Avrupa ülkeleri ve Türkiye ambalaj atığı toplama bakımından sıralanmış ve Türkiye sıralamada %20 ile son sırada bulunmuştur. Geri kazanılamayan atıklar dolayısıyla, ithalat artmakta dış ticaret açığı ise büyümektedir. İşlem sadece ekonomiye verdiği zararla yetinmemekte, ayrıca atık birikimiyle çevresel bazda, sağlıksal boyutta birçok zarara sebep olmaktadır. Yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin atık toplama yüzdesini arttırmasının ekonomisine ve çevresel görünümüne ciddi katkı yapacağı açıktır (Balbay vd., 2021: 557-559). Atık oluşumu Sürdürülebilirlik yaklaşımına terstir. Döngüsel Ekonomi ise atık problemini

çözecek perspektife sahiptir ve Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik kavramları yararlı bir ilişki konseptine sahiptir.

Döngüsel Ekonomi, çevresel zorluklarla mücadele eden ve Sürdürülebilir Kalkınma'yı teşvik eden bir sistem çizer. Döngüsel Ekonomi 'yi savunanlar, Sürdürülebilir üretim ve tüketimi başarmada, endüstriyel dönüşümleri teşvik etmede hareket mekanizmasını başlatan bir yol olarak Döngüsel Ekonomi 'yi görürler. Döngüsel Ekonomi, geleneksel geri dönüşüm metodu olarak düşük değerli ham maddeleri geri dönüşüm yoluyla kazanmak yerine, yüksek değerli materyal döngülerini teşvik eder. Böylece, Döngüsel Ekonomi sadece üretimi değil aynı zamanda sürdürülebilir üretim ve tüketimi de amaçlar (Korhonen vd., 2018b: 544-545). Döngüsel Ekonomi'nin temel felsefesi kaynak döngülerinin çevrimini yavaşlatma ve kapatma amacı gütmesidir. Bunun yapılmasındaki temel amaç, Sürdürülebilir Kalkınma'yı sağlamak olarak düşünülebilir. Çünkü, Sürdürülebilir Kalkınma yeniden doğal kaynak çıkarımını azaltarak, kullanılmış kaynakları önerir. Sürdürülebilir Kalkınma çok sayıda ömrünü tamamlamış ya da tamamlamamış ürünlerin boş yere atık muamelesi görüp, çöp sahalarına gitmesine engel olur ve iklimsel gelişmelere büyük darbe vuran sera gazı salınımlarının azaltımına da yardımcı olur (Fraccascia vd., 2019: 430). Buradan hareketle ve literatür taraması yapıldığında denilebilir ki Döngüsel Ekonomi'yle Sürdürülebilirlik kavramları birbirine yakın iki modeldir ve Döngüsel Ekonomi, Sürdürülebilirliğin bir yürütücüsü konumundadır (Manninen,2018:415).

Sürdürülebilir Kalkınma 'nın üç boyutu olmakla beraber bunları ekonomi, çevre ve sosyal yapılar oluşturur. Döngüsel Ekonomi 'ye uyum sağlamanın, Sürdürülebilir Kalkınma ve boyutlarına kayda değer katkı sağlayacağı açıktır. Döngüsel Ekonomi' yi oluşturan boyutlardan bazılarının içerdikleri ya da karşıladıkları anlamların Sürdürülebilir Kalkınma'yla yakından ilişkili olduğu görülür. (Korhonen vd.,2018b:547). Korhonen vd. (2018a: 45)'e göre Döngüsel Ekonomi iş dünyasını Sürdürülebilir Kalkınma konseptine çekebilecek yeteneğe sahiptir. De Jesus ve arkadaşları yaptıkları çalışmada endüstriyel ekolojiden, sıfır atığa, doğal sermayeden, beşikten beşiğe kadar çeşitli kavramları Döngüsel Ekonomi'yle ilişkilendirirken, Styrian Kreislaufwirtschaft, Hamburger ve Kalundborg gibi araştırmacılar ise modele yönelik bilimsel yapıyla pratik uygulamalar arasında köprü kurmaya çalışmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda Döngüsel Ekonomi ile Sürdürülebilir

Kalkınma'yı beraber düşünmüşler ve iki kavramı bir yapı üzerine kurmaya çalışmışlardır. Araştırmacıların düşüncesine göre, Döngüsel Ekonomi, materyal ve enerji, akışında verimliliği baz alan ve doğa-toplum-doğa doğrusallığını gözeten, hizmetleri maksimum yapan, sosyal temelli üretim-tüketim sistemlerinin ekonomik olarak inşası anlamına gelmekle beraber, modelin Sürdürülebilir Kalkınma'nın üç boyutuna da katkı sağladığı ifadesi tanımda kendine yer bulmuştur (Geissler, 2018: 3). Döngüsel Ekonomi 'ye yönelik OECD tarafından yapılan bir araştırmada ise Döngüsel Ekonomi ile Sürdürülebilirlik arasındaki ilişki Döngüsel Ekonomi'nin uygulamalarına göre analiz edilmiştir. OECD (2019: 53-55) raporunda Döngüsel Ekonomi; kaynakların daha uzun süre kullanımını mümkün kılacak, kapalı çevrimler yoluyla daha az materyal kullanımını sağlayacak, karbon emisyonlarının düşürülmesine katkı verecek, atık miktarının düşürülmesini ve enerji verimliliğinin arttırılmasını sağlayarak çevre konusunda iyileştirmeleri beraberinde getirecek bir kavram olarak tanımlanmıştır. Söz konusu rapor Döngüsel Ekonomi'nin sürdürülebilir çevre konusuna ilgisini belirlemiştir. Temeline kaynak verimliliğini alan Döngüsel Ekonomi, maliyetleri azaltmada, yenilikleri tetiklemede, rekabetçiliği arttırmada ve makro-ekonomik yarar sağlama gibi faydalarla ekonomi alanına katkı sağlarken, Döngüsel Ekonomi'nin Sürdürülebilir ekonomi anlayışını da desteklediği görülür. Her ne kadar Döngüsel Ekonomi'nin istihdam üzerinde sosyal adaleti sağlayacağı düşüncesi sosyal alana katkı olarak düşünülse de henüz bununla ilgili yeterli çalışma bulunmamaktadır. Döngüsel Ekonomi daha çok ekonomik ve çevresel bazlı düşünülmüş olup sosyal alana ise katkısı az gibi görünmektedir. Korhonen vd. (2018b: 546) yaptıkları çalışmada 2000 ve 2017 yılları arasında dergilerde yayınlanan Döngüsel Ekonomi anahtar kelimesini kullanarak ve Web of Science (WOS) veri tabanını kullanarak araştırma yapmışlar ve yayın içeriklerine göre bunları kategorilere ayırmışlardır. Çalışma sonucunda Sürdürülebilirlikle ilgili makale sayısı %5 olurken en çok yapılan çalışmayı ise %33 ile temiz üretim almıştır. Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde Sürdürülebilirlik kavramıyla ilgili yapılan çalışmalar her ne kadar %5 gözüktü de %33 ile temiz üretim, %13 ile kaynak korunumu ve %5 ile çevre bilimine yönelik çalışmaların da Sürdürülebilirlikle yakından ilişkili olduğu aşıkardır. Döngüsel Ekonomi ile Sürdürülebilir Kalkınma arasındaki ilişki her ne kadar pozitif ve birbirinin tamamlayıcısı olarak görülse de bu yöndeki ilişkiyi pozitif yönde bulmayan ve belirsiz gören yaklaşımlarda vardır. Can (2017: 145) "Sürdürülebilir

Kalkınmanın Yeni Boyutları” adlı makalesinde Sürdürülebilir Kalkınma ’ya alternatif olacak modelleri incelemiş, incelediği modellerden birisi ise Döngüsel Ekonomi olmuştur. Can (2017: 145) yaptığı inceleme neticesinde Döngüsel Ekonomi’nin ekoloji, toplum ve ekonomi faktörleri üzerinde duran Sürdürülebilir Kalkınma kavramını daha çok ekonomi tarafından desteklediğini çevre ve sosyal düşünceden ise yoksun olduğunu vurgulayarak, Döngüsel Ekonomi’nin bütüncül bir yaklaşıma sahip olmadığını açıklamıştır. Manninen vd. (2018: 415) ise, yaptıkları çalışmada Döngüsel Ekonomi’nin Sürdürülebilirlik alanındaki önceliklerini ekonomi ve çevre bileşenin oluşturduğunu, sosyal alana ise ilgisinin düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Konuya farklı açıdan bakan Korhonen vd. (2018a: 45) yaptıkları çalışmada, Döngüsel Ekonomi’nin Sürdürülebilirliğin ekonomi, çevresel ve sosyal boyutuyla ilgilendiklerini, Döngüsel Ekonomi kapsamında oluşan zorlukların ise daha çok çevresel sürdürülebilirlik alanında yaşandığını ifade etmişlerdir.

Döngüsel Ekonomi kaynak kullanımını belli bir seviyeye kadar sınırlandırır. Çünkü Döngüsel Ekonomi, doğayı baz alır ve ekosistem döngülerinden yararlanır. Dolayısıyla, Döngüsel Ekonomi, Sürdürülebilirlik kavramının amaçlarına benzer ve uyumlu olacak şekilde arzulanan bir ekonomik gelecek sunar (Geissler vd., 2018: 3). Hali hazırda düşünülen “Sürdürülebilirlik” kavramı minimum girdiyle maksimum çıktıyı üretme ve bunu daha da iyileştirme üzerine kuruluyken, Döngüsel Ekonomi ise ekonomi ve çevre faktörleri düşünüldüğünde “Sürdürülebilirlik” kavramına göre daha yapıcı ve iyileştirici görünmektedir (Açıkalın, 2020: 241).

3.10.Döngüsel Ekonomi ve Endüstri 4.0 İlişkisi

Doğrusal Ekonomi, doğal kaynakların tüketiminde, arz ve talep dengesinin yönetilmesinde başarılı bir grafik çizememektedir. Ortaya çıkan dengesizlik, gezegenimizin sosyal ve çevresel işleyişini zaafa uğratmasının yanında Sürdürülebilirliği ise imkânsız hale getirmektedir. Son yıllarda birçok ülke ve uluslararası kuruluş gündemlerine aldıkları “Sürdürülebilir Kalkınma” anlayışının bir gereği olarak Döngüsel Ekonomi ’ye geçmeye başlamışlardır. Bu gelişmeyle beraber anahtar görev; “çıkart-üret-kullan-at” temelli mevcut ekonomik anlayıştan, kullanılan kaynaklardan yararlanmayı maksimum düzeye çıkarmayı amaçlayan Döngüsel Ekonomi ’ye geçiş olmuştur. Günümüzde üretim endüstrisi Doğrusaldan Döngüsele doğru bir değişim geçirirken, Endüstri 4.0 kavramı ise anahtar bir yenilikçi teknoloji

olarak öne çıkmaktadır. Endüstri 4.0 konsepti getirdiği teknolojik farkındalıklarla, Doğrusal modelin yerini Döngüsel olana bırakması için gerekli dönüşümü barındırmaktadır (Laskurain-Iturbe vd., 2021: 1; Rajput ve Singh, 2019: 99). Döngüsel Ekonomi'nin yeni bir iş modeli olarak toplumları ve işletmeleri "Sürdürülebilir Kalkınma" yolunda teşvik edeceği açıktır. Her modelin uygulanma noktasında çeşitli zorluklar olduğu gibi Döngüsel Ekonomi'nin uygulanma noktasında da çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Ürünlerin yaşam döngüsü üzerindeki bilgisizlik, temiz üretim için gelişmiş teknolojilerin yetersizliği, maliyetlere ilişkin belirsizlik algısı gibi zorluklar Döngüsel Ekonomi'nin uygulanmasının önündeki engelleri oluştururken, Endüstri 4.0 bünyesindeki teknolojilerin ortaya çıkması ve akıllı üretimle alakalı teknolojilerin benimsenmesi Döngüsel Ekonomi'nin önündeki engellerin aşılmasını olanaklı hale getirmiştir (Roubaud vd., 2018: 274). Doğrusal Ekonomi 'den Döngüsel olana geçilmesindeki başarı ve değer zincirinde sürdürülebilirliğin garanti edilmesi, Döngüsel Ekonomi ile Endüstri 4.0 arasındaki ilişkiye bağlı olduğu açıktır (Romero vd., 2021: 15).

Döngüsel Ekonomi 'ye kapı aralayan, desteklenmesinde ve mevcut ekonomik modelin dönüştürülmesinde önemli bir rol oynayacak olan Endüstri 4.0 konsepti, amaç olarak yüksek derecede otomasyonun başarılmasından başka bunun doğruluğunu ve hassasiyetini arttırmayı da amaçlamaktadır (Rajput ve Singh, 2019: 99). Endüstri 4.0 kavramı diğer bir adıyla akıllı üretim, temelde bilgi teknolojileri tarafından yönetilen üretim sistemleri temeline dayanır. Akıllı fabrikaların, ürünlerin ve Nesnelerin İnterneti 'nin birleşimine dayanan Endüstri 4.0, yöneticilere karar vermede yardımda bulunmak, ürünlerin ve parçaların takibini yapmak, performans gözlemi için materyal akışı, üretim ve makine üzerinde gerçek zamanlı bilgi sağlama ve bunları bütünleştirme üzerine bir amaç güder (Roubaud, 2018: 274). Endüstri 4.0 kavramı, teknolojik gelişmelerin farkındalığını teşvik eden, ekolojik kaynakların tükenişini azaltan ve endüstrileri kâr etme üzerine yönelten bir model olarak ortaya çıkar. Burada özellikle ekolojik kaynak noktasındaki hassasiyetin, Döngüsel Ekonomi'nin ana ilkesinden biri olarak kullanılan ham madde miktarının azaltımı ilkesini destekler nitelikte olduğu açıktır. Ayrıca Endüstri 4.0'da insanlar, teknolojiler ve kaynaklar arasında birbirine bağlı olan çalışmalar açısından teoride ve uygulamada güçlü bir ilişki vardır (Romero vd., 2021: 2). Endüstri 4.0 kavramı Arttırılmış Gerçeklik teknolojisinden Büyük Veri 'ye, Nesnelerin İnterneti 'nden, Simülasyon'a kadar on

büyük farklı teknolojik katmandan meydana gelmekte olup katmanların sadece üretim bölümüne katkısından bahsetmek doğru olmayacaktır. Çünkü ana tema üretim odaklı olsa bile on büyük teknolojinin atık oluşumunu azaltma, çevresel etkileri en aza indirme ve endüstriyel üretimi temiz bir noktaya çekme konusunda kullanılabilecekleri aşikardır. Endüstri 4.0 kavramı birbirine bağlı üretim teknolojilerine ve özerk bir yapıya sahip akıllanmış bir endüstri yönünde ilerleyen radikal bir değişimi tasvir etmekle beraber kavramın çözüme ulaştırdığı teknolojilerin de Döngüsel Ekonomi' yi bir kaldıraç olarak destekleyeceği açıktır (Dantas vd., 2021: 214).

Sürdürülebilir Kalkınma derin bir şekilde teknolojik gelişmelerle ilişkili olduğundan, Endüstri 4.0 kavramının da değişiklik potansiyeline sahip olduğu görülür. Endüstri 4.0 kavramı, farklı teknolojik katmanların birleşiminin sonucu olmakla beraber, söz konusu teknolojiler Döngüsel Ekonomi'ye geçişi yönetmede kullanılabilir düzeydedirler. Hâlen Endüstri 4.0'ın Döngüsel Ekonomi' yi nasıl etkilediği ya da nasıl bir değiştirme potansiyeli olduğuyla ilgili bir fikir birliği yoktur. Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi arasındaki ilişki belirsizliğine rağmen bazı araştırmacılar Endüstri 4.0'ın Döngüsel performansı geliştirme noktasında sayısız fırsatlar sunduğunu ifade etmektedir (Laskurain-Iturbe, 2021: 2).

Döngüsel Ekonomi'nin uygulanma noktasının en önemli kısmını döngülerin oluşturduğu açıktır. Döngüsel Ekonomi 'de materyal ve enerji çevriminin uzatılması önemli bir amaçtır. Söz konusu döngüyü destekleme de Endüstri 4.0 teknolojilerinden Siber-Fiziksel Sistemler, Bulut Bilişim Sistemleri ve Nesnelerin İnterneti teknolojilerinin önemli bir rol oynadığı düşünülür. Döngüsel Ekonomi'nin önemli bir parçasını oluşturan döngülere, Endüstri 4.0 teknolojilerinin desteğiyle ilgili “Ürün pasaportu” kavramı verilebilir. “Ürün pasaportu” konseptinde, ürün tasarimsal olarak içerisindeki materyal ve bileşenlerin neler olduğuyla ilgili, kullanıcıları bilgilendiren çip ya da sensörleri içerebilir ve hatta ürün faydalı yaşam süresinin sonunda nasıl geri dönüştürüleceği ya da bileşenlerine ayrılabilmesiyle ilgili bilgilerini bu çipte barındırabilir. Böylece ürün pasaport bilgisinin sağlanması, Döngüsel Ekonomi'nin çevrimlerini kolaylaştırabilir. Siber-Fiziksel sistemler ve Nesnelerin İnterneti teknolojileri işlem ve süreçlere ait verileri depolayabilir. Bununla ise atık oluşturabilecek hataların tanımlanması olanaklı hale gelebilir. Ayrıca söz konusu Endüstri 4.0 teknolojileriyle makinelerin verimliliği, bakımlarının planlanması gerçek

zamanlı değerlendirilebilir ve aşırı kaynak tüketimi önlenabilir (Roubaud vd., 2018: 279-280).

Her iki modelde farklı zamanlarda ve birbirlerinden habersiz doğarken, ilerleyen süreçlerde ve gelişimlerde endüstriyel bir paradigma olarak yolları kesişmiş, son dönemlerde ise endüstriyel üretim modelini koruma üzerine odaklanmaya başlamışlardır (Romero vd., 2021: 2). Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi arasındaki ilişkiyi açıklamada en çok kullanılan yollardan birisi Döngüsel Ekonomi'nin dijitalleştirilmesi noktasıdır. Şayet bir işletme döngüsellliği kabul etmede istekli davranıyorsa dijitalleşmeyi merkezine alan Endüstri 4.0 kavramını düşünmekten kaçınması pek olası değildir. Araştırmacılardan bazıları, Endüstri 4.0 teknolojilerinin bir fırsat olarak işletmeleri dijital teknolojileri benimseme yönünde teşvik edeceğini ve döngüsel performanslarını geliştirmede destekleyeceğini düşünür. Döngüsel Ekonomi ile Endüstri 4.0 arasındaki ilişkiyi irdelemek adına birçok araştırmacı çalışmalarda bulunmuş ve modeller arasındaki ilişkiyi genelde iki temele indirgemişlerdir. Bu temele göre ilişki ya Endüstri 4.0'ın yeni Döngüsel iş modelleri oluşturmasında ortaya çıkmakta ya da dijitalleşme dolayısıyla faydaları gözle görülür hale gelen Endüstri 4.0'ın, Döngüsel Ekonomi'nin uygulanmasını kolaylaştırmasında ortaya çıkmaktadır (Rosa vd., 2019: 1667). Döngüsel Ekonomi ve Endüstri 4.0 arasındaki ilişkiyi boyutsal anlamda açıklayan ve çeşitli önerilerde bulunan araştırmacılar **Tablo 3.4**'de verilmiştir.

İlgili Yazarlar	İleri Sürülen İlişki Öncülleri
Yavuz (2021)	Döngüsel Ekonomi'yi uygulamak isteyen işletmelerin Endüstri 4.0 Teknolojilerine gereksinimi vardır.
İvanov vd. (2016), Lom vd. (2016), Wollschlaeger vd. (2017), Zhou vd. (2015)	Operasyonel Verimlilik Gelişmiş Veri Kontrol Çalışmaları Makine ve Süreçlerden Enerji İsrafını Önleme
Baccarelli vd. (2017), Schumacher vd. (2016)	Verimlilik Artışı
Niehoff ve Beier (2018), Gilchrist (2018)	Sürdürülebilirlik Yaklaşımı Çevresel Problemlere Çözüm
Kamble (2018)	Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi arasındaki ilişkiler geneldir, teknoloji bazlı ayrı ayrı incelenmesi gerekir.

Piscitelli vd. (2020)	Endüstri 4.0 teknolojilerinin ürün ve süreçleri gözlemlemesi ve bunlarla ilgili yetenek açısından daha fazla bilgiye sahip olması, Döngüsel Ekonomi 'yi pozitif yönde etkiler.
Müller vd. (2018) ve Peukert vd. (2015)	Endüstri 4.0 üretilen atık miktarını pozitif yönde azaltarak, Döngüsel Ekonomi 'yi pozitif yönde etkiler.
Peukert vd. (2015)	Nesnelerin İnterneti yoluyla sera gazı emisyonlarının azaltılması mümkündür. Bu ise Döngüsel Ekonomi 'yi pozitif yönde etkiler. 3 Boyutlu Yazıcı teknolojisi kirlilik azaltımına yardımcı olur.
Mellor vd. (2014)	3 Boyutlu Yazıcı teknolojisi envanter ve buna bağlı ürün kayıplarını azaltır.
Laskurain-Iturbe vd. (2021)	Endüstri 4.0 teknolojileri Döngüsel Ekonomi'nin gelişimine döngüsellliği artırarak yardım eder. Geri Dönüşüm, geri kullanım ve iyileştirme dalında Otonom robotlar ve 3 Boyutlu Yazıcı teknolojileri öne çıkar.
Chauhan vd. (2020)	Arttırılmış Gerçeklik, Nesnelerin İnterneti, Büyük Veri gibi bileşenler oluşan atıkların izlenmesinde önemli teknolojilerdir.
Roubaud vd. (2018)	Nesnelerin İnterneti sayesinde, kaynak tüketimi azaltılabilir, toprak yaşam döngüsü uzatılabilir ve ürün verimliliği artırılabilir.
Romero vd. (2021)	Döngüsel Ekonomi ile Endüstri 4,0 arasında karşılıklı bir ilişki vardır ve Endüstri 4.0 teknolojileri Döngüsel Ekonomi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir.
Rosa vd. (2019)	Geri kullanım ilkesi sadece 3 Boyutlu Yazıcı tarafından desteklenir Kaynak verimliliği ilkesi Büyük Veri, 3 Boyutlu Yazıcı, Simülasyon, Siber-Fiziksel Sistemler ve Nesnelerin İnterneti teknolojileriyle desteklenir. Geri Dönüşüm ilkesinin uygulanmasında 3 Boyutlu Yazıcı, Büyük Veri ve Simülasyon teknolojileri ön plana çıkar Yeniden üretim ilkesinde ise 3 Boyutlu Yazıcı ve Simülasyon 'un ön plana çıktığı görülür.
Dantas vd. (2021)	Nesnelerin İnterneti, Siber-Fiziksel Sistemler, Büyük Veri ve Otonom robotlar Döngüsel Ekonomi'nin gelişimine katkı sağlar. Endüstri 4.0 ile Döngüsel Ekonomi arasında Sürdürülebilirlik yönünden ilişki vardır.
Agrawal vd. (2021)	Endüstri 4.0 teknolojileri, işletmeleri Döngüsel Ekonomi yönünde hızlandırır ve ürünler ile materyallerin izlenmesinde ve gerekli bilgilerin edinilmesinde Döngüsel Ekonomi 'ye yardımcı olur.

Tablo 3 4: Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi Arasındaki İlişki

Kaynak:(Nascimento vd., 2019: 608; Laskurain-Iturbe, 2021: 1-4; Piscitelli vd., 2020: 233; Chauhan vd., 2021: 2; Romero vd., 2021: 11; Rosa, 2020: 1673-1675; Dantas vd., 2021: 21-218; Agrawal vd., 2021 :2; Yavuz, 2021: 107)

Tablo 3.4'e bakıldığında Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi arasında çeşitli araştırmacılar tarafından savunulan ilişkiler irdelendiğinde, kavramlar arasındaki ilişkilerin daha çok, atık ve enerji azaltımı, verimlilik artışı, Sürdürülebilirlik ve optimizasyon ile 3R (Geri dönüşüm, Yeniden Kullanım, Azaltım) yaklaşımı üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi 'ye ilişkin geliştirilen eleştiriler her zaman pozitif olmamaktadır. Kimi düşünceler özellikle Endüstri 4.0'ın Döngüsel Ekonomi üzerinde etkisinin henüz bebeklik çağını yaşadığını ifade ederken kimi düşünceler ise iki model arasındaki ilişkiyi bir zemine oturtacak teorik bir çerçevenin olmamasından yakınmaktadır (Rajput ve Singh, 2019: 98-99). Döngüsel Ekonomi ve Endüstri 4.0 arasındaki ilişkiye getirilen negatif yönlü eleştirilerden birisi ekonomi alanına özgüdür. Örneğin yapılan çalışmalarda ekonomi anlamında Döngüsel Ekonomi'nin istihdam sahasında yeni iş alanları açacağı ve sadece 2030 yılına kadar AB'de 3 milyondan fazla iş sahası yaratacağı öne sürülürken aynı zaman içerisinde ise küresel iş gücünün %8,5'luk kısmının Endüstri 4.0 teknolojileriyle yer değiştireceği düşünülmekte olup istihdam sahasında ters yönlü bir ilişkinin varlığı da bellidir (Dantas vd., 2021: 219-220).

Endüstri 4.0 kavramının ve Döngüsel Ekonomi'nin özellikle ilkeler bazlı ilişkisine bakıldığında, Döngüsel Ekonomi'nin ana ilkelerinin Endüstri 4.0 tarafından desteklendiği görülürken, Döngüsel Ekonomi ilkelerinin ise Endüstri 4.0 kavramının yaygınlık kazanmasına ve genel kabul görmesine ortam sağladığı analiz edilmektedir. Döngüsel Ekonomi'yle Endüstri 4.0 arasındaki birleşme sadece teknolojik faktörlere değil aynı zamanda çevresel, sosyal ve ekonomik faktörlere de odaklanacaktır. Endüstri 4.0 konsepti Döngüsel Ekonomi'yi kaynakların ve enerjinin kullanımında daha fazla verimli kılarken, süreçlerin, makinelerin ve ürünlerin onarımı, tekrar kullanımı gibi 3R kavramının da geliştirilmesine ortam sağlayacaktır (Rajput ve Singh, 2019: 108-109). Modeller arasındaki pozitif ilişkiye bakıldığında ise pozitif ilişkinin Sürdürülebilirliğin başarılmasında da anahtar olduğu görülmektedir. İki model arasındaki ilişki süreçlerin ve maliyet-etkin teknolojilerin optimizasyonunu sağlarken, emisyonların ve aşırı kaynak kullanımlarının da önüne geçmektedir (Dantas vd., 2021: 220).

3.11.Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir İşletme Performansı İlişkisi

Küresel nüfusta yaşanan artış doğal kaynaklar üzerinde bir baskı yaratmaktadır. Suyu, yiyeceğe ve enerjiye olan talep kat olarak artıştan ziyade üssel olarak artan bir hale gelirken, Doğrusal üretim ve tüketim yönetimi sürdürülemez bir yaklaşımla çevre ve toplum üzerinde zararlı etkilere yol açmaktadır. Zararlı etkilerin üstesinden gelmek için sosyo-ekonomik sistemleri ekolojik analizlerle kaynaştıran bir model olan Döngüsel Ekonomi 'ye doğru bir dönüşüm yaşanmaktadır. Sürdürülemez bir yaklaşıma sahip olan Doğrusal Ekonomi'nin aksine Döngüsel Ekonomi Sürdürülebilir bir yaklaşıma sahiptir. Döngüsel Ekonomi Sürdürülebilirlik yaklaşımını, doğal kaynakların ele alınmasında değer algısını ön plana çıkartarak başarmaktadır. Döngüsel Ekonomi kaynak tüketimini, atık oluşumunu ve emisyonları sosyoekonomik gelişmelere zarar vermeden ya da bunu aksatmadan azaltmayı hedeflemekle beraber hedeflediği yarar noktasında rakibi Doğrusal Ekonomi' yi ise zor duruma düşürmektedir (Dantas vd., 2021: 214; Bag ve Pretorius, 2020: 12).

Endüstrileşmenin başlaması ve organizasyonların ve milletlerin hızla gelişimi araştırmacıların yanı sıra düzenleyici kurumlarında odağını “Sürdürülebilirlik” yaklaşımına çevirmiştir. Sürdürülebilirliğin gelişimini desteklemek ve iş modellerinin yaratımı konusunda var olan engelleri ortadan kaldırmak için ortaya çıkan modellerden birisi de Döngüsel Ekonomi olmuştur (Gupta, 2021: 1-3). İşletmeler arasında küresel çapta rekabetin artması, işletmeleri piyasa da varlıklarını devam ettirmek için daha fazla sürdürülebilir uygulamalara yönlendirmektedir. Sürdürülebilir uygulamalar; verimli atık yönetimi, düzgün kaynak kullanımı ve sera gazı emisyonlarının azaltımı gibi konularda küresel bağlılığı temin etme noktasında, kuruluşlardan, akademik araştırmacılardan ve endüstriyel anlamdaki uzmanlardan artan bir ilgi görmektedir.(Agrawal vd., 2021: 1).İşletmeler üretim modellerini doğrusal olandan sürdürülebilir olana geçişi için artan bir baskıyla yüzleşmektedir ve dolayısıyla bu durum işletmelerin Sürdürülebilirlik konularında performanslarını değerlendirme ihtiyaçlarını da ortaya çıkarmaktadır (Gupta vd., 2021: 1).İşletmelerin genellikle Döngüsel Ekonomi yolunda ilerlemelerinin ve modelin ilkelerini benimsemesinin altında yatan neden işletmelerin ekonomik, sosyal ve çevresel performanslarını geliştirme istekliliğinden gelmektedir. Buradan hareketle Döngüsel Ekonomi'nin kesişim noktasına Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Performans

kavramı çıkmaktadır (Latan, 2020: 4). İşletmelerin gündemlerine Sürdürülebilirlik kavramını almalarının ve Sürdürülebilir İşletme Modeli'ni benimsemelerinin temel nedeni işletmelerin en iyi finansal kazanç için iç ve dış kaynaklarını en üst düzeye çıkarma ve piyasada kalabilme istekliliğidir. Sürdürülebilir işletme uygulamaları işletmenin paydaşlarının da ilgisini çekmektedir. Çünkü, işletmenin uzun dönemli ve sağlıklı hayatta kalmasının temininin sağlanması ve sürdürülebilir işletme uygulamalarının sosyal, ekonomik ve çevresel sistemlerle ilişkili olması işletmenin paydaşları için önem arz etmektedir. Son dönemlerde birçok işletme geleneksel yöntem olan ve sadece ekonomik performansı baz alan yaklaşımla, sosyal ve çevresel performansı da baz alan Sürdürülebilir Performans arasında bocalamaktadır. Fakat sürdürülebilir bir işletme ve sürdürülebilir bir performans düşünülüyorsa ekonomik göstergenin yanına çevresel ve sosyal göstergelerin de konulması gerekmektedir (Fernando vd., 2019: 11).

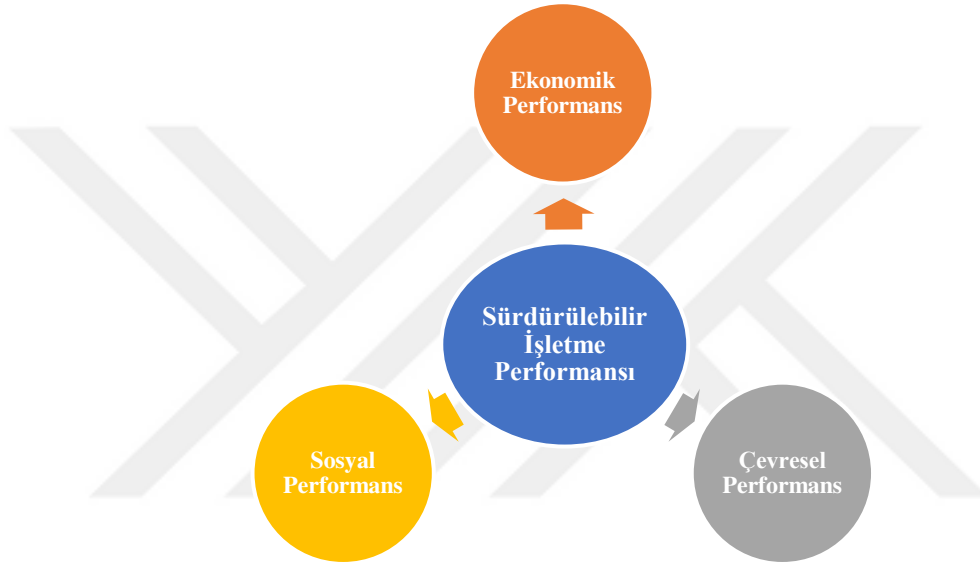
“Sürdürülebilirlik” kavramı ya da olgusunun çıkış noktası, işletmelerin çevre ve toplum üzerinde zararlı etkilere sebebiyet verdiklerinin farkına varmaları ve oluşan zararları tolere edecek ve üretim süreçlerini karşılamalarını temin edecek en iyi yolu arama gerekliliğindendir. Sürdürülebilirlik kavramının ardından bunu işletmelere angaje edecek, Sürdürülebilir İşletme Modeli ve bu modelin işleyişini kontrol edecek Sürdürülebilir İşletme Performansı kavramı tanımı bütünler niteliktedir. Sürdürülebilir İşletme Performansı tanımında öne çıkan iki düşünce vardır. Bunlardan ilki işletmeyi uzun dönem ayakta tutacak kâr yapma garantisini sağlamakken, diğeri ise işletmelerin ürün ya da hizmet üretirken gerek kullandıkları teknolojilerin gerekse süreçlerin toplumun sağlığına ve çevre üzerinde tehlikelere yol açmayan sürdürülebilir işletmenin teminini sağlamaktır (Fernando vd., 2019: 11). Sürdürülebilirlik uygulamaları Markman ve Krause (2016: 3)'e göre iki alt bileşenden meydana gelmekle beraber bunlardan ilki uygulamaların ekolojik sağlığı geliştirmeleri, daha fazla sosyal adaleti tesis edecek etik standartları takip etmeleri ve ekonomik canlılığı geliştirmek olurken bir diğeri ise uygulamaların öncelik sırasına ilk olarak çevreyi, ikinci olarak toplumu son olaraksa ekonomiyi koymaları gerektiğidir.

Sürdürülebilir İşletme Performansı 'nın anlaşılması için Sürdürülebilir İşletme Modeli'nin anlaşılması önem arz eder. Sürdürülebilir İşletme Modeli, işletme ve onun yarattığı çevre yolunda değişiklikler yaratarak, bu yolla toplum ve çevre açısından

negatif etkileri mümkün olduğunca azaltmak, gözle görülür önemli ölçüde pozitif etkiler yaratmaktır. Modelle ilgili bazı yaklaşım ya da yaklaşımlar modelin ekonomik değer yaratımından çok odağına çevresel ve sosyal faktörleri aldığını belirtirken, bunun işletmenin özellikle paydaşlarının çevresel ve sosyal kaygılarından ve dikkatlerinden ileri geldiği söylenmektedir (Alonso-Martinez vd., 2021: 2).Sürdürülebilir iş modelinin özellikle dünyanın yeşil düzenini baz alan ve bunu koruyacak bir şekle bürünen çevresel yararının haricinde işletme özeline inen ve ona çeşitli yararları bulunan özellikleri de mevcuttur. Yararların çoğu birebirleriyle zincirleme bağlantıdan ileri gelir. Zincirin son halkasını maliyetlerde tasarruf oluşturur ve işletme için kâr etmek öncelikle sebepse, maliyet avantajı da öncelikli sebep olmaktadır. Sürdürülebilir İşletme Modeli; işletme bünyesinde, paketleme maliyetlerini düşürerek, sağlık ve güvenlik masraflarını azaltarak, daha iyi iş çevresi sunarak ve işçi sirkülasyonu azaltarak maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Model işletmelere sağladığı etkiyle geleceği şekillendirecek düzenlemelerde işletmelere yol gösterir. Model aynı zamanda işletmelerin tüketicilere ürün teslimini kısaltır ve daha iyi nitelikte ürün üretmelerine imkân tanır, teşvikleriyle de işletmelerin piyasadaki ünlerinin artmasını sağlar. Sürdürülebilir iş modeli ve etiğin yarar noktasında harikaları mevcutken, iş modelinin gerçekleştirilmesi noktasında bazı gereklilikler de mevcuttur. Gerekliliklere örnek olarak, ürünün geri dönüşümünü baz alan tersine lojistik uygulamaları, üst yönetimin bağlılık duygusu, doğayı koruyan ve onun işleyişini bozmayacak yeşil satın alma davranışı ,çevresel düzenlemelere ve standartlara uyum ve bağlılık, ürünün verimli kullanımı ile yaşam döngüsü prensibinin göz önüne alınması, daha temiz teknolojilerin kullanımıyla, tedarikçilerle iş birliği gibi uygulamalar verilebilir.Yukardan da anlaşılabileceği üzere sürdürülebilir iş modelinin başarılmasında son dönemlerde ortaya çıkan ve yaygınlık kazanan Döngüsel Ekonomi uygulamalarının bir gereklilik olduğu açıktır(Gupta vd., 2021: 3).

Sürdürülebilir İşletme Performansı, son 20-30 yıldır tartışılabilen bir kavram olmakla beraber finansal performans göstergesinden finansal olmayan göstergelere doğru evrilmeye başlamıştır. Sürdürülebilir İşletme Performansı, herhangi bir durumda sosyal, çevresel ve ekonomik performans sürdürmek ve kazanmak olarak tanımlanır (Hadi ve Baskaran, 2021: 1-2). Sürdürülebilir İşletme Performansı, bir amaç ve çoklu ölçüm yöntemi olarak düşünülebilir. Burada ortaya çıkan durum, Sürdürülebilir İşletme Performansı'nın etraflıca anlaşılmasını ve kavramın “üçlü bileşen grubu” diye

tabir edilen ifadeyi nasıl oluşturduğunun bilinmesini gerekli kılar (Alonso-Martinez vd., 2021: 2). Fernonda vd. (2019: 10) yaptıkları çalışmada Sürdürülebilir İşletme Performansı 'nın alt göstergelerini üçe ayırmışlar ve kavramı üçlü bileşen üzerinden değerlendirmişlerdir. **Şekil 3.5**'de görüldüğü gibi üç alt bileşen performansı, “Üçlü-bileşen grubu” diye geçer ve Sürdürülebilir modelin performans boyutlarını oluşturur (Larbi-Siaw vd., 2022: 3).



Şekil 3. 5: Sürdürülebilir İşletme Performansı ve Alt Bileşenleri
Kaynak:(Fernando vd., 2019: 10)

Sürdürülebilir İşletme Performansı'nın kendisini meydana getiren üç alt bileşeni vardır ve üç alt bileşen, bir üçgenin üç farklı noktasını oluşturacak şekilde bir anlamlandırmaya tabi olmuştur. Alt bileşenler işletmelerin uzun bir ömre sahip olmasının güveliğini sağlamada ve ayakta kalmasında da derin bir bağa sahip olup, ekonomik, çevresel ve sosyal bileşenler olarak bilinirler. Çerçeve açısından bakıldığında, sürdürülebilir bir işletme düşünülüyorsa sözü edilen her üç performans kriterinin de incelenmesi şart olmaktadır. Alt bileşenlerden ekonomi alt bileşeni, işletmenin finansal anlamda beklentilerini ve ihtiyaçlarını karşılama yeteneği olurken, bir diğer alt bileşen olan çevre bileşeni ise gelecek ve şu an ki nesiller için ekosistemin korunmasını ve yenilenmesini hedeflemekte, son alt bileşen olan sosyal bileşen ise toplumla uzun dönemli sosyal ilişkileri sürdürmeyi içermesinin yanında, toplumun taleplerini ve ihtiyaçlarını fark etmeyi ve geliştirmeyi de içerir (Larbi-Siaw vd., 2022:

3). Bir işletmenin Sürdürülebilir Performans'ının ölçülmesinde çevresel, sosyal ve ekonomik alt göstergeler önemli rol oynamakta olup, göstergelerin doğru belirlenmesi de büyük önem arz eder.

Son dönemde standart üretim sisteminden, üretim ve tüketim açısından daha Sürdürülebilir ve Döngüsel Ekonomi yönünde bir yönelim ihtiyacı küresel düzeyde işletmeler tarafından öne çıkartılmaktadır. Döngüsel Ekonomi 'nin anahtar bir kavram olarak öne çıkmasının nedeni Sürdürülebilirlik yönetimi, yenilik ve yeni ürün gelişimi gibi alanlar açısından ilgi odağı olmasıdır (Latan vd., 2020: 2). Döngüsel Ekonomi son zamanlarda Sürdürülebilirlik yaklaşımıyla bağlantılı olduğundan popülerlik kazanmasıyla beraber ekonomik gelişmeyi desteklemesi, kaynak Sürdürülebilirliğini sağlaması ve ekolojiyi koruması gibi yararlarla endüstrilerin dikkatini çekmiş durumdadır (Bag ve Pretorius, 2020: 12).

Özellikle son yıllarda işletmelerin ilgi alanlarına sadece ekonomiden ziyade çevre ve sosyal başlıkları da alması, Sürdürülebilirlik bilincinin yaygınlık kazanması dolayısıyladır. İşletmelerin ilgi alanlarına ekonominin yanında çevre ve sosyal bileşenleri de almaları, işletmelerin varlıklarını devam ettirebilmek için artık ekonomi göstergesinin tek başına yetersiz olması dolayısıyladır. Asıl merak edilen soru ise Döngüsel Ekonomi 'ye geçen işletmelerin Sürdürülebilir Performanslarının artıp artmadığıdır? Bu konuda birçok araştırmacı çalışma yaparak Döngüsel Ekonomi 'nin işletmenin Sürdürülebilir Performans'ını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Literatüre bakıldığında Döngüsel Ekonomi 'nin doğal kaynakları koruma gayesi ve gelecek nesillerle amaçlarının uyumluluğu, modelin Sürdürülebilirlik perspektifini desteklediğinin kanıtıdır. Döngüsel Ekonomi 'nin işletmelere sağladığı yararlardan birisi olan ekonomik yararlar bakıldığında, ham madde ve enerji tüketiminin azaltımı yoluyla ekonomik yarar sağlanması örnek verilirken, diğer bir gösterge olan çevresel yarara bakıldığında ise, atık oluşumunun azaltılması ve emisyonların önlenmesi bu kapsamda örnek verilebilir. Modelin son yarar noktası sosyal yarara bakıldığında ise yeni iş sahaları yaratılması, toplumsal duyarlılığının artırılması ve mal ve hizmetlere erişimde adilane yaklaşım sosyal yararlar kapsamındadır. (Latan vd., 2020: 4). Sürdürülebilir İşletme Performansı'nın alt göstergelerinin Döngüsel Ekonomi ilkelerini çağrıştırdığı ve desteklediğiyle ilgili düşünceler, birçok araştırmacıya esin kaynağı olmuş ve iki model arasındaki ilişkiye yönelik birçok çalışma yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar ve iki model arasında var olan ilişki **Tablo 3.5'**de verilmiştir. Söz konusu tablo incelendiğinde Sürdürülebilir Performans'a ait oluşturulan göstergelerin, Döngüsel Ekonomi 'yi çağrıştırdığı görülmektedir.

İlgili Araştırmacılar	Araştırmaya Yönelik Bulgular
Yavuz (2021)	Sürdürülebilir üretime,yönteme ve uygulamalara Döngüsel Ekonomi'nin fayda sağlayacağı açıktır.
Latan vd. (2020)	Döngüsel Ekonomi, işletmenin sosyal, ekonomik ve çevresel performansını arttırmaktadır. Döngüsel Ekonomi'yle, Sürdürülebilir Performans arasında pozitif yönlü bir ilişki mevcuttur.
Alonso-Martinez vd. (2021)	Sürdürülebilir Performans'ı ölçmek için baz alınan çevresel, sosyal ve ekonomik göstergelerle Döngüsel Ekonomi ilkeleri arasında ilişki vardır.
Gupta vd. (2021)	Döngüsel Ekonomi uygulamalarının Sürdürülebilir Performans'ı arttırmada en önemli araç olduğunu ifade etmişlerdir
Hadi ve Baskaran (2021)	Sürdürülebilir İşletme Performansı'yla ilgili oluşturdukları öncüller, Döngüsel Ekonomi 'nin ilkeleriyle bağlantılıdır.
Fernando vd. (2019)	Sürdürülebilir İşletme Performansı'yla ilgili oluşturdukları öncüller, Döngüsel Ekonomi ilkeleriyle bağlantılıdır.

Tablo 3.5: Sürdürülebilir Performans ve Döngüsel Ekonomi Arasındaki İlişki

Kaynak:(Latan vd., 2020: 4-10; Alonso-Martinez vd., 2021: 3-4; Gupta vd., 2021: 1; Hadi ve Baskaran, 2021: 5; Fernando vd., 2019: 14; Yavuz, 2021: 48)

Dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi de Döngüsel Ekonomi ile Sürdürülebilir İşletme Performansı'nı birbirine yakınlaştıran ve her iki yaklaşıma da katkı sağlayan etkenler var mıdır, sorusudur. Bununla ilgili her iki yaklaşıma da katkı sağlayacak durumlardan birisi, işletmelerin ihtiyacını karşılama da ve müşterileri daha yeşil ve doğatık temalı seçimlere yöneltmede Endüstri 4.0 kavramı ve teknolojileridir. Nesnelerin İnterneti ve 3 Boyutlu Yazıcı gibi teknolojilerin varlığı, işletmeleri Döngüsel Ekonomi tarafına çekerken aynı zamanda işletmelerin Sürdürülebilir Performans'ına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, atıkların ve çevresel etkilerin izlenmesi daha olanaklı olmaktadır. Özellikle Döngüsel Ekonomi 'yi bir adım ileriye taşımada ve Sürdürülebilir Performans'a katkı sağlama noktasında Endüstri 4.0 teknolojilerinin belirgin bir etkisi olduğu da açıktır (Latan vd., 2020: 3). Çoğu araştırmacılar Endüstri 4.0 ile Döngüsel Ekonomi 'nin birleştirilmesini sürdürülebilir yararlarla ilişkilendirmişlerdir. Agrawal vd. (2021: 749), Endüstri 4.0 teknolojilerinin işletmelerin performansını arttırdığını belirtirken, Sürdürülebilir İşletme Performansı'nın Döngüsel Ekonomi yönünden başarılmasında, Nesnelerin İnterneti ve Yapay

Zekâ gibi dijital teknolojilerin çeşitli avantajlarının da altını çizmişlerdir. Bazı araştırmacılar tarafından yürütülen çalışmalarda Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi kavramlarının birleşmesinin Sürdürülebilir İşletme Performansı 'nın başarılmasında önemi vurgulanırken yapılan diğer araştırmalar ise özellikle tek kavram üzerinde durmaktadır (Gupta vd., 2021: 4-5).

Yukarıda Döngüsel Ekonomi ile Sürdürülebilir İşletme Performansı arasındaki ilişki; kavramların tanıtımı, açıklanması ve aralarındaki ilişki boyutuyla ortaya koyulmuştur. Açıklanan ifadelerden hareketle son dönemde ortaya çıkan ve geniş kabul gören Döngüsel Ekonomi 'nin, Sürdürülebilirlik yaklaşımını desteklediği ve onun bir uygulaması olan Sürdürülebilir İşletme Performans'ını pozitif yönde etkilediği söylenebilir. Döngüsel Ekonomi 'nin sadece ekonomik göstergesi değil, çevresel ve sosyal göstergeleri de kendine ilke edinmesi ve uygulama alanı sağlaması, Sürdürülebilir İşletme Performansı 'nın tam merkezine hitap eden bir yaklaşımdır. Çünkü Sürdürülebilir İşletme Performansı işletmeyi sadece ekonomik performans göstergesinden değil aynı zamanda çevresel ve sosyal performans göstergesi yönünden de değerlendirmektedir. Her iki modelin de birbirine tam uyum sağladığı ve yüzde yüz uyduğu gibi bir düşünceyi söylemek tamamen yersiz olduğu gibi birbirleriyle ilişkilerinin bulunmadığını söylemek de anlamsız olacaktır. Araştırma kapsamında fark edilen bir diğer durum ise modeller arasındaki ilişkilere Endüstri 4.0 teknolojilerinin de katkı sağlayacağıdır. Sonuç olarak söylenebilir ki Sürdürülebilir İşletme Performansı 'nın Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi'yle beraber düşünülmesi aradaki olumlu ilişki düzeyini daha da yukarı çıkaracaktır.

4.ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİ ve DÖNGÜSEL EKONOMİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR İŞLETME PERFORMANSINA ETKİSİ

Çalışmanın bu kısmında, ‘Araştırmanın Konusu’, ‘Araştırmanın Amacı’, ‘Araştırmanın Kapsamı’, ‘Araştırmanın Yöntemi’, ‘Araştırmanın Modeli’, ‘Araştırmanın Evreni ve Örneklemi’, ‘Araştırmanın Varsayımları’, ‘Anket Formunun Güvenilirlik Analizi’, ‘Anket Formu ve Verilerin Toplanması’, ‘Verilerin analizi ve Bulgular’ başlıkları üzerinde durulmuştur.

4.1.Araştırmanın Konusu

Çalışmanın konusunu, asansör sektöründe faaliyet gösteren işletmelerde Endüstri 4.0 Teknolojileri ve Döngüsel Ekonomi’nin, işletmelerin sürdürülebilir performanslarına etkisini araştırmak oluşturmaktadır.

4.2.Araştırmanın Amacı

Çalışmanın amacı, işletmelerde Endüstri 4.0 Teknolojileri ve Döngüsel Ekonomi’nin işletmelerin sürdürülebilir performanslarına doğrudan veya dolaylı etkisinin olup olmadığını belirleyebilmektir. Belirtilen amaca ulaşmak için aşağıda belirtilen hipotezler geliştirilmiştir:

- Asansör sektöründe faaliyet gösteren işletmeler açısından Endüstri 4.0 Teknolojilerinin işletmelerin sürdürülebilir performansına doğrudan etkisi var mıdır?
- Asansör sektöründe faaliyet gösteren işletmeler açısından Döngüsel Ekonomi’nin işletmelerin sürdürülebilir performansına doğrudan etkisi var mıdır?
- Endüstri 4.0 Teknolojilerinin, Döngüsel Ekonomi üzerinden sürdürülebilir performansa dolaylı bir etkisi var mıdır?

4.3. Araştırmanın Kapsamı

Türkiye’de asansör sektörü 1950’li yıllardan sonra hızlanmış, önceleri ithalata dayalı bir görünüm sergileyen asansör sektörü, yavaş yavaş montaj ve aksam imalatı alanlarında yerli üretimi arttırmıştır.1990’lı yıllardan sonra asansör talebinde artış yaşanmış ve sektör kademeli büyümesine devam etmiştir. Özellikle geniş halk kitleleri tarafından katlarda ulaşım aracı olarak rağbet görmesi, sektörün Türkiye sanayisi ve ekonomisi için önemini ortaya koymaktadır (ASO, 2017: 3).

Çalışma, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın yayınladığı “Asansör Sektör Raporu-2021”e göre Türkiye’de faaliyet gösteren 2772 asansör işletmesini kapsamaktadır. Türkiye’de faaliyet gösteren asansör işletmeleri imalat, montaj ve bakım olmak üzere üç ana kol üzerinde gruplanmışlardır. Aksam imalatı makine alanının bir uzmanlığı olarak geçer. Montaj işleri ise çeşitli işletmelerde üretilen asansör aksamalarının birleştirilerek asansörün monte edilmesi sürecidir. Bakım işleri ise asansörün montajının tamamlandıktan sonra belli aralıklarla kontrol edilmesi ya da arıza durumunda asansörün tamiridir. Asansör aksam sektörü daha çok Marmara, Ege ve İç Anadolu bölgelerinin büyük şehirlerinde yoğunlaşmışken, asansör montaj sektörü 81 ilde faaliyet göstermektedir. Asansör bakım sektörü ise nüfusun fazla olduğu büyük şehirlerde yoğunlaşmıştır. Türkiye’de asansör sektörü yüksek seviyede yerel istihdam sağlamakta olup, istihdam ettiği çalışan sayısı ise 31.586’dır. Sektörün 2020 yılı ihracat değeri 245 milyon dolar olup, sektörün ithalat ve ihracat toplam dış ticaret hacmi ise 358 milyon dolar seviyesindedir. Ayrıca yürütülen belgelendirme ve muayene faaliyetlerinin devam etmesi sektörün önemini ortaya koymaktadır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020: 7-11).

4.4. Araştırmanın Yöntemi

Nicel araştırma yönteminde hipotez kurma, model oluşturma ve bunları test etme genel uygulamalar olarak göze çarparken, uygulanan analiz yöntemleri ise çeşitlenmektedir. Nicel araştırma analizinde kullanılan yöntemlerden birisi ise “Yapısal Eşitlik Modeli” dir. Yapısal Eşitlik Modeli bir analiz metodolojisidir ve ortaya çoklu değişkenli çeşitli istatistiki analizlerin birleşmesi ile ortaya çıkmaktadır. Yapısal Eşitlik Modeli’nde araştırma kapsamında oluşturulan teorik çerçeve tek bir model olarak ele alınır ve bütün olarak test edilir (Erbil, 2017: 3-4).

Yapısal Eşitlik Modeli’nin kullanılan klasik analizlere göre çeşitli üstünlükleri vardır ve üstünlükler aşağıda verilmiştir (Gürbüz ve Şahin, 2018: 339):

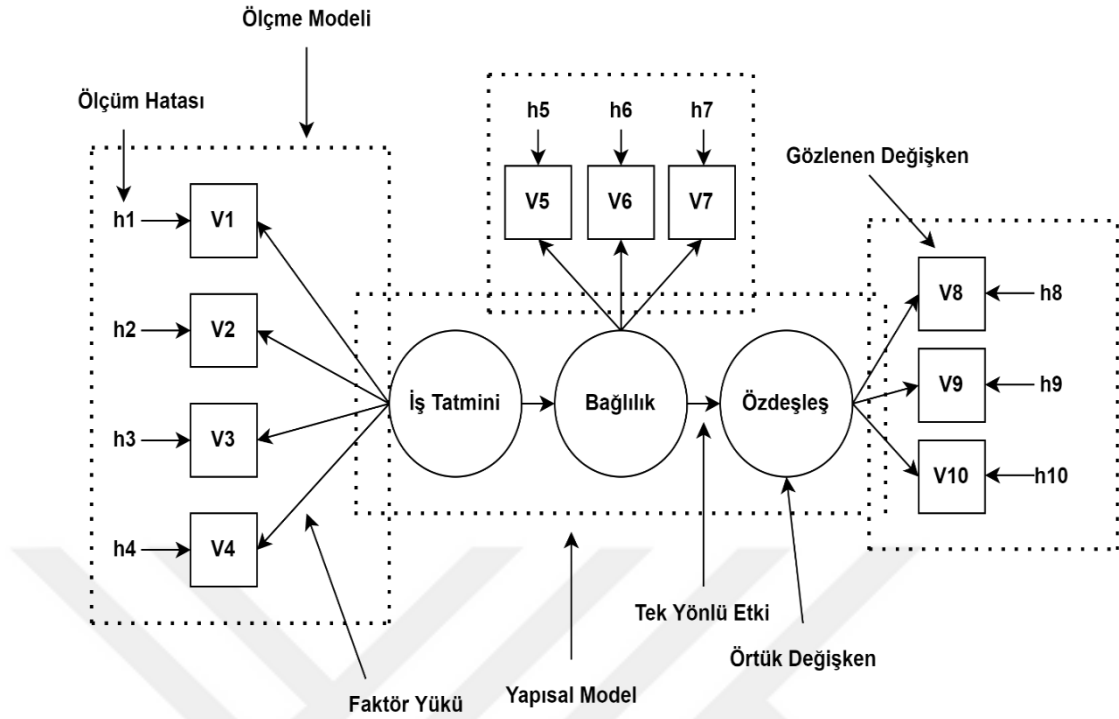
- Yapısal Eşitlik Modeli, doğrulayıcı bir özellik taşır.
- Klasik çok değişkenli analizlerde ölçüm hataları dikkate alınmayıp düzeltme yapılmazken, Yapısal Eşitlik Modeli ise ölçüm hatalarını dikkate alır ve düzeltmeye imkân tanır.

- Klasik analizlerde ilişkiler gözlenen değişkenler üzerinden analiz edilirken, Yapısal Eşitlik Modeli'nde ise gözlenen ve örtük değişkenler beraber analiz edilmektedir.
- Klasik analizlerde çoklu ilişkilerin test edilmesinde alternatif bulunmazken, Yapısal Eşitlik Modeli ise en iyi model belirlenebilmektedir.
- Yapısal Eşitlik Modeli'nde karmaşık modeller daha kolay test edilebilmektedir.
- Klasik analizlerde yapısal modeli bütüncül olarak test etmek zorken, Yapısal Eşitlik Modeli'nde ise yapısal model bütüncül olarak test edilebilmektedir.

Çalışmada Endüstri 4.0 Teknolojileri, Döngüsel Ekonomi ve işletmelerin sürdürülebilir performansları arasındaki ilişki test edilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında, Yapısal Eşitlik Modeli'nin klasik analiz türlerine karşı üstünlüğünden ve değişkenler arasındaki ilişkilerin daha sağlıklı belirlenmesinin amaçlanmasından dolayı Yapısal Eşitlik Modeli kullanılmıştır.

4.4.1.Yapısal Eşitlik Modeli

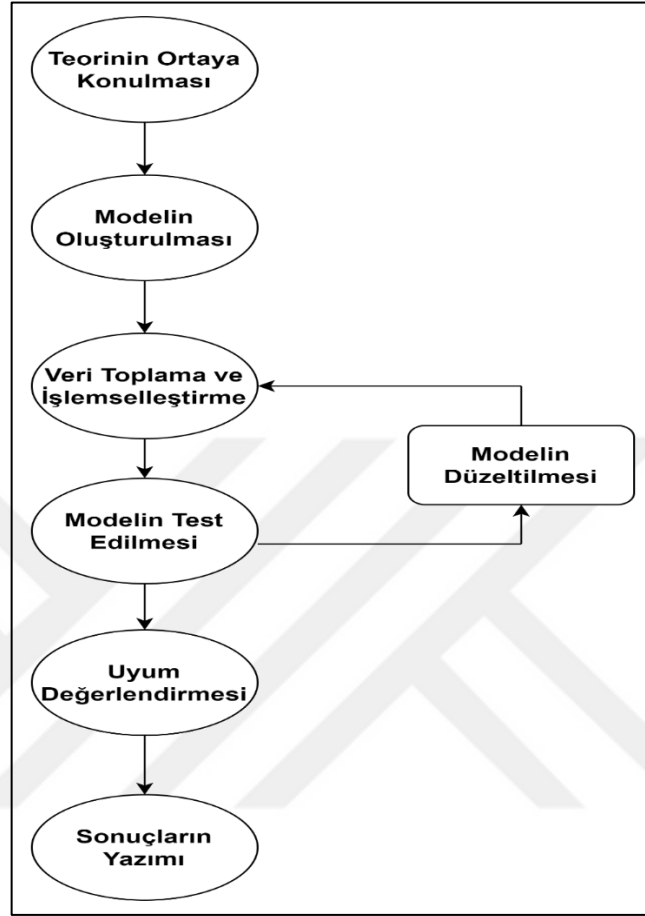
Yapısal Eşitlik Modeli (YEM), genellikle gözlenen ve örtük değişken barındıran modellerin test edilmesinde kullanılan, regresyon ve faktör analizlerinin birleşiminden oluşan, çok değişkenli istatistiksel bir analiz türüdür. Yapısal Eşitlik Modeli temelde, örtük değişkenler arasındaki ilişkiye test eden Yol Analizi ile gözlenen ve örtük değişkenler arasındaki ilişkiyi test eden Doğrulayıcı Faktör Analizi 'nin ortak adıdır (Gülbüz ve Şahin, 2018: 339). Yapısal Eşitlik Modeli'nin sahip olduğu iskelet yapısı **Şekil 4.1**'de verilmiştir. **Şekil 4.1**'deki diyagramın daha iyi anlaşılması için diyagrama ait kavramlar **Tablo 4.1**'de verilmiştir.



Şekil 4. 1: Yapısal Eşitlik Modeli'nde Temel Kavramlar
Kaynak:(Gürbüz ve Şahin, 2018: 341)

Sembol	Ölçüm Modelinde İsmi	Anlamı
h1,h2.....h10	Ölçüm Hatası	Gözlenen değişkenin ölçülmek istenen modeli açıklayamadığı özelliğinin olduğunu, ölçüm hatasını gösterir. Ölçme modelinde faktör yüklerinin yüksek, hata varyanslarının ise düşük olması beklenir. Ölçüm hatası gözlenen değişkene tek yönlü ok ile gösterilir.
V1,V2....V10	Gözlenen Değişken	Araştırmacının doğrudan ölçüm yaptığı değişkenlerdir.
	Faktör yükü	Örtük değişkeni gözlenen değişkene bağlayan yol katsayısı
	Tek Yönlü Etki	Bir değişkenin diğer değişken üzerindeki etkisidir.
	Örtük Değişken	Doğrudan ölçümlenemeyen, gözlenen değişkenlerdeki ilişkiler aracılığıyla ile tanımlanabilen değişkenlerdir
	Yapısal Model	Yol Analizi diye de geçen model, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Tablo 4.1: Yapısal Eşitlik Modeli'nde Temel Kavramlar
Kaynak: (Gürbüz ve Şahin, 2018: 340; Dursun ve Kocagöz, 2010: 4)



Şekil 4. 2: Yapısal Eşitlik Modeli'nin Uygulama Aşamaları
Kaynak: (Gürbüz ve Şahin, 2018: 341)

Şekil 4.2’de Yapısal Eşitlik Modeli’nin uygulanma aşaması gösterilmektedir. Öncelikle araştırmacı kuram diye de tabir edilen bir araştırma konusu belirler ve konuya dayalı olarak modelini oluşturur. Oluşturulan modelin ardından araştırmacı değişkenlerin ölçümünü yapacak bir ölçek belirler ve örneklem yoluyla veri toplar, buna ise işletimselleştirme ve veri toplama denir. Sonrasında ise araştırmacı parametre belirlemesi yaparak DFA (Doğrulayıcı Faktör Analizi) ya da Yol Analizi yoluyla modelini test eder. Çıkan analiz sonuçlarına göre araştırmacı modelin toplanan veriler ile uyumuna bakar. Eğer araştırmacı modelde düzeltme yapmak isterse düzeltme yapıp tekrar modeli test eder ya da uyumluluk varsa elde edilen sonuçları değerlendirir ve raporlamasını yapar (Gürbüz ve Şahin, 2018: 341). Araştırma modelinin oluşturulmasında Şekil 4.2’deki yapı dikkate alınmıştır.

4.4.2.Yapısal Eşitlik Modeli Kapsamında Kullanılan Analizler

Yapısal Eşitlik Modeli'nin kavramsal çerçevesinin bilinmesi kadar Yapısal Eşitlik Modeli kapsamında kullanılan analizlerin bilinmesi ve oluşturulan modelin analiz edilmesi de önem arz etmektedir. Yapısal Eşitlik Modeli'nde kullanılan analizlerle, oluşturulan modelin geçerli olup olmayacağı, oluşturulan modelle ilgili ne tür eksiklikler olduğu belirlenebileceği gibi ayrıca, oluşturulan modelle beraber ihtiyaç duyulan değişkenler arası ilişkilerde sağlıklı şekilde belirlenebilecektir.

4.4.2.1.Doğrulayıcı Faktör Analizi

Doğrulayıcı Faktör Analizi, ölçeğe ait kuramsal boyutun ya da ölçeğin yapısal geçerliliğinin ortaya konduğu bir analiz türüdür. Yani bir ölçek DFA ile analiz edilmişse ve istenen sonuca ulaşılmışsa o ölçek geçerli bir ölçektir (Gülbüz ve Şahin, 2018: 342)

4.4.2.2.Uyum İyiliği İndisleri

Araştırma kapsamında oluşturulan modelin verilerle desteklenip, desteklenmediğine analiz neticesinde ortaya çıkan uyum iyiliği indislerine bakılarak karar verilir (Gülbüz ve Şahin, 2018: 345). **Tablo 4. 2'**de uyum indislerinin kısaltmalarıyla beraber Türkçe karşılıkları belirtilmiş olup, modeli hangi yönden test ettikleri ve ne düzeyde bir geçerli değere sahip olmaları gerektiği verilmiştir.

Uyum İyiliği İndisleri	Açıklama	Kabul Edilebilir Değerler
CMIN (χ^2)- Ki-Kare Testi	Model ile verinin uyumluluğunu test eder.	-
Df- Serbestlik derecesi	Serbestlik derecesidir ve CMIN değeriyle ilişkilidir.	-
(χ^2)/(Df)	Serbestlik derecesine göre daha güvenilirdir.	<3 3< (χ^2 /Df)<5
GFI- Uyum iyiliği indeksi	Modeli uyumluluk açısından örneklem büyüklüğünden bağımsız olarak test eder.	>0.8
AGFI- Düzeltilmiş uyum iyiliği indeksi	GFI'nın serbestlik derecesindeki halidir.	>0.8
CFI- Karşılaştırmalı uyum indeksi	Hem serbestlik derecesini hem de örneklem büyüklüğünü baz alarak modeli temel modele göre test eder.	>0.90

RMSEA- Yaklaşık hataların ortalama karekökü	Serbestlik derecesini gözetir ve modelin örneklem kovaryansı ile uyumunu test eder.	<0.08
NFI- Normlaştırılmış uyum indeksi	CFI’den farklı olarak CMIN değerinden bağımsız karşılaştırma yapar.	>0.90
IFI- Arttırılmalı uyum indeksi	Model uyumunu test etmede örneklem büyüklüğünü ve modelin karmaşıklık derecesini baz alır.	>0.90

Tablo 4.2: Uyum İyiliği İndisleri ve Eşik Değerleri

Kaynak: (Gürbüz ve Şahin, 2018: 345; Berberoğlu ve Uygun, 2012: 464; Segars ve Grover, 1993: 522)

Uyum indislerine bakıldığında, GFI, NFI, IFI ve CFI değerleri 0 ile 1 arasında değer alır ve 1’e ne kadar çok yaklaşırlarsa veri ile model arasındaki uyum da o kadar iyi olur. Diğer taraftan ise RMSEA değeri 0,08’den küçük olup, modelin karmaşıklığı hakkında bilgi vermektedir (Yücel ve Yeniçeri, 2009: 151).

4.4.2.3.Yapısal Modelin Analizi

Yapısal Eşitlik Modeli’ne göre oluşturulan bir model için Doğrulayıcı Faktör Analizi yapıp ardından uyum indisleri kontrol edildikten ve modelin geçerliliği sağlandıktan sonra modelin analiz edilmesi aşamasına geçilir. Modelde yer alan değişkenler arasında doğrudan ya da dolaylı ilişkilerin tespitine yarayan ve çoklu regresyon testi ismi de verilen analizle oluşturulan hipotezlere yönelik cevaplar aranır (Gürbüz,2021:99).

Tüm bu gelişmelerden hareketle çalışma kapsamında “Yapısal Eşitlik Modeli” baz alınmış olup, değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde ve açığa çıkarılmasında daha güvenilir bir model olmasından dolayı tercih edilmiştir.

4.5.Araştırmanın Modeli

Çalışma kapsamında, Döngüsel Ekonomi ve Endüstri 4.0’ın Sürdürülebilir Performans’la ve Endüstri 4.0’ın Döngüsel Ekonomi üzerinden Sürdürülebilir Performans’la ilişkileri belirlenmek istenmiştir. Söz konusu ilişkileri irdellemek adına Döngüsel Ekonomi, Endüstri 4.0 ve Sürdürülebilir Performans’ı ölçmeye yönelik bir ölçek geliştirilmiştir.

Ölçekte, Döngüsel Ekonomi düzeyi için 16 değişken belirlenmiştir. Yapısal Eşitlik Modeli kapsamında oluşturulan modelde ise 16 Döngüsel Ekonomi değişkeni, Resolve Modeli’ni meydana getiren “Yenileme”, Optimizasyon”, “Paylaşım”, “Değişim”,

“Sanallaştırma” ve “Döngü” bileşenlerine göre gruplandırılmıştır. Oluşturulan ölçekte ekosistemi baz alan ve biyosferik döngüyü takip eden, malzeme ve enerjide yenilenebilirlik yaklaşımını baz alan değişkenler “Yenileme” bileşeninde gruplanırken, ürünlerin tekrar tekrar kullanım yoluyla ömürlerinin uzatılması yaklaşımını baz alan değişkenler ise “Paylaşım” bileşeninde gruplanmışlardır. Performans ve verimlilikte iyileştirmeler yaklaşımını baz alan değişkenler “Optimizasyon” bileşeninde gruplanırken, ürünlerin ve bileşenlerin yeniden üretime yönlendirilmesi yaklaşımını baz alan değişkenler ise “Döngü” bileşeninin de gruplanmışlardır. Ayrıca, sanallaştırma yoluyla fiziksel öğelerden tasarruf yaklaşımını baz alan değişkenler “Sanallaştırma” bileşeninin de gruplanırken, yeni teknoloji ve gelişmelerle malzeme ve ürün geri dönüşümünü arttırmak yaklaşımını baz alan değişkenler ise “Değişim” bileşeninde gruplanmışlardır. Yapısal Eşitlik Modeli’nde Döngüsel Ekonomi değişkeni, Resolve Modeli’ne uygun olarak; “Döngüsel Yenileme”, “Döngüsel Paylaşım”, “Döngüsel Optimizasyon”, “Döngüsel Döngü”, “Döngüsel Değişim” ve “Döngüsel Sanallaştırma” bileşeninden oluşmuştur.

Çalışma kapsamında oluşturulan ölçekteki Döngüsel Ekonomi’ye ait 16 değişken ve değişkenlerin Yapısal Eşitlik Modeli kapsamında gruplandırılması **Tablo 4. 3’**de verilmiştir.

RESOLVE MODELİ		
İlgili Öncül	Gruplandırma Bileşeni	İlgili Yazarlar
Çevresel kazaların önlenmesine yönelik çevresel atık yönetimi	Yenileme	Hina vd. (2022), Zhu vd. (2010), Tura vd. (2019), Ilić ve Nikolić (2016), Doberstein ve Geng (2010)
Tüketicilerin çevre bilincinin artırılmasına yönelik faaliyetler	Yenileme	Govindan ve Hasanagic (2018), Zhu vd. (2010)
Yenilenebilir enerji kaynaklarına (güneş, rüzgâr enerjisi vb.) olan talep	Yenileme	Govindan ve Hasanagic (2018), Zhu vd. (2010) Ellen MacArthur Foundation (2015), Manninen vd. (2018), Lewandowski (2016), Masi vd. (2017), Doberstein ve Geng (2010)
Sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik (hava emisyonu, zararlı emisyon vb.) tedbirler	Yenileme	Doberstein ve Geng (2010), Zhu vd. (2010) Schöder ve Anggraeni (2018),

		Elisha (2020) Masi vd. (2017), Tura vd. (2019)
Tehlikeli (zararlı, toksik vb.) maddelerin kullanımının azaltılması amacıyla ürün tasarımına öncelik verilmektedir.	Paylaşım	Whalen vd. (2017), Zhu vd. (2010), Lewandowski (2016)
Kullanılmış ürünlerin iadesi alınarak ürünlerin yeniden satılması ya da yenilerek satılması	Paylaşım	Lewandowski (2016), Zhu vd. (2010), Masi vd. (2017)
Ürünün yaşam süresinin uzatılmasına yönelik (Bakım-onarım faaliyetleri, yeni teknik araçlar ve sistemler kullanılması, ürün tasarımının güçlendirilmesi vb.) olarak çeşitli tedbirler	Paylaşım	Latan vd. (2020), Hart vd. (2019), Hina vd. (2022), Zhu vd. (2010), Bressanelli vd. (2018), Ellen MacArthur Foundation (2015), European Investment Bank (2020), Lewandowski (2016), Manninen vd. (2018), Whalen vd. (2017), Masi vd. (2017), Sariatli (2017)
Ürün tasarımında; yeniden üretim, ambalaj atığı minimizasyonu ve ürünlerin yeniden kullanılmasını kolaylaştırmak için ürünlerin ve ambalajlarının yeniden kullanım, demontaj ve geri dönüşümünün dikkate alınması	Paylaşım	Sariatli (2017), Zhu vd. (2010), Manninen vd. (2018), Masi vd. (2017), Doberstein ve Geng (2010)
Yeniden kullanım, geri dönüşüm ve kaynak kullanımının azaltımın (3R) da paydaşların (Devlet, diğer İşletmeler ve tüketiciler) talepleri	Paylaşım	Whalen vd. (2017), Gue vd. (2020), Hina vd. (2022), Doberstein ve Geng (2010), Gupta vd. (2021)
Tedarik zincirinin iyi yönetimi ürünlerin yeniden kullanımı ve yeniden üretimine olanak sağlar	Optimizasyon	Govindan ve Hasanagic (2018), Hina vd. (2022) Manninen vd. (2018), Zhu vd. (2010), Doberstein ve Geng (2010), Elisha (2020), Gupta vd. (2021)
Karşılaşılan çeşitli risk faktörleri (Malzeme tedariki sorunları, belirsiz kaynak rezervleri, fiyat dalgalanmaları vb.) kullanılan malzemelerin tekrar kullanımına ve malzeme geri kazanımına olan ilgiyi artırır	Optimizasyon	Gupta vd. (2021), Whalen vd. (2017), Masi vd. (2017), Hina vd. (2022), Doberstein ve Geng (2010), Tura vd. (2019), Elisha (2020), Sariatli (2017), European Bank (2020), Hina vd. (2022), Zhu vd. (2010), Gue vd. (2020)

Ömrünü tamamlamış, kullanılmış ya da kusurlu olan ürün ve materyallerin toplandığı ve geri dönüştürüldüğü alt yapılar	Optimizasyon	Gupta vd. (2021), Zhu vd. (2010) Schöder ve Anggraeni (2018), Doberstein ve Geng (2010)
Atıkların minimize edilmesi, yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesi maliyet tasarrufu ve kâr sağlar	Optimizasyon	Gupta vd. (2021), Whalen vd. (2017), Hart vd. (2019), Gue vd. (2020), Masi vd. (2017), Zhu vd. (2010), Tura vd. (2019), Schöder ve Anggraeni (2018), Elisha (2020) Sariatli (2017), European Investment Bank (2020) Neves ve Marques (2022), Ellen MacArthur Foundation (2015), Latan vd. (2020) Sariatli (2017), Lewandowski (2016) Manninen vd. (2018), Bressanelli vd. (2018)
Bileşenlerin ve malzemelerin tekrar tekrar kullanımlarına (kapalı döngü sistemi) ve aynı bileşen ve malzemelerin dolaşımına (iç döngü) öncelik verilmesi	Döngü	Bressanelli vd. (2018), Preston ve Lehne (2017) Ellen MacArthur Foundation (2015), Manninen vd. (2018), Lewandowski (2016), Doberstein ve Geng (2010), Hina vd. (2022),
Fiziksel ürünlerin ve hizmetlerin dijital ve internet tabanlı sanal ortama taşınmasıyla yeni ürün ve hizmetlerin geliştirilmesi	Sanallaştırma	Latan vd. (2020), Tura vd. (2019), Lewandowski (2016), Manninen vd. (2018), Elisha (2020), Ellen MacArthur Foundation (2015)
Yeni teknolojiler kullanılmasıyla, ürünlerin yeniden kullanımı ve yeniden üretimine dayalı yeni iş modellerinin geliştirilmesi	Değişim	Hart vd. (2019), Tura vd. (2019), Sariatli (2017), Latan vd. (2020), Lewondaski (2016), Ellen Mac Arthur Foundation (2015), Manninen vd. (2018) Hina vd. (2022), European Investment Bank (2020)

Tablo 4.3: Çalışma Kapsamında Resolve Modeline Yönelik Geliştirilen Öncüller

Çalışma kapsamında oluşturulan ölçekte, Sürdürülebilir Performans düzeyi için 13 değişken belirlenmiştir. Yapısal Eşitlik Modeli kapsamında oluşturulan modelde ise 13 Sürdürülebilir Performans değişkeni için Sürdürülebilir Performansın üç önemli göstergesi olan “Çevre”, “Ekonomik” ve “Sosyal” bileşenlere göre gruplandırma yapılmıştır. Ölçek kapsamında oluşturulan değişkenlerden, ekosistemi baz alarak iyileştirmeyi amaç edinen ve doğadaki ürün çevrimini baz alan yaklaşımda olanlar

“Çevre” bileşeninde gruplanmıştır. İşletmenin satış hacmi ve kârına odaklanarak maliyette azalışa odaklanan, toplumsal gelişime mali anlamda destek veren ve çalışanları mali yönden destekleyen yaklaşıma sahip olan değişkenler ise “Ekonomik” bileşende gruplanmıştır. Son olarak ise paydaş memnuniyetini ve işletmenin kamuoyu riskini baz alan, çalışanları sosyal yönden destekleyen ve çalışanlara sürdürülebilirlik eğitimi veren yaklaşıma sahip olan değişkenler ise “Sosyal” bileşende gruplanmışlardır. Yapısal Eşitlik Modeli’nde Sürdürülebilir Performans göstergesi alt göstergelerine uygun olarak, “Sür Sosyal”, Sür Ekonomi” ve Sür Çevre” bileşeninden oluşmuştur.

Çalışma kapsamında oluşturulan ölçekteki Sürdürülebilir Performans’a ait 13 değişken ve değişkenlerin Yapısal Eşitlik Modeli kapsamında gruplandırılması **Tablo 4. 4**’de verilmiştir.

İlgili Araştırmacılar	Sürdürülebilir Performans Göstergesi	İlgili Öncüller
Hadi ve Baskaran (2021), Fernando vd. (2019), Latan vd. (2020), Kamble vd. (2020), Zhu vd. (2007), Center For Sustainable Systems (2002), Sajan vd. (2017), Paulraj (2011), Global Reporting Initiative (2013), Azapagic ve Perdan (2000), Yavuz (2021)	Çevresel	Sera gazı salınımında azalma
Hadi ve Baskaran (2021), Fernando vd. (2019), Latan vd. (2020), Huo vd. (2019), Zhu vd. (2007), Center For Sustainable Systems (2002), Sajan vd. (2017), Paulraj (2011), Global Reporting Initiative (2013), Azapagic ve Perdan (2000), Martinez vd. (2021), Yavuz (2021)	Çevresel	Geri kullanım ve geri dönüşüme öncelik verilerek atık üretiminin azaltılması
Hadi ve Baskaran (2021), Latan vd. (2020), Huo vd. (2019), Zhu vd. (2007), Zailani vd. (2012), Center For Sustainable Systems (2002), Paulraj (2011),	Çevresel	Toksik ve tehlikeli maddelerin kullanımının azaltılması
Gupta vd. (2021), Kamble vd. (2020), Zailani vd. (2012), Azapagic ve Perdan (2000)	Çevresel	Tasarım aşamasında ürün dayanıklılığı ve yeniden kullanılabilir ürün bakışı

Martinez vd. (2021), Sajan vd. (2017), Huo vd. (2019), Center For Sustainable Systems (2002), Zailani vd. (2012), Paulraj (2011), Azapagic ve Perdan (2000), Gupta vd. (2021)	Çevresel	Kullanılan materyal ve enerji miktarında azalmayla birlikte verimlilikte de artış gözlemlenmiştir.
Hadi ve Baskaran (2021), Fernando vd. (2019), Kamble vd. (2020), Huo vd. (2019), Center For Sustainable Systems (2002), Sajan vd. (2017), Paulraj (2011), Global Reporting Initiative (2013), Cheng ve Shiu (2012), Latan vd. (2020), Zailani vd. (2012), Yavuz (2021)	Ekonomik	Satış hacmi ve gelir Yatırım iyileşmesi, Kâr marjı
Kamble vd. (2020), Zhu vd. (2007), Sajan vd. (2017), Paulraj (2011)	Ekonomik	Maliyet azaltımı ve düşük işletme maliyeti
Center For Sustainable Systems (2002), Azapagic ve Perdan (2000),	Ekonomik	Çalışan ücretleri ve yan haklar gibi personelin mali gelişimine izin verecek uygulamalar
Global Reporting Initiative (2013), Kamble vd. (2020), Center For Sustainable Systems (2002), Azapagic ve Perdan (2000),	Ekonomik	Toplumsal yatırıma yönelik, sağlık, güvenlik ve çevre gibi alanlarda mali desteklerde artış
Latan vd. (2020), Martinez vd. (2021), Kamble vd. (2020), Huo vd. (2019), Zailani vd. (2012), Paulraj (2011), Sajan vd. (2017), Global Reporting Initiative (2013),	Sosyal	Gelişmiş paydaş memnuniyeti ve işletmenin kamuoyuna yönelik sosyal ve itibari riskleri azalır
Hadi ve Baskaran (2021), Latan vd. (2020), Huo vd. (2019), Center For Sustainable Systems (2002), Sajan vd. (2017), Paulraj (2011), Azapagic ve Perdan (2000), Global Reporting Initiative (2013), Yavuz (2021)	Sosyal	Çalışan haklarını geliştirme ve iş sağlığı ve güvenliği
Center For Sustainable Systems (2002), Sajan vd. (2017), Gupta vd. (2021)	Sosyal	Sürdürülebilirliğin önemi üzerine işçilere ve yöneticilere eğitim verilmesi

Zailani vd. (2012), Global Reporting Initiative (2013), Gupta vd. (2021), Yavuz (2021)	Sosyal	Ürün sorumluluğuna ve imajına verilen önem
--	--------	--

Tablo 4.4: Sürdürülebilir Performans Göstergeleri

Çalışma kapsamında oluşturulan ölçekte, Endüstri 4.0 düzeyi için 10 değişken belirlenmiştir. Endüstri 4.0 düzeyini belirlemek adına doğrudan Endüstri 4.0 teknolojileri değişken olarak seçilmiştir. Çünkü bir işletmede direkt olarak Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanılması, Endüstri 4.0 hakkında bilgi sahibi olunduğunu vermektedir. Yapısal Eşitlik Modeli kapsamında oluşturulan modelde ise 10 Endüstri 4.0 değişkeni/teknolojisi için Endüstri 4.0'ın 9 değişkeni/teknolojisi bileşen olarak alınmış fakat “Akıllı Fabrika” teknolojisi bileşen olarak alınmamıştır. Akıllı Fabrika teknolojisi bünyesinde diğer Endüstri 4.0 teknolojilerinin çoğunu barındırdığı için Yapısal Eşitlik Modeli kapsamında oluşturulan modelde Endüstri 4.0 bileşeni olarak yer almamıştır. Yapısal Eşitlik Modeli’nde Endüstri 4.0 ise teknolojilerine uygun olarak, “Nesnelerin İnterneti”, “Arttırılmış Gerçeklik”, “Simülasyon”, “Büyük Veri”, “Siber-Fiziksel Sistemler”, “3 Boyutlu Yazıcı”, “Entegre Sistemler”, “Bulut Bilişim Sistemleri” ve “Otonom Robot” bileşeninden oluşmuştur.

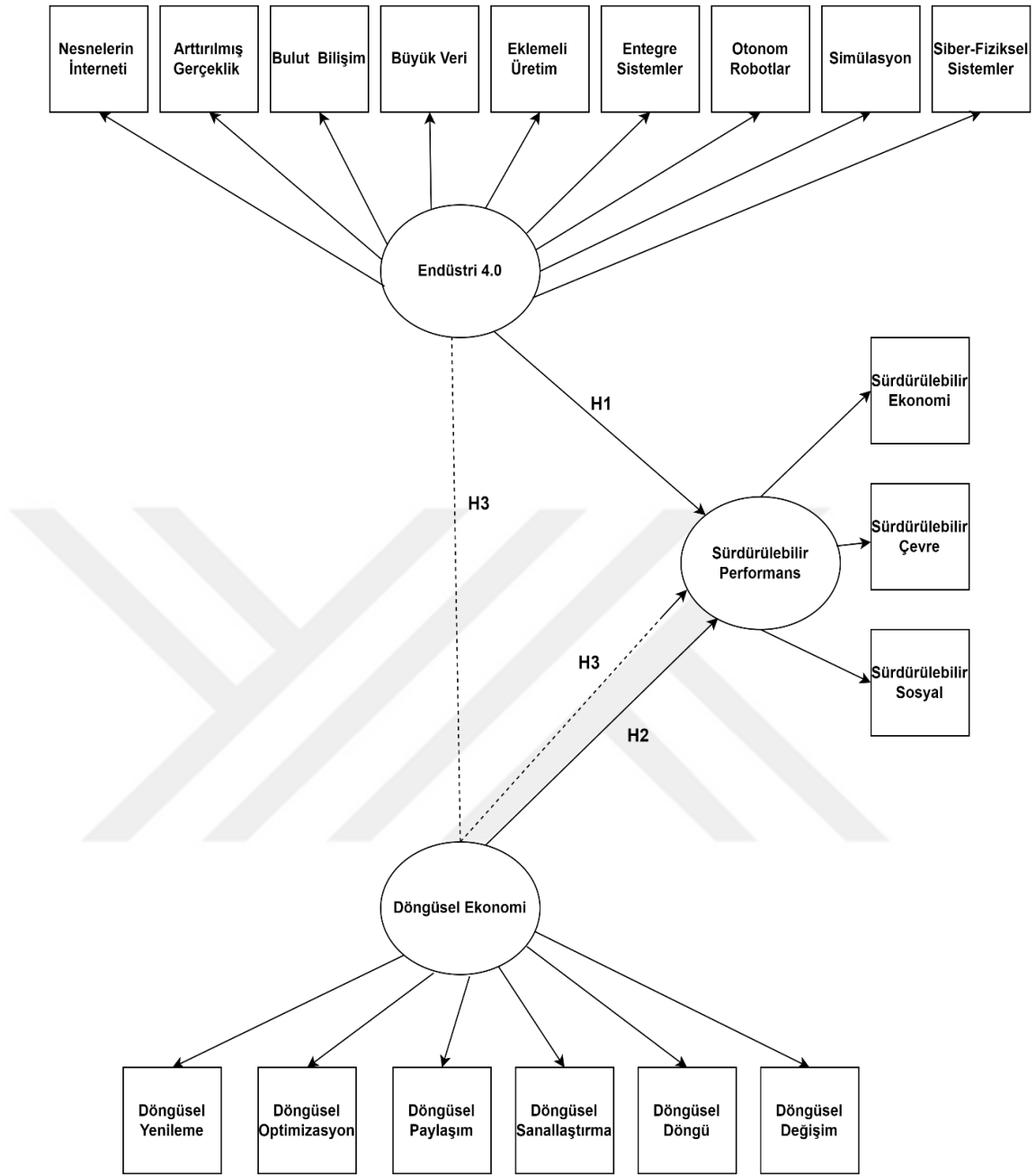
Çalışma kapsamında oluşturulan ölçekteki Endüstri 4.0’a ait 10 değişken ve değişkenlerin Yapısal Eşitlik Modeli kapsamında gruplandırılması **Tablo 4. 5**’de verilmiştir.

İlgili Araştırmacılar	Endüstri 4.0 Değişkenleri	Yapısal Eşitlik Modeli Değişkenleri
Kamble (2018), Romero vd. (2021), Rosa vd. (2019), Agrawal vd. (2021), Piscitelli vd. (2020)	Simülasyon	Simülasyon
Kamble (2018), Romero vd. (2021), Agrawal vd. (2021), Piscitelli vd. (2020)	Entegre Sistemler	Entegre Sistemler
Kamble (2018), Romero vd. (2021), Agrawal vd. (2021), Piscitelli vd. (2020), Yavuz (2021)	Bulut Bilişim Sistemleri	Bulut Bilişim Sistemleri
Kamble (2018), Chauhan vd. (2020), Romero vd. (2021), Agrawal vd.	Arttırılmış Gerçeklik	Arttırılmış Gerçeklik

(2021), Piscitelli vd. (2020) , Yavuz (2021)		
Kamble (2018), Peukert vd. (2015), Mellor vd. (2014), Laskurain-Iturbe vd. (2021), Romero vd. (2021), Rosa vd. (2019), Agrawal vd. (2021), Piscitelli vd. (2020) , Yavuz (2021)	3 Boyutlu Yazıcı	3 Boyutlu Yazıcı
Kamble (2018), Peukert vd. (2015), Chauhan vd. (2020), Roubaud vd. (2018), Romero vd. (2021), Rosa vd. (2019), Dantas vd. (2021), Agrawal vd. (2021), Piscitelli vd. (2020) , Yavuz (2021)	Nesnelerin İnterneti	Nesnelerin İnterneti
Kamble (2018), Romero vd. (2021), Rosa vd. (2019), Dantas vd. (2021), Agrawal vd. (2021), Piscitelli vd. (2020)	Siber-Fiziksel Sistemler	Siber-Fiziksel Sistemler
Kamble (2018), Chauhan vd. (2020), Romero vd. (2021), Rosa vd. (2019), Dantas vd. (2021), Agrawal vd. (2021), Piscitelli vd. (2020), Yavuz (2021)	Büyük Veri	Büyük Veri
Kamble (2018), Laskurain-Iturbe vd. (2021), Romero vd. (2021), Dantas vd. (2021), Agrawal vd. (2021), Piscitelli vd. (2020), Yavuz (2021)	Otonom Robotlar	Otonom Robotlar
Kamble (2018), Romero vd. (2021), Agrawal vd. (2021), Piscitelli vd. (2020)	Akıllı Fabrika	

Tablo 4.5: Endüstri 4.0 Göstergeleri

Çalışma kapsamında belirlenen Endüstri 4.0, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Performansa ait değişkenlerle, **Şekil 4.3'**de gösterildiği gibi, çalışmanın Yapısal Eşitlik Modeli oluşturulmuştur.



Şekil 4. 3: Çalışma Kapsamında Oluşturulan Yapısal Eşitlik Modeli

Şekilde Endüstri 4.0 üzerinden Döngüsel Ekonomi' ye H3 giderken, H1 ise Sürdürülebilir Performansa gitmektedir. Ayrıca Döngüsel Ekonomi 'den giden H2 ise Sürdürülebilir Performansa gitmektedir. Buradaki üç harf araştırmanın amacı kapsamında verilen üç hipoteze yöneliktir ve hipotezler aşağıdadır:

- **H1:** Endüstri 4.0 teknolojileri ile işletmelerin Sürdürülebilir Performansı arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki vardır.

- **H2:** Döngüsel Ekonomi ile işletmelerin Sürdürülebilir Performansı arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki vardır.
- **H3:** Endüstri 4.0 teknolojilerinin Döngüsel Ekonomi üzerinden işletmelerin Sürdürülebilir Performansı üzerinde anlamlı ve pozitif dolaylı bir etkisi vardır.

4.6.Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Türkiye’de faaliyette bulunan asansör işletmelerinin sayısı 2020 yılı sonu itibariyle 2.772’dir (STB, 2021: 7-11). Büyüköztürk vd. (2020: 83)’e göre örneklem, araştırmada çalışılan evrenin özelliklerini saptamak için seçilen ve onun sınırlı bir parçasını oluşturan birimdir. Şimşek (2018: 126) Yapısal Eşitlik Modeli’nin kullanıldığı araştırmalarda asgari örneklem hacmini 200 olarak belirlerken, ayrıca her parametre değişkeni için 10 adet daha örnekleme ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir. Gürbüz ve Şahin (2018: 128)’e göre ise, Yapısal Eşitlik Modeli’nin olduğu araştırmada kullanılacak asgari örneklem hacmi 100 iken, yeterli görülen örneklem hacmi ise 200’dür.

Çalışmada, Türkiye’de faaliyet gösteren toplam 2.772 asansör işletmesinin tamamına anket formları online olarak mail ile gönderilmiş, 322 işletmeden geri dönüş olmuştur. 20 anket formunda katılımcıların verdiği cevaplarda çok fazla eksiklik olduğu saptanmış ve araştırma veri setinden çıkarılmıştır. Dolayısıyla, toplam 302 işletmeden gelen cevaplar analize tabi tutulmuştur. 2.772 asansör işletmesinin yaklaşık %10,9’undan geri dönüş sağlanmıştır. Örneklemenin güvenilirliği açısından, %95 güvenirlik düzeyinde ve %5 hata payı ile 302 katılımcı evren örneklem ilişkisi açısından yeterli görülmüştür.

4.7.Araştırmanın Varsayımları

- Katılımcıların soruları bilinçli olarak cevapladıkları,
- Katılımcıların soruları cevaplamaları için hiçbir baskı altında kalmadıkları,

varsayılmıştır.

4.8. Anket Formunun Güvenirlik Analizi

Anket formunun hazırlanmasında öncelikle literatür taraması yapılmış, elde edilen ölçekten anket formları hazırlanmıştır. Anket formunda 16 soru demografik bilgilerle, 10 soru Endüstri 4.0’la, 16 soru Döngüsel ekonomi’yle, 13 soru

Sürdürülebilir Performans'la ilgilidir. Endüstri 4.0 soruları 1: Hiç kullanmıyoruz ile 5: Tamamen kullanıyoruz arasında, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Performans soruları ise 1: Hiç katılmıyorum ile 5: Tamamen katılıyorum arasında 5'li Likert ölçeği kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan anket formu öncelikle 10 işletme ile ön teste tabi tutulmuştur. 10 işletmeden elde edilen veriler incelendiğinde genel cronbach alpha katsayısının 0,8'den yüksek değerini aldığı görülmüştür. Dolayısıyla, anket formundan herhangi bir soru çıkarılmamıştır. Anket formunun son hali diğer asansör işletmelerine eposta yoluyla gönderilmiş ve akabinde ise telefon yoluyla asansör işletmeleri aranmıştır. Dönem dönem ara değerlendirmeler ile anket formuna verilen sorularda yanlışlık olup olmadığı test edilmiştir. Katılımcılardan sağlanan dönüşler sonucunda verilerin analizine geçilmiştir.

Anket formunun güvenilirlik analizinde Cronbach Alfa Güvenilirliği, yapılan değerlendirmede yanıtların doğru ya da yanlış olarak değilde 1-3,1-5 gibi puan aralığında cevapların verildiği ve özellikle Likert türlü ölçeklerin güvenilirliğini kontrol etmede kullanılan bir güvenilirlik analizidir. Cronbach Alfa Güvenilirliği analizinde, Cronbach alfa katsayısının asgari 0,70'den düşük olamaması beklenirken, katsayının 0,8'in üzerinde olması ise ölçeğin çok yüksek düzeyde güvenilirliğe sahip olduğu anlamı taşımaktadır (Şimşek, 2018: 155-156).

Ölçek Değişken Sayısı	Cronbach's Alfa
18	0,931083243

Tablo 4.6: Ölçeğin Geneline Ait Cronbach's Alfa Katsayısı

	Değişkene Ait Soru Sayısı	Cronbach's Alfa
Nesnelerin İnterneti	1	,931
Arttırılmış Gerçeklik	1	,930
Simülasyon Teknolojisi	1	,929
Büyük Veri	1	,929
Siber-Fiziksel Sistemler	1	,929
3 Boyutlu Yazıcı	1	,929
Entegre Sistemler	1	,929
Bulut Bilişim Sistemleri	1	,929
Otonom Robot	1	,930
Sürdürülebilir Çevre	5	,926

Sürdürülebilir Ekonomi	4	,927
Sürdürülebilir Sosyal	4	,927
Döngüsel Yenileme	4	,925
Döngüsel Paylaşım	5	,924
Döngüsel Değişim	1	,925
Döngüsel Optimizasyon	4	,924
Döngüsel Döngü	1	,926
Döngüsel Sanallaştırma	1	,924

Tablo 4.7: Ölçekteki Mevcut Değişkenlere Ait Cronbach's Alfa Katsayıları

Tablo 4. 6'ya bakıldığında ölçeğin genel Cronbach's Alfa Katsayısı $0,93 > 0,8$ olup güvenilirlik değeri son derece yüksektir. Ayrıca **Tablo 4. 7'**de ölçeğin değişkenlerinin Cronbach's Alfa Katsayıları ayrı ayrı belirlenmiş ve hepsinin değerinin $>0,8$ 'den büyük olduğu tespit edilmiştir. Buradan hareketle ölçeğin geneli ile ayrı ayrı değişkenlerin geçerliliği ve güvenilirliği son derece yüksektir.

4.9.Anket Formu ve Verilerin Toplanması

Verilerin toplanmasında anket yöntemi tercih edilmiş ve hazırlanan anket toplamda altı bölümden oluşmuştur. İlk bölümde bilgilendirme, ikinci bölümde kişisel bilgiler, üçüncü bölümde işletme bilgileri, dördüncü bölümde Endüstri 4.0, beşinci bölümde Döngüsel Ekonomi, altıncı bölümde Sürdürülebilir Performans bilgileri yer almıştır. Endüstri 4.0, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Performans bölümlerinde 5'li likert ölçeği kullanılmış olup, Endüstri 4.0 için şıklar, 1-Kesinlikle kullanmıyoruz ile 5-Kesinlikle kullanıyoruz arasında değişirken, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Performans için 5'li likert ölçekleri 1-Kesinlikle katılmıyorum ile 5- Kesinlikle katılıyorum arasında değişmiştir.

Oluşturulan anket, **Şekil 4. 4** 'de görüldüğü gibi Google-formlar aracılığıyla elektronik ortama aktarılmış ve Türkiye'deki 2772 asansör işletmesine mail yoluyla iletilmiştir. Ankette mail yolunun tercih edilmesinde, zaman ve maliyet kısıtı etkili olmuştur. Anket verilerinin toplanmasında ise "Kolayda örnekleme" metodu tercih edilmiş ve evrende herhangi bir ayırım gözetmeksizin tüm işletmelere gönderilen anketlerden gönüllü geri dönüşler alınmıştır. Gönderilen maillerin ardından hatırlatma mailleri iletilmiş, akabinde ise işletmeler telefonla aranmıştır. Yapılan çalışma sonucunda 302 işletmeden geri dönüş sağlanmış ve geri dönüş oranı %10,9 olmuştur.

ENDÜSTRİ 4.0 VE DÖNGÜSEL EKONOMİ DEĞERLENDİRME FORMU

Sayın Katılımcı,

İşletmenin sosyal, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik kriterlerini, Endüstri 4.0 Teknolojileri ve Döngüsel Ekonomi'nin ne ölçüde etkilediğini saptamak amacıyla yapılan bu ankete iştirakiniz, araştırmanın doğru ve etkili sonuçlara ulaşması bakımından önem arz etmektedir. Elde edilecek bilgiler, 6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Hakkında Kanun kapsamında "Gizli" tutulacak olup; sadece bilimsel amaçlarla kullanılacaktır. Katılımlarınıza teşekkürü bir borç biliriz.

Mevlüt KÖKSAL



mevlutkoksaltb@gmail.com (paylaşılmıyor) [Hesap değiştir](#)



Sonraki

Formu temizle

Şekil 4. 4: Oluşturulan Anketin Google-Formlar Aracılığıyla Görünümü

4.10. BULGULAR

Çalışma kapsamında oluşturulan anket, 2772 katılımcıya mail yoluyla iletilmiş ve 302 geri dönüş olmuştur. Anket toplamda altı bölümden oluşmuştur. İlk bölümde kullanıcılara bilgilendirme yapılarak, verilerin gizliliği vurgulanırken, ikinci bölümde katılımcılara yönelik, üçüncü bölümde ise işletmeye yönelik demografik bölümlere yer verilmiştir. Dördüncü bölümde Endüstri 4.0, Beşinci bölümde Döngüsel Ekonomi ve Altıncı bölümde ise Sürdürülebilir Performansa ait göstergeler ölçülmüştür.

4.10.1. Katılımcılara Yönelik Sosyo-Demografik Özellikler

Anket formunun ulaştırıldığı işletmelerde anket formuna katılım sağlayan bireylere yönelik; cinsiyet, yaş, eğitim, meslek, hizmet süresi, gelir durumu ve işletmenin hangi birimlerinden katılım sağlandığıyla ilgili sorular yöneltilmiştir.

Cinsiyet	Sayısı	Yüzdesi	Yaş	Sayısı	Yüzdesi
Erkek	264	87,4	19-25	11	3,6
Kadın	38	12,6	26-32	71	23,5
Eğitim	Sayısı	Yüzdesi	33-39	76	25,2
Lise ve Altı	102	33,8	40-46	73	24,2
Yüksekokul	47	15,6	47 ve Üstü	71	23,5
Fakülte	121	40,1	Hizmet Süresi	Sayısı	Yüzdesi
Yük. Lisans	31	10,3	1 ve Altı Yıl	8	2,6

Doktora	1	0,3	2-5 Yıl	47	15,6
Meslek	Sayısı	Yüzdesi	6-9 yıl	49	16,2
Asansör Bakımcı	3	1	10-13 Yıl	38	12,6
Firma Sahibi	5	1,7	14-17 Yıl	44	14,6
Tekniker	39	12,9	18 ve Üstü Yıl	116	38,4
Asistan	1	0,3	Gelir Durumu	Sayısı	Yüzdesi
Akademisyen	1	0,3	4250 TL ve Altı	16	5,3
Mimar	1	0,3	4251 ve 6000 TL	70	23,2
Muhasebe	17	5,6	6001-7750 TL	64	21,2
Mühendis	116	38,4	7751 ve 9500 TL	56	18,5
Satış ve Pazarlama	2	0,7	9501 TL ve Üstü	96	31,8
Tasarımcı	1	0,3	İşletmenin Bölümlerinden Katılım Düzeyi	Sayısı	Yüzdesi
Uzman	9	3	Üretim	50	16,6
Yazılımcı	1	0,3	Eğitim	2	0,7
Yönetici	105	34,8	Finans	9	3
Öğretmen	1	0,3	Ar-ge	4	1,3
			Kalite	4	1,3
			Yönetim	203	67,2
			Satın alma ve Pazarlama	20	6,6
			Proje	3	1

Tablo 4.8: Kişi Bazlı Demografik Değişkenlerin Frekans Analizi

Tablo 4.8'de yapılan frekans analizine bakıldığında, cinsiyet değişkenlerinde erkek katılımcıların oranı %87,4 iken, kadınların ise %12,6'dır. Katılımcıların yaş frekanslarına bakıldığında ağırlığı 40-46 ile 33-39 yaş grupları oluştururken, katılımcıların eğitim düzeylerine bakıldığında %33,8'inin lise ve altı mezunu, %40,1'inin üniversite mezunu olduğu görülmektedir. Meslek dağılımlarında mühendisler ve yöneticiler ön plandayken, hizmet sürelerinde ise ağırlık 18 yıl ve üstündedir. Araştırmaya katılanların gelir düzeylerinin çoğunluğunu %31,8 ile 9.501 TL ve üzeri oluştururken, anketi cevaplayan kişilerin görev yaptığı işletme bölümlerinin ağırlığında ise %67,2 ile yönetim ve %16,6 ile üretim bölümleri vardır.

4.10.2.İşletmelere Yönelik Sosyo-Demografik Özellikler

Anket formuna katılım sağlayan kişilere, çalıştıkları işletmelere yönelik; işletmenin faaliyet sektörü, faaliyet süresi ve çalışan sayıları gibi sorular yöneltilirken ayrıca, Endüstri 4.0, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik uygulamalarının işletmelerinde yapılıp yapılmadığı sorgulanmıştır.

İşletme Bazlı Değişkenler	Sayısı	Yüzdesi
İşletmenin Faaliyet Sektörü		
İmalat	24	7,9
Montaj	71	23,5
Bakım ve Onarım	103	34,1
Hepsi	98	32,5
Malzeme Satış	2	0,7
Proje ve Danışmanlık	2	0,7
Yazılım	1	0,3
İşletmenin Faaliyet Süresi		
1 ve Daha Az Yıl	6	2
2-5 Yıl	63	20,9
6-9 Yıl	52	17,2
10-13 Yıl	52	17,2
14 ve Üstü Yıl	129	42,7
İşletmenin Çalışan Sayısı		
20 ve Altı	225	74,5
21-32	22	7,3
33-44	11	3,6
55-66	1	0,3
67 ve Üstü	14	4,6

Tablo 4.9: İşletme Bazlı Değişkenlerin Frekans Analizi

Tablo 4. 9' da katılımcı işletmelere ait frekans dağılımlarına bakıldığında, sektör bazlı katılımlarda çoğunluk %32,5 ile sektör çeşitlerinin tümünü kapsayan hepsinde ve %34,1 ile bakım ve onarım sektöründe olurken, işletmelerin faaliyet sürelerinde ise büyüklüğü, %42,7 ile 14 yıl ve üstü oluşturmuştur. Katılımcı işletmelerin çalışan sayılarındaki ağırlık ise %74,5 ile 20 ve altı kişi sayısındadır.

Uygulama Sorgulamaları	Evet	Hayır
Sürdürülebilirlik çalışmaları yapılıyor mu?	71,5	28,5
Döngüsel Ekonomi kavramını daha önce duydunuz mu?	61,6	38,4
Malzeme ve materyallerin geri dönüşüm faaliyetleri yapılmakta mıdır?	64,6	35,4

Malzeme ve materyallerin yeniden kullanım faaliyetleri yapılmakta mıdır?	62,6	37,4
Malzeme ve materyal kullanımını azaltmaya yönelik faaliyetler yapılmakta mıdır?	70,5	29,5
Endüstri 4.0 kavramını daha önce duyduunuz mu?	45	55

Tablo 4.10: Sürdürülebilirlik, Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi'nin Frekans Analizi

Tablo 4. 10'daki uygulama bazlı değişkenlerin frekans dağılımına bakıldığında, işletmelerinde sürdürülebilirlik çalışmalarının yapıldığını belirtenlerin oranı %71,5 olurken, Döngüsel Ekonomi kavramını daha önce duyduğunu söyleyenlerin oranı ise %61,6 olmuştur. Döngüsel Ekonomi'yi ölçen diğer üç değişken olan 3R (Malzeme ve materyallerin geri dönüşümü, azaltımı ve yeniden kullanım) ilkesinin işletmelerinde yapıldığını ifade edenlerin oranları ise sırasıyla %64,6, %70,5 ve %62,6 olmuştur. Ölçülen Döngüsel Ekonomi sorusu ile onun bir ilkesi olan 3R'nin birbirine yakın çıkması da araştırmanın objektif bir zeminde yapıldığını kanıtlamaktadır. Katılımcılardan Endüstri 4.0'ı daha önce duyduğunu söylerin oranı ise %45'de kalmış ve üç uygulama arasından en düşük bilinirlik seviyesinde Endüstri 4.0 kavramı çıkmıştır.

4.10.3 Değişkenlere Ait Cronbach's Alfa Değerleri

Örneklemden elde edilen verilerde herhangi bir eksiklik bulunmamakla beraber, nicel analiz yoluyla araştırmanın yapı güvenirliliği testine geçilmiştir. Araştırmanın tutarlık ölçüsü olarak kabul edilen ve 0,7 ve üzeri kabul edilebilir olarak görülen "Cronbach's Alfa" değeri 0,931 olarak bulunmuştur. Ayrıca **Tablo 4.7'**de her değişken için listelenen "Cronbach's Alfa" değerlerinin de 0,9 değerinden yüksek olduğu görülmektedir. Araştırmanın hem geneli için hem de değişkenleri için bulunan "Cronbach's Alfa" değerlerinin yüksek çıkması, iç tutarlılığın yüksek olduğunu göstermektedir.

4.10.4.KMO ("Kaiser-Meyer-Olkin") Testi ve Bartlett Testi

Öncelikle örneklem verilerinin, açıklayıcı faktör analizi kapsamında uygun ve yeterli olması KMO ("Kaiser-Meyer-Olkin") testi ve Bartlett Testi ile belirlenmeye çalışılmıştır.KMO değerinin 0,5 değerinden düşük olması durumunda faktör analizine devam edilemezken, Bartlett Testi'nde ise korelasyon matrisinin anlamlı çıkması gerekir (Kaya, 2013: 180-181; Yaşlıoğlu, 2017: 75). Araştırma kapsamında **Tablo 4.11'**de KMO testinin değeri 0,916 bulunurken, Bartlett Testi ise anlamlı sonuç

vermiştir. KMO ve Bartlett Testi değerlerinin örneklem verilerinin faktör analizi için uygun ve yeterli olduğu görülmektedir.

İlgili Test	Değer
Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)	0,916218
Bartlett Testi	0,000

Tablo 4.11: Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ve Bartlett Testi

4.10.5.Doğrulamalı Faktör Analizi

Doğrulamalı Faktör Analizi 'nde önemli olan korelasyon matrisi ve Ave değeridir. Korelasyon matrisinde iki şey çok önemlidir. Bunlardan ilki faktör yüklerinin birbirleriyle ilişkili olmasıdır, diğeri ise ilişkinin çok yüksek oranda korelasyon göstermemesidir. Model ayırım geçerliliği açısından incelendiğinde, korelasyon matrisinde faktör yükleri arasındaki ilişki değerinin 0,85'den büyük olmaması esastır. Korelasyon matrisinin özelliğini test etmede Bartlett 'in "Küresellik Testi" öne çıkmaktadır ve bu bir kimlik matrisidir. Ayrıca ölçeğin yakınsak geçerliliğinin yeterli olup olmadığının test edilmesinde modeldeki her bir faktörün Ave değerinin 0,5'den fazla olması ve faktörün Composite Reliability (CR) değerinin de Ave değerinden yüksek olması gerekir (Field, 2009: 660; Güleç, 2016: 66). Modelde, Döngüsel faktörün Ave değeri 0,708495 iken CR değeri 0,935732, Sürdürülebilir faktörün Ave değeri 0,593782 iken CR değeri 0,813589 ve son olarak Endüstri faktörünün Ave değeri 0,601199 iken CR değeri ise 0,930771 dir. Söz konusu verilere bakıldığında modelin her faktörünün Ave<CR ve Ave> 0,5 koşulunu sağladığı görülmektedir.

Korelasyon/A ve	Don San.	Don Dongu	Don Opt.	Don Degisim	Don Pay.	Don Yen.	Sur Sosyal	Sur Eko	Sur Cevre	Otonom R.	Bulut Bilişim S.	Entegre S.	3 Boyutlu Y.	Siber- Fizik. S.	Büyük V.	Simülas.	Arttırılmış G.	Nesnelerin İ.	AVE
Don San.	1																		0,7085
Don Dongu	0,769	1																	0,7085
Don Opt.	0,765	0,827	1																0,7085
Don Degisim	0,72	0,692	0,81	1															0,7085
Don Pay.	0,713	0,739	0,84	0,783	1														0,7085
Don Yen.	0,721	0,66	0,74	0,696	0,84	1													0,7085
Sur Sosyal	0,582	0,524	0,61	0,593	0,642	0,604	1												0,5938
Sur Eko	0,589	0,535	0,62	0,553	0,614	0,576	0,865	1											0,5938
Sur Çevre	0,629	0,62	0,67	0,61	0,704	0,669	0,788	0,84	1										0,5938
Otonom R.	0,257	0,199	0,19	0,197	0,233	0,275	0,163	0,16	0,178	1									0,6012
Bulut Bilişim	0,329	0,257	0,33	0,304	0,332	0,364	0,266	0,26	0,302	0,437	1								0,6012
Entegre S.	0,298	0,267	0,28	0,321	0,305	0,309	0,24	0,19	0,249	0,571	0,604	1							0,6012
3 Boyutlu Y.	0,332	0,252	0,3	0,298	0,275	0,316	0,222	0,2	0,202	0,631	0,504	0,631	1						0,6012
Siber-Fizik.S.	0,338	0,238	0,26	0,273	0,236	0,262	0,207	0,2	0,21	0,739	0,527	0,674	0,703	1					0,6012
Büyük V.	0,342	0,271	0,3	0,32	0,282	0,261	0,189	0,17	0,203	0,589	0,556	0,655	0,677	0,774	1				0,6012
Simülas.	0,366	0,26	0,31	0,335	0,292	0,252	0,233	0,23	0,245	0,548	0,483	0,671	0,571	0,66	0,67	1			0,6012
Arttırılmış G.	0,341	0,208	0,25	0,311	0,252	0,274	0,192	0,16	0,218	0,516	0,393	0,566	0,478	0,631	0,636	0,641	1		0,6012
Nesnelerin İ.	0,293	0,214	0,26	0,284	0,33	0,265	0,142	0,11	0,185	0,482	0,413	0,463	0,425	0,514	0,548	0,52	0,618	1	0,6012

Tablo 4.12:Korelasyon Matrisi ve Ave Değerleri

Tablo 4.12'ye bakıldığında, korelasyon matrisindeki her bir faktör yükünün, faktör ilişki değerlerinden daha büyük olduğu görülmekte olup, faktör ilişki değerleri arasında sadece Sürdürülebilir Ekonomik ve Sürdürülebilir Sosyal faktörü arasındaki ilişki değerinin 0,85 değerinden büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca Bartlett Testi'nin anlamlılık düzeyi de 0,00 bulunmuştur. Çıkan sonuçlardan hareketle şunlar söylenebilir:

- Her faktör yükünün kendisiyle diğerlerinden daha yüksek bir ilişkisi vardır.
- Araştırma gerekli yakınsak ve ayırt edici geçerliliğe sahiptir.
- Model iç tutarlılığa ve gösterge güvenilirliğine sahiptir ve Yapısal Eşitlik Modeli'nin uygulanmasına açıktır.

Faktör	Faktör Yüğü	Composite Reliability
Nesnelerin İ.	0,662	0,930771
Arttırılmış G.	0,751	
Simölasyon	0,792	
Büyük V.	0,852	
Siber-Fiziksel S.	0,881	
3 Boyutlu Y.	0,78	
Entegre S.	0,805	
Bulut Bilişim S.	0,643	
Otonom R.	0,781	
Sur Çevre	0,697	0,813589
Sur Eko	0,823	
Sur Sosyal	0,786	
Don Yenileme	0,789	0,935732
Don Paylaşım	0,865	
Don Değişim	0,837	
Don Optimizasyon	0,889	
Don Döngü	0,856	
Don Sanallaştırma	0,811	

Tablo 4.13: Ölçüm Modeli İçin Faktör Yükleri ve Composite Reliability

Doğrulayıcı Faktör Analizinin temel/ana bileşen analizinde, modelin teorik çerçevesinin başlangıç aşamasını belirlemeye yönelik 18 değişken belirlenmiş ve değişkenlere ait faktör yükleri ve Composite Reliability değerleri **Tablo 4.13'**de verilmiştir. **Tablo 4.13** incelendiğinde, Ghadi vd. (2012: 140) yaptıkları çalışmada, Composit Reliability değerinin geçerliliğiyle ilgili görüşlere yer verirken, CR değerinin minimum geçerliliği için 0,5 değerini baz almışlar ve 0,7 değerini ise iyi bir

düzey olarak belirtmişlerdir. Gürbüz ve Şahin (2018: 320) yaptıkları çalışmada faktör analizlerine yönelik asgari değerin 0,5 olmasını, 0,5-0,6 değerinin normal, 0,6-0,7 değerinin iyi 0,7 ve üzeri faktör yüklerinin ise mükemmel olduğunu belirtmişlerdir. Buradan hareketle çalışmada hem Composit Reliability değerlerinin 0,8-0,93 aralığında olması hem de faktör yüklerinin 0,6'dan 0,89'a uzanmasından dolayı her yapının/belirlenen değişkenin kendi yapısıyla/değişkeniyle diğerlerinden daha güçlü bir şekilde ilişkisi vardır. Diğer açıdan bakıldığında ise ölçüm modelindeki yapıların farklı olduğu ve tüm yapıların yeterli ayırt edici geçerliliğe sahip olduğu anlaşılmıştır.

4.10.6.Uyum İyiliği İndisleri

Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi 'nin Sürdürülebilir Performans üzerindeki etkisini belirlemek için oluşturulan ölçüm modeline Yapısal Eşitlik Modeli uygulanmıştır. Veri ile model arasındaki uyumu ölçmek amaçlı “Uyum İyiliği İndisleri” nin bulunması ve asgari düzeyleri ile karşılaştırılması önem arz etmiştir. Veri ile model arasında uyumun izlenmesinde CMİN/ki-kare(χ^2), Uyum iyiliği indeksi (GFI), Düzeltilmiş uyum iyiliği indeksi (AGFI), Normlaştırılmış uyum indeksi (NFI), Karşılaştırmalı uyum indeksi (IFI), Yaklaşık hataların ortalaması (RMSEA), Serbestlik derecesi (Df) gibi uyum iyiliği indisleri kullanılmaktadır (Yücel ve Yeniçeri,2009:150). Uyum iyiliği indislerinin asgari değerleri ve çalışmada bulunan uyum iyiliği indislerine ait sayısal veriler **Tablo 4. 14**'de verilmiştir.

Uyum İyiliği İndisleri	Kabul Edilebilir Değer	Bulunan Değer
CMIN (χ^2)		368,851
Df		130
χ^2 /Df	<3	2,837
GFI	> 0.80	0,883
AGFI	>0.80	0,846
CFI	>0.90	0,949
RMSEA	<0.08	0,078
NFI	>0.90	0,924
IFI	>0.90	0,95

Tablo 4.14: Uyum İyiliği İndislerinin Karşılaştırılması

Araştırmadan elde edilen sonuçlara bakıldığında, veri ile model arasında uyumu test eden göstergelerden birisi olan CMİN indisi anlamlı ($p=0,000$) çıkmıştır. Uyumun sadece CMİN göstergesine bakılarak test edilmesi olanaklı olmayacağı için diğer

uyum indislerinin de incelenmesi şarttır. **Tablo 4. 14'**deki diğer uyum indisleri incelendiğinde bulunan değerlerin, kabul edilebilir değerlerin içinde olduğu görülmekte olup, veri ile modelin uyumlu olduğu sonucuna varılmaktadır.

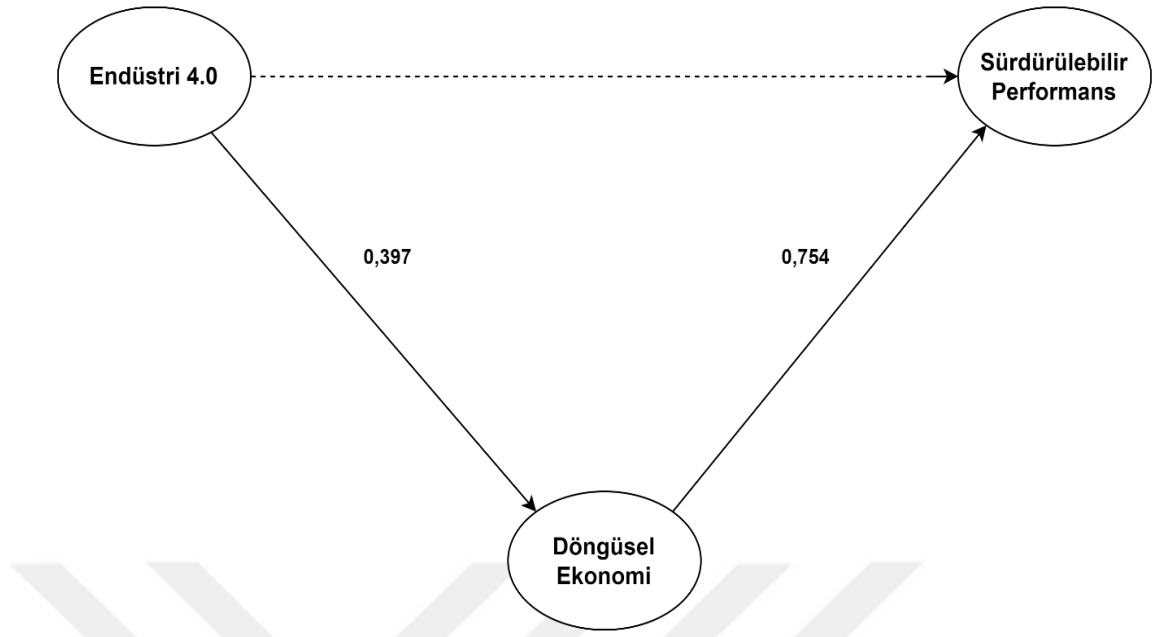
4.10.7.Yol-Regresyon Analizi

Yapısal Eşitlik Model'ine dayalı olarak kurulan modelin, **Tablo 4. 14'**deki uyum indislerinin asgari değerlerini karşılaması ve geçmesi modelin, Yapısal Eşitlik Model'ine uyum sağladığının kanıtıdır. Araştırma kapsamında üç değişken arasında belirlenmek istenen ilişki boyutları p (anlamlılık düzeyi) $=0,05$ düzeyinde, Standart Regresyon Ağırlığı(β) değerlerine göre **Tablo 4. 15'**de verilmiştir. **Tablo 4. 15** 'de Endüstri 4.0 ile Döngüsel Ekonomi ilişkisi $p<0,001$ ve $\beta=0,397$, Endüstri 4.0 ile Sürdürülebilir Performans ilişkisi $p=0,608$ ve $\beta=-0,025$, son olarak ise Döngüsel Ekonomi'yle Sürdürülebilir Performans arasındaki ilişki $p<0,001$ ve $\beta=0,754$ çıkmıştır. Buradan hareketle araştırma konusuna kaynaklık teşkil eden üç değişkenin birbirleriyle ilişkisinde; Döngüsel Ekonomi ile Sürdürülebilir Performans arasında ve Endüstri 4.0 ile Döngüsel Ekonomi arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki tespit edilirken Endüstri 4.0 ile Sürdürülebilir Performans arasında ilişki bulunamamıştır. İlişkiye ait model **Şekil 4. 5'**de verilmiştir.

Akış	Standart Regresyon Ağırlığı(β)	Standart Hata	Kritik Oran	Anlamlılık Düzeyi(p)
Döngüsel E. ←Endüstri 4.0	0,397	0,1	5,98	***
Sürd.Perfm. ← Endüstri 4.0	-0,025	0,09	-0,513	0,608
Sürd.Perfm. ← Döngüsel E.	0,754	0,076	12,31	***

*** $p<0.001$

Tablo 4.15: Modelin Regresyon Ağırlıklarına İlişkin Verisi



Şekil 4. 5: Yapısal Eşitlik Model’ine göre Modelin Analiz Sonucu

Araştırma kapsamında değişkenler arasında doğrudan ilişki olabileceği gibi dolaylı ilişki de olabilir. Araştırmada Endüstri 4.0’ın Sürdürülebilir Performans üzerinde doğrudan bir etkisi bulunamamıştı. Endüstri 4.0’ın Sürdürülebilir Performans üzerinde Döngüsel Ekonomi üzerinden bir etkisi var mı sorusu, dolaylı bir etkiye örnektir. Endüstri 4.0’ın Döngüsel Ekonomi üzerinden Sürdürülebilir Performans’a yönelik etkisini belirlemek için Dolaylı Etki Analizi (İndirect Effects) yapılmış ve analize ilişkin veri **Tablo 4. 16**’da verilmiştir. **Tablo 4. 16**’daki veri incelendiğinde Endüstri 4.0’ın Döngüsel Ekonomi üzerinden Sürdürülebilir Performansa etkisi p (anamlılık düzeyi) =**0,05**’de anlamlı bulunmuş ve Endüstri 4.0’ın dolaylı yünden Sürdürülebilir Performansa pozitif ve anlamlı bir ilişki etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak çalışma kapsamında oluşturulan, Endüstri 4.0 ile Sürdürülebilir Performans arasında oluşturulan H1 hipotezi ilişki olmadığından dolayı reddedilmiştir. Döngüsel Ekonomi ile Sürdürülebilir Performans arasında doğrudan bir ilişki olduğundan H2 hipotezi kabul edilmiş, ayrıca Endüstri 4.0 ile Sürdürülebilir Performans arasında dolaylı bir ilişki olduğundan H3 hipotezi de kabul edilmiştir. **Şekil 4.5**’e Endüstri 4.0’ın Sürdürülebilir Performans’a dolaylı etkisi de dahil edilmiştir.

Dolaylı Etki	Tahmin	En Aşağı	En Yukarı	P (Anlamlılık Düzeyi)
Endüstri 4.0→ Döngüsel E.	0,561	0,453	0,732	***

*** p<0.001

Tablo 4. 16: Endüstri 4.0'ın Döngüsel Ekonomi Üzerinden Sürdürülebilir Performansa Etkisi



5.DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Günümüz dünyasında tüketici tercihlerinin ön plana çıktığı, toplumsal bilinçlenmenin artarak işletmeleri daha çevreci ve sosyal boyutlara zorladığı bir ortam vardır. Küreselleşmeyle birlikte irili ufaklı pek çok işletmenin bile uluslararası pazarlara girebilmesinin önünün açılmasıyla, işletmeler arası rekabet hızlanmış ve işletmeler için hayatta kalma durumu daha kritik bir hal almıştır. Yaşanan gelişmeleri dikkate alan işletmeler, önceleri performans göstergesi olarak önlerine sadece ekonomik göstergeleri koyarken, şimdilerde ise ekonomik göstergenin yanına sosyal ve çevresel göstergeleri de ilave etmektedir. Üç göstergenin bir araya geldiği Sürdürülebilir Performans göstergesi işletmeler için olduğu kadar ülke ekonomileri için de son derece önemlidir. Sürdürülebilir Performansın üç gösterge boyutunun olduğu ve bunları çevre, ekonomi ve sosyal bileşenlerin oluşturduğu bilinmektedir. Ekonomik gösterge kısmı işletmelerin maliyet tasarrufu sağlamaları ve kâr elde etmeleri hedefinden hareketle ham madde ve enerji kullanımında tasarrufu baz alırken, çevre göstergesi kısmı ise işletmelerin zararlı ve toksik madde kullanmamaları ve atık oluşturmamalarıyla çevreye yarar gözetirken, sosyal gösterge kısmı ise toplumların ve bireylerin sağlık ve sosyal gibi alanlarda desteklenmesini baz almaktadır. Üç göstergenin toplamda ülke geneline faydası düşünüldüğünde;

- Ülkelerin ekonomilerine pozitif etki yaparak ham madde ve enerji bağımlılığını azaltma,
- Çevresel bozulmaların önlenmesini ve bozulan biyolojik yaşam çevriminin geri kazanılmasını sağlama,
- Toplumların sağlığını ve yaşamını güvenceye alma,
- Toplumların ve bireylerin çevresel, sosyal ve ekonomik anlamda gelişimlerinin önünün açılmasıyla, ekonomik refahın çevre ve sosyal yapılarla dengelenmesinin sağlanması,

gibi etkilerin, ülkelere büyük katma değer yaratacağı açıktır. Gelecek zamanlarda önemi daha da artacak olan Sürdürülebilir Performansın gelişimine ışık tutacak uygulamalar ise son derece önemlidir. Sürdürülebilir Performansın gelişimine ışık tutan uygulamalardan hareket edildiğinde, son zamanlarda Sürdürülebilir Performansla ilişkilendirilen iki kavram olan Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi kavramları öne çıkmakta olup, araştırmaya da kaynak teşkil etmiştir. Endüstri 4.0

kavramı, tüm süreçlerin, birbirleriyle haberleşen ve koordineli makineler eliyle yapıldığı, insan etkisinin mümkün olduğunca yalıtıldığı ve böylece atık minimizasyonunun sağlandığı ve üretim kayıplarının telafi edildiği bir sistem sunarken, Döngüsel Ekonomi ise 3R kavramını baz alan (Geri kullanım, Geri dönüşüm ve Azaltım) ve çevrimler yoluyla ham madde ve enerji kullanımının azaltıldığı, çevresel atıkların minimize edildiği ve istihdam olanağı yaratan bir sistem sunmaktadır. Her iki kavramın Sürdürülebilir Performans ile ilişkileri görülmüş ve araştırma kapsamında incelenmeleri sağlanmıştır.

Çalışmada, Döngüsel Ekonomi ile Sürdürülebilir Performans arasında ve Endüstri 4.0 ile Döngüsel Ekonomi arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Endüstri 4.0 'ın Sürdürülebilir Performans üzerinde Döngüsel Ekonomi üzerinden dolaylı bir etkisinin olduğu da anlaşılmıştır. Latan vd. (2020), Alonso-Martinez vd. (2021), Gupta vd. (2021), Hadi ve Baskaran (2021) ile Fernando vd. (2019) adlı araştırmacılar, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Performans arasında bir anlamlı ilişki tespit etmişler ve yapılan araştırmada ortaya çıkan sonuç ise araştırmacıları doğrulamıştır. İvanov vd. (2016), Lom vd. (2016), Wollschlaeger vd. (2017), Zhou vd. (2015) gibi çeşitli araştırmacıların öne sürdüğü Döngüsel Ekonomi ile Endüstri 4.0 arasında anlamlı bir ilişki olduğu fikrini ise araştırmadan ortaya çıkan sonuçlar desteklemektedir.

Araştırma kapsamında her ne kadar Endüstri 4.0 ile Sürdürülebilir Performans arasında anlamlı bir ilişki çıkmasada; Latan vd. (2020), Agrawal vd. (2021) ile Gupta vd. (2021) adlı araştırmacıların öne sürdükleri, Endüstri 4.0'ın Sürdürülebilir Performansın başarılmasında Döngüsel Ekonomi' yi pozitif etkilediği ve dolaylı yünden Sürdürülebilir Performansı arttırdığı görüşü araştırma kapsamında incelenmiş ve doğrulanmıştır. Endüstri 4.0, Döngüsel Ekonomi üzerinden Sürdürülebilir Performansı etkilemektedir. Yapılan çalışma ve ortaya çıkan sonuçlar göstermektedir ki, Sürdürülebilir Performansın başarılması için Döngüsel Ekonomi uygulamalarına gereksinim olduğu kadar Endüstri 4.0 kavramına ve teknolojilerini de ihtiyaç vardır. Döngüsel Ekonomi'nin her ne kadar Sürdürülebilir Performansı arttırdığı görülmüşse de, Endüstri 4.0 olmaksızın Sürdürülebilir Performans göstergesine etkisinin az olacağı aşikardır. Çünkü Döngüsel Ekonomi kapsamında Resolve modelinin ana ilkelerine bakıldığında ürünlerin yenilenmesinden, geri dönüşüm faaliyetlerine,

verimlilik artışlarından, yeni teknolojiler kullanılmasına kadar hemen hepsi Endüstri 4.0 kavramını çağrıştırmaktadır. Ortaya çıkan sonuç ise Rosa vd. (2019) adlı araştırmacıların öne sürdüğü Endüstri 4.0'ın Döngüsel Ekonomi 'nin uygulanmasını kolaylaştırdığı fikrini de doğrulamaktadır.

Araştırmadan ortaya çıkan sonuçlar göstermektedir ki, günümüzde git gide önemi artan Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Performans uygulamalarının artırılmasında ve desteklenmesinde, Döngüsel Ekonomi ve Endüstri 4.0 kavramları öne çıkmaktadır. İşletmelerde kaynak çevrimlerine öncelik vererek ve biyolojik döngüleri kullanarak atık oluşumunu asgari düzeyen indiren Döngüsel Ekonomi, çevre göstergesini sağlarken, işletmelerde geri dönüşüm, geri kullanım ve azaltım(3R) ile ham madde ve enerji maliyetlerini azaltarak ekonomik göstergesi sağlamakta, ayrıca tüketici bilincini arttırıp, istihdama katkı sağlayarak sosyal göstergesiye de katkı sunmaktadır. O halde, Sürdürülebilir Performansı başarmak adına hevesli olan bir işletmenin Döngüsel Ekonomi'yi göz ardı etmesi olanaksız hale gelmektedir. Döngüsel Ekonomi'yi bünyesine alan ve Sürdürülebilir Performansını arttırmayı hedefleyen bir işletmenin ise Endüstri 4.0 kavramını düşünmemesi ise imkansızdır. Rajput ve Singh (2019)'e göre, Döngüsel Ekonomi'nin uygulanması noktasında yaşanacak bir zorluk Sürdürülebilir Performansın başarılmasına da imkân vermeyecektir. Sonuç olarak, Sürdürülebilir Performansın başarılması için Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi kavramlarının beraber düşünülmesi önem arz etmektedir. Araştırma kapsamında ortaya çıkan Döngüsel Ekonomi ile Sürdürülebilir Performans ilişkisi ve Endüstri 4.0 ile Sürdürülebilir Performans ilişkisi Rajput ve Singh (2019) adlı araştırmacıları doğrulamaktadır.

Döngüsel Ekonomi'yi benimseyen ve bünyesine dahil eden işletmeler, Döngüsel Ekonomi 'nin bünyelerinde uygulanmasını kolaylaştırmak ve işlerlik kazandırmak için Endüstri 4.0 kavramını da düşünmek zorunda kalacaklardır. İşletmelerin Döngüsel Ekonomi 'yi ve Endüstri 4.0'ı uygulamaya almasıyla, Sürdürülebilir Performansı başarmalarına mâni kalmayacaktır. Çünkü Döngüsel Ekonomi, Sürdürülebilir Performansı doğrudan etkilerken Endüstri 4.0 ise etkinin dozunu arttırmakta ve etkiyi sağlamlaştırmaktadır. Sürdürülebilir Performansını ileri düzeye taşıyan işletmelerin ise hayatta kalma becerileri yükselecek ve işletmeler; ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan üçlü bir başarı skalasına sahip olacaktır. Özelden genele gidildiğinde ise

Sürdürülebilir Performans gözeten işletmelerin sayısının artmasıyla, ülkelerin ham madde ve enerji konusunda dışa bağımlılığı azalacak, çevresel yıkımlar önlenecek, sağlıklı toplumlar oluşacak ve sosyal bilinç ise artacaktır.



KAYNAKÇA

- Açıkalin, N. (2020). Sürdürülebilir Pazarlama Bakış Açısı ile Döngüsel Ekonomi İncelemesi. *Sakarya İktisat Dergisi*,9(3),238-257
- Adams, K., T., vd. (2017). Circular Economy İn Construction: Current Awareness, Challenges And Enablers. *Waste and Resource Management*,170,15-24
- Adebisi, J.A. (2013). Fundamentals Of Computer Studies. *www.resarchgate.com*,1-59
- Agrawal, R., vd. (2021). Nexus Of Circular Economy And Sustainable Business Performance İn The Era Of Digitalization. *International Journal of Productivity and Performance Management*,1-27
- Akbaba, A., İ. ve Akbulut, E. (2021). 3 Boyutlu Yazıcılar Ve Kullanım Alanları, *ETÜ Sentez İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*,3,19-46
- Aksoy, B., vd. (2017). Büyük Verinin Kurumlarda Kullanımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*,22(15),1915-1920
- Aktan, E. (2018). Büyük Veri: Uygulama Alanları, Analitiği ve Güvenlik Boyutu. *Bilgi Yönetimi Dergisi*,1(1),1-22
- Aktaş, F., vd. (2016). Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Biyomedikal Alanındaki Uygulamaları, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*,4,37-54
- Alçın, S. (2016). Üretim için yeni bir izlek: sanayi 4.0. *Journal Of Economics*,3(2), 19-30
- Aliyu, U.L. (2018). Location of Industry. *Intellectual Achieve Journal*,7(6),23-27.
- Alonso-Martinez, D., vd. (2021). The Sustainability Performances Of Sustainable Business Models. *Journal of Cleaner Production*,323,1-11
- Altınpulluk, H. (2018a). Artırılmış Gerçekliği Anlamak: Kavramlar ve Uygulamalar. *Açık öğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*,1(4),123-131
- Altınpulluk, H. (2018b). Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Eğitim Ortamlarında Kullanımı. *Açık öğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*,4(1),94-111
- Altıntaş, K. ve Öcal, F.M. (2018). Dördüncü Sanayi Devriminin Emek Piyasaları Üzerindeki Olası Etkilerinin İncelenmesi ve Çözüm Önerileri. *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*,8(8),2528-9527
- Altunışık, R, R, R. (2015). Büyük Veri: Fırsatlar Kaynağı mı Yoksa Yeni Sorunlar Yumağı mı? *Yıldız Social Science Review*,1(1),45-76
- Amin, D. ve Govilkar, S. (2015). Comparative Study of Augmented Reality Sdk's. *International Journal on Computational Sciences & Applications*,5(1),11-26
- Arısoy, Ö. (2009). İnternet Bağımlılığı ve Tedavisi. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*,1,55-67
- Armellini, F., vd. (2020). Simulation in İndustry 4.0: A state-of-the-art Review. *Computers & Industrial Engineering*,149,1-17
- Aso. (2017). Asansör Sektörü. Ankara
- Atık, H. ve Ünlü, F. (2019). Endüstri 4.0'a Dönüşüm Süreci: Avrupa Birliği Ülkelerinin Performansı Üzerine Ampirik Bir Analiz, *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi*,27(1),145-168
- Azapagic, A. ve Perdan S. (2000). Indicators of Sustainable Development for Industry: A General Framework. *Process Safety and Environmental Protection*,78(4),243-261
- Azuma, R., T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Teleoperators and Virtual Environments*,6(4),1-48

- Bag, S.ve Pretorius, J., H., C. (2020). Relationships Between Industry 4.0, Sustainable Manufacturing And Circular Economy: Proposal Of A Research Framework. *International Journal of Organizational Analysis*,1-35
- Balbay, Ş., vd. (2021). Dünya’da ve Türkiye’de “Döngüsel Ekonomi / Endüstriyel Sürdürülebilirlik” Yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*,27,557-569
- Balcıoğlu, İ., The Impact Of Agricultural Cooperatives On Circular Economy And Sustainability In The Context Of Food Supply Chain Models, Yüksek Lisans Tezi, Yaşar Üniversitesi,2021
- Banger, G. (2018). Endüstri 4.0 ekstra (2. baskı). Ankara: Dorlion yayınları.
- Bek, D. ve Lim, M. (2018). The Circular Economy: The Circular Economy A Key Approach for Addressing Strategic Challenges in Supply Chains. *Social Business*,8,95-102
- Berberoğlu, E., O. ve Uygun S. (2012). Çevre Farkındalığı- Çevre Tutumu Arasındaki İlişkinin Yapısal Eşitlik Modeli İle Sınanması. *Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*,25(2),459-473
- Bhardwaj,S., vd.(2010).Cloud Computing: A Study of Infrastructure as a Service (IaaS). *International Journal of Engineering and Information Technology*,2(1),60-63
- Bovea, M., D.ve Pérez-Belis, V. (2018). Identifying Design Guidelines To Meet The Circular Economy Principles: A Case Study On Electric And Electronic Equipment. *Journal of Environmental Management*,228,483-494
- Bradley, J., M. ve Atkins, E., M. (2015). Optimization and Control of Cyber-Physical Vehicle Systems, www.mdpi.com/journal/sensors, 15(9), 23020-23049
- Bressanelli, G., vd.(2018). Exploring How Usage-Focused Business Models Enable Circular Economy through Digital Technologies. *Sustainability*,10(3),1-21
- Bulut, E. (2017). Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi, *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*,4(7),55-77
- Büyüköztürk, Ş., vd. (2020). Eğitimde Bilimsel Araştırma Yöntemleri. Ankara. Pegem Akademi
- Can, F. (2017). Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Boyutları. *International Journal of Academic Value Studies (Javstudies)*,3(10),138-146
- Carmigniani, J. ve Furth, B. (2011). *Handbook of Augmented Reality*. New York. Springer Link
- Center for Sustainable Systems. (2002). Sustainability Assessment And Reporting for The University of Michigan's Ann Arbor Campus. Michigan
- Cerf, V., G., vd. (2009). A Brief History Of The Internet. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*,39(5),22-31
- Chan,K.,H., vd.(2018). The impact of 3D Printing Technology on the supply chain: Manufacturing and legal perspectives. *International Journal of Production Economics*,205,156-162
- Chauhan, A., vd. (2021). The Interplay Of Circular Economy With Industry 4.0 Enabled Smart City Drivers Of Healthcare Waste Disposal. *Journal of Cleaner Production*,279,1-9
- Cheng,C., C. ve Shiu, E., C.(2012). Validation of A Proposed Instrument For Measuring Eco-Innovation: An Implementation Perspective. *Technovation*,32(6),329-344
- Chong, S., vd. (2018). Integration of 3D Printing and Industry 4.0 into Engineering Teaching. *Sustainability*,10(11),1-13

- Clark,G.(2005). The British Industrial Revolution, 1760-1860. World Economic History,1-65
- Çark, Ö., vd. (2019). Sanayi 4.0 Kapsamında İşletmeler Açısından Büyük Veri. International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies,3(2),114-120
- Çelebi F. ve Bulut Y. (2016). Kurumsal Kaynak Planlaması (Erp) ve Erp Yazılımı Kullanan Bir İşletmenin İncelenmesi. Akademik Bakış Dergisi,57,166-177
- Çelen, S. (2017). Sanayi 4.0 ve Simülasyon. International Journal Of 3d Printing Technologies And Dıgıtal Industry,1(1),9-26
- Çevik, G. Z., Endüstri 4.0 Bağlamında Türkiye'nin Yerine İlişkin Güncel ve Gelecek Eksenli Bir Analiz, Yüksek Lisans Tezi, Nişantaşı Üniversitesi,2018
- Çirkin, E. ve Özdağoğlu, A. (2021). Endüstri 4.0 Bünyesindeki Otonom Robotların Sürdürülebilirlik Perspektifleri Açısından Değerlendirilmesi, Erciyes Akademi,35(4), 1534-1553
- Dantas, T., E., T., vd. (2021). How The Combination Of Circular Economy And Industry 4.0 Can Contribute Towards Achieving The Sustainable Development Goals. Sustainable Production and Consumption,26,213-227
- Davutoğlu, N.A. (2020). Üçüncü ve Dördüncü Sanayi Devrimleri Arasındaki Temel ve Sistematik Farklılıkların Determinist Bir Yaklaşımla Analizi, Management and Political Sciences Review,1(2),176-194
- Davutoğlu, N., A. (2021). Sanayi 4.0 Uygulamalarının Dünyadaki ve Türkiye'deki Sektörler Açısından Detaylı Analizi. Uluslararası Sosyal ve Beşerî Bilimler Araştırma Dergisi,8(67),795-811
- Doberstein, B. ve Geng, Y. (2010). Developing The Circular Economy in China: Challenges and Opportunities for Achieving 'Leapfrog Development'. The International Journal of Sustainable Development & World Ecology,15(3),231,239
- Doğan, K. ve Arslantekin, S. (2016). Büyük Veri: Önemi, Yapısı ve Günümüzdeki Durum. DTCF Dergisi,56(1),15-36
- Doğru, N., B. ve Meçik, O. (2018), Türkiye'de Endüstri 4.0'ın İşgücü Piyasasına Etkileri: Firma Beklentileri, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,1581-1606
- Drljača, M. (2015). The Transition From Linear To Circular Economy (Concept Of Efficient Waste Management). International Conference, Proceedings Book Quality System Condition for Successful Business and Com-petitiveness, Association for Quality and Standardization of Serbia,35-44
- Dursun, Y. ve Kocagöz, E. (2010). Yapısal Eşitlik Modellemesi ve Regresyon: Karşılaştırmalı Bir Analiz. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,35,1-17
- Elisha, O., D. (2020). Moving Beyond Take-Make-Dispose To Take-Make Use For Sustainable Economy. International Journal of Scientific Research in Education,13(3),497-516
- Ellen MacArthur Foundation. (2013a). Towards To Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. İngiltere
- Ellen MacArthur Foundation. (2013b). Towards To Circular Economy: Opportunities for the Consumer Goods Sector.İngiltere
- Ellen MacArthur Foundation. (2015a). Towards to Circular Economy: Business Rationale for An Accelerated Transition.İngiltere

- Ellen MacArthur Foundation. (2015b). Growth Within: A Circular Economy Vision For a Competitive Europe. İngiltere
- Ellen MacArthur Foundation. (2016). Delivering The Circular Economy: A Toolkit For Policymakers. İngiltere
- Erbil, M. (2017). Yapısal Eşitlik Modellemesi: Tanımlar ve Regresyondan Ayrılan Noktalar. www.researchgate.net, 1-17
- European Investment Bank. The EIB Circular Economy Guide. 2020. Luxembourg
- Fernando, Y., vd. (2019). Pursuing Green Growth In Technology Firms Through The Connections Between Environmental Innovation And Sustainable Business Performance: Does Service Capability Matter? *Resources, Conservation & Recycling*, 141, 8-20
- Field, A. (2009). *Discovering Statistics Using Sps*. Londra. Sage Publications Ltd.
- Fitzsimmons, J. (1994). Information Technology and The Third Industrial Revolution. *The Electronic Library*, 12(5), 295-297.
- Fraccascia, L., vd. (2019). Business Models For The Circular Economy: Opportunities And Challenges. *Business Strategy And The Environment*, 28(2), 430-432
- Gelmez, E. ve Yılmaz, N. (2021). Endüstri 4.0 Bakışıyla Üretim Yönetimi. Konya Çizgi Kitabevi
- Geissdoerfer, M., vd. (2017). The Circular Economy-A New Sustainability Paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768
- Geissler, B., vd. (2018). Striving Toward A Circular Economy For Phosphorus: The Role Of Phosphate Rock Mining. www.mdpi.com, 8(359), 1-22
- Ghadi, İ., vd. (2012). Construct Validity Examination of Critical Thinking Dispositions for Undergraduate Students in University Putra Malaysia. www.ccsenet.org/hes, 2(2), 138-145
- Ghisellini, P., vd. (2016). A Review On Circular Economy: The Expected Transition to A Balanced Interplay of Environmental and Economic Systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32
- Global Reporting Initiative. (2013). G4 Sustainability Reporting Guidelines. Amsterdam
- Govindan, K. ve Hasanagic, M. (2018). A Systematic Review On Drivers, Barriers, And Practices Towards Circular Economy: A Supply Chain Perspective. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 278-311
- Gönenç, E.Ö. (2012). İnternet ve Türkiye'deki Gelişimi. *İletişim Fakültesi Dergisi*, 16(0), 87-98
- Görçün, Ö., F. (2020). Dördüncü Endüstri Devrimi: Endüstri 4.0. İstanbul. Beta Yayınevi
- Görkem, L. ve Bozuklu, M. (2016). Nesnelerin İnterneti: Yapılan Çalışmalar ve Ülkemizdeki Mevcut Durum, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 13, 47-68
- Greyson, J. (2007). An Economic Instrument For Zero Waste, Economic Growth and Sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 15, 1382-1390
- Gue, V., H., İ., vd. (2020). Sector Perception of Circular Economy Driver Interrelationships. *Journal of Cleaner Production*, 276, 1-10
- Gupta, H., vd. (2021). Industry 4.0, Cleaner Production And Circular Economy: An Integrative Framework For Evaluating Ethical And Sustainable Business Performance Of Manufacturing Organizations. *Journal of Cleaner Production*, 295, 1-18

- Güleç, E. (2016). Kullanım ve Doyumlar Yaklaşımının Sosyal Medya Kullanım Niyeti ve Turistik Deneyim Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi
- Gündüz, M., Z. ve Daş, R. (2018). Nesnelerin İnterneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(2), 327-335
- Gürbüz, S.(2021).Amos İle Yapısal Eşitlik Modellemesi.Ankara.Seçkin Yayınları.
- Gürbüz, S. ve Şahin, F. (2018). Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri. Ankara. Seçkin Yayıncılık
- Güran, T. (2013). İktisat Tarihi. Eskişehir. Anadolu Üniversitesi Web-Ofset Yayınevi.
- Hadi, S. ve Baskaran, S. (2021). Examining Sustainable Business Performance Determinants İn Malaysia Upstream Petroleum Industry. Journal of Cleaner Production,294,1-12
- Haradan, M. (2019a). The Second Industrial Revolution has Brought Modern Social and Economic Developments. Journal of Social Sciences and Humanities,6(1),1-14.
- Haradhan, M. (2019b). The First Industrial Revolution: Creation of a New Global Human Era. Journal of Social Sciences and Humanities,5(4),377-387
- Hart, J., vd. (2019). Barriers and Drivers in A Circular Economy: The Case of The Built Environment. 26th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference,80,619-624
- Haupt, M., vd. (2016). Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy?: Insight into the Swiss Waste Management System, Journal of Industrial Ecology, 21(3),615-627
- Herrmann, F. (2018). The Smart Factory and Its Risks, www.mdpi.com/journal/systems,6(38),1-15
- Hina, M., vd. (2022). Drivers And Barriers of Circular Economy Business Models: Where We Are Now, and Where We Are Heading. Journal of Cleaner Production,333,1-18
- Hofmann, E. ve Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 And The Current Status as well as Future Prospects On Logistics, Computers in Industry,23-34
- Homrich, S., A., vd. (2018). The Circular Economy Umbrella: Trends And Gaps On Integrating Pathways. Journal of Cleaner Production,175,525-543
- Hozdić, E. (2015). Smart Factory For Industry 4.0: A Review. International Journal of Modern Manufacturing Technologies,7(1),28-35
- Huo,B., vd.(2019). Green Or Lean? A Supply Chain Approach To Sustainable Performance. Journal of Cleaner Production,216,152-166
- Idg Communications. (2020). IDG Cloud Computing Survey.Abd
- Ilić,M. ve Nikolić,M.(2016). Drivers For Development of Circular Economy – A Case Study of Serbia. Habitat International,56,191-200
- Jabbour, C., J., C., vd. (2019). Unlocking The Circular Economy Through New Business Models Based on Large-Scale Data: An Integrative Framework and Research Agenda. Technological Forecasting and Social Change,144,546-552
- Jamaludin, J. ve Rohani, J., M. (2018). Cyber-Physical System (CPS): State of the Art.2018 International Conference on Computing, Electronic and Electrical Engineering,1-5
- Jamwal, A. (2020). Development of cyber physical system based manufacturing system design for process optimization, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,1-11

- Jawahir, I., S. ve Bradley, R. (2016). Technological Elements Of Circular Economy And The Principles Of 6R-Based Closed-Loop Material Flow In Sustainable Manufacturing. *www.sciencedirect.com*,40,103-108
- Jeroen, P.J. ve Bruijn, E. (2015). Innovation Lessons From 3-D Printing. *IEEE Engineering Management Review*, 42(4),86-94
- Jiao, W. ve Boons, F.(2014). Toward A Research Agenda For Policy Intervention and Facilitation To Enhance Industrial Symbiosis Based on A Comprehensive Literature Review. *Journal of Cleaner Production*,67,14-25
- Kagermann, H., vd. (2013). Recommendations For Implementing The Strategic Initiative “INDUSTRIE 4.0”.Frankfurt,1-79
- Kalmykova, Y., vd.(2018). Circular Economy – From Review of Theories and Practices to Development of Implementation Tools. *Resources, Conservation and Recycling*,135,190-201
- Kamaludin, N. ve Mulyanti, B. (2020). Cyber Physical System in the Industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*,830(3),1-8
- Kamble,S., S. vd.(2020). Achieving Sustainable Performance in A Data-Driven Agriculture Supply Chain: A Review for Research And Applications. *International Journal of Production Economics*,219,179-194
- Kaya, M., F. (2013). Sürdürülebilir Kalkınmaya Yönelik Tutum Ölçeği Geliştirme Çalışması. *Marmara Coğrafya Dergisi*,28,175-193
- Kennedy, P. (1988).The Rise and Fall of The Great Powers.Londra.Biddles Ltd,Guildford and King’s Lynn
- Kıraç, B.A. (2001). Türkiye’deki Tarihi Sanayi Yapılarının Günümüz Koşullarına Göre Yeniden Değerlendirilmeleri Konusunda Bir Yöntem Araştırması, Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi
- Kirchherr, J., vd. (2017). Breaking the Barriers to the Circular Economy. *Universiteit Utrecht*,1-13
- Kirchherr, J. ve Piscicelli, L. (2019). Towards an Education for the Circular Economy (ECE): Five Teaching Principles and a Case Study.*Resources, Conservation&Recycling*,150,1-12
- Koca, D. (2020), Sanayi Devrimlerinin Tarihsel Arka Planı ve İşgücü Becerileri Üzerindeki Yansımaları. *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*,16(31),4531-4558
- Korhonen, J., vd. (2018a). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*,143,37-46
- Korhonen J., vd. (2018b). Circular Economy As An Essentially Contested Concept. *Journal of Cleaner Production*,175,544-552
- Kozal, Ö., E. ve Barbaros, R., F. (2019). Türkiye’de Sanayi 4.0 Dönüşümünün Olanakları ve Kısıtları Üzerine Bir Değerlendirme. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*,10(2),19-42
- Kutup, N. (2011). Nesnelerin İnterneti; 4H Her yerden, Herkesle, Her zaman, Her nesne ile bağlantı. XVI. Türkiye’de İnternet Konferansı
- Küçükkalay, A.M. (1997), Endüstri Devrimleri ve Ekonomik Sonuçlarının Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* ,2(2),51-68
- Laghari, A., A., vd. (2021). A Review and State of Art of Internet of Things (IoT), *Archives of Computational Methods in Engineering*,1-19

- Larbi-Siaw, O., vd. (2022). Eco-Innovation, Sustainable Business Performance And Market Turbulence Moderation In Emerging Economies. *Technology in Society*,68,1-15
- Laskurain-Iturbe, I., vd. (2021). Exploring The Influence Of Industry 4.0 Technologies On The Circular Economy. *Journal of Cleaner Production*,101,176-190
- Latan, H., vd. (2020). Stakeholders, Innovative Business Models For The Circular Economy And Sustainable Performance Of Firms In An Emerging Economy Facing Institutional Voids. *Journal of Environmental Management*,264,1-12
- Laudon, C., K. ve Laudon, P., J. (2014). *Management Information Systems*. İngiltere. Pearson Education Limited
- Lee, J. (2015). Smart Factory Systems. *Informatik Spektrum*,38(3),230-235
- Lewandowski, M. (2016). Designing the Business Models for Circular Economy—Towards the Conceptual Framework. *Sustainability*,8(1),1-28
- Lieder, M. ve Rashid, A. (2016). Towards Circular Economy Implementation: A Comprehensive Review in Context of Manufacturing Industry. *Journal of Cleaner Production*,115,36-51
- Litter, C., R. (1978). Understanding Taylorism. *The British Journal of Sociology*,29(2),185-202
- Liu, Q., vd. (2009). A Survey And Analysis On Public Awareness And Performance For Promoting Circular Economy In China: A Case Study From Tianjin. *Journal of Cleaner Production*,17,265-270
- Ma, S., vd. (2014). Mode Of Circular Economy in China's Iron And Steel Industry: A Case Study in Wu'an City. *Journal of Cleaner Production*,64,505-512
- Madakam, S., vd. (2015). Internet of Things (IoT): A Literature Review. *Journal of Computer and Communications*,3(3),164-173
- Manninen, K., vd. (2018). Do Circular Economy Business Models Capture Intended Environmental Value Propositions? *Journal of Cleaner Production*,171,413-422
- Margaret, V. (2016). *Technology of the Industrial Revolution*. New York. Rosen Publishing
- Markman, D., G. ve Krause. (2016). Theory Building Surrounding Sustainable Supply Chain Management: Assessing What We Know, Exploring Where To Go. *Journal of Supply Chain Management*,52(2),3-10
- Marino, A. ve Pariso, P. (2016). From Linear Economy To Circular Economy: Research Agenda. *International Journal of Research in Economics and Social Sciences*,6(5),270-281
- Masi, D., vd. (2018). Towards A More Circular Economy: Exploring The Awareness, Practices, And Barriers From A Focal Firm Perspective. *Production Planning & Control*,29(6),539-550
- McKinsey & Company. (2015). *Industry 4.0 How To Navigate Digitization Of The Manufacturing Sector*. New York.
- Meb. (2012). *Bilişim Teknolojileri Tıp/İp Protokolü*. Ankara.
- Mohajan, H., K. (2019). The First Industrial Revolution: Creation of a New Global Human Era. *Journal of Social Sciences and Humanities*,5(4),377-387
- Mokyr, J. (1998). *The Second Industrial Revolution, 1870-1914. Storia Dell'economia Mondiale*. 1-16.
- Morrar, R. (2017). The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): A Social Innovation Perspective, *Technology Innovation Management Review*,12-20
- Mpc. (2018). *The Race Towards Industry 4.0*. Malezya.

- Murray, A., vd. (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of The Concept And Application In A Global Context. *Journal of Business Ethics* Volume,140,369-380
- Musa, S., M., vd. (2017). Cyber-Physical Systems: A Literature Review. *European Scientific Journal*,13(36), 52-58
- Naralhan, A.(2006).Yönetim Bilgi Sistemleri.Pearson Prentice Hall.New Jersey
- Nascimento, D., L., M., vd. (2019). Exploring Industry 4.0 Technologies To Enable Circular Economy Practices In A Manufacturing Context A Business Model Proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*,30(3),607-627
- Naustdalslid, J. (2014). Circular Economy in China – The Environmental Dimension of The Harmonious Society. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*,21(4),303-313
- Neuss, L.V. (2015). Why did the Industrial Revolution Start in Britain? *SSRN Electronic Journal*,94
- Neves,S., A. ve Marques, A., C.(2022). Drivers and Barriers in The Transition From A Linear Economy to A Circular Economy. *Journal of Cleaner Production*,341,1-13
- Niero, M., vd. (2017). Combining Eco-Efficiency And Eco-Effectiveness for Continuous Loop Beverage Packaging Systems. *Journal of Industrial Ecology*,21(3),742-753
- Oecd (2019). The Circular Economy: What, Why, How and Where.Londra
- Okeme, P., A., vd. (2021). Transformation of Factory to Smart Factory. 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus),
- Oyoun, L. (2020). Computer Numerical Control (CNC). www.researchgate.com,1-9
- Osterrieder, P., vd. (2020). The Smart Factory As A Key Construct Of Industry 4.0: A Systematic Literature Review, *International Journal of Production Economics*,221,1-16
- Önder, H. (2018). Sürdürülebilir Kalkınma Anlayışında Yeni Bir Kavram: Döngüsel Ekonomi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*,57,196-204
- Özdoğan, O. (2019). Endüstri 4.0.İstanbul.Deniz Ofset Matbaacılık.
- Park, J., vd. (2010). Creating Integrated Business And Environmental Value within The Context of China's Circular Economy and Ecological Modernization. *Journal of Cleaner Production*,18(15),1494-1501
- Paulraj, A. (2011). Understanding The Relationships Between Internal Resources And Capabilities, Sustainable Supply Management And Organizational Sustainability. *Journal of Supply Chain Management*,47(1),19-37
- Piscitelli, G., vd. (2020). Circular Economy Models In The Industry 4.0 Era: A Review Of The Last Decade, www.sciencedirect.com,42,227-234
- Preston, F. ve Lehne, J. (2017). A Wider Circle? The Circular Economy in Developing Countries. <https://www.chathamhouse.org>,1-24
- Prieto-Sandoval, V., vd. (2018). Towards A Consensus On The Circular Economy. *Journal of Cleaner Production*,179,605-615
- Rajput, S. ve Singh, S., P. (2019). Connecting Circular Economy And Industry 4.0. *International Journal Of Information Management*,49,98-113
- Romero, C., A., T., vd. (2021). Synergy Between Circular Economy And Industry 4.0: A Literature Review. www.mdpi.com/journal/sustainability,13(8),4331

- Rosa, P., vd. (2019). Assessing Relations Between Circular Economy And Industry 4.0: A Systematic Literature Review. *International Journal of Production Research*,58(6),1662-1687
- Roubaud, D., vd. (2018). Industry 4.0 And The Circular Economy: A Proposed Research Agenda And Original Roadmap For Sustainable Operation. *Annals of Operations Research*,273-286
- Rudnicka, A. (2018). Business Models In Circular Economy Concept. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*.520,106-114
- Rüßmann, M., vd.(2015). 'Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries', Boston Consulting Group.
- Saatçioğlu, Ö., Y., vd. (2018). Endüstri 4.0 ve Lojistik Sektörüne Yansımalarının Örnek Olay Kapsamında Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,23,1675-1696
- Sadowski, R., F. (2017). The Neolithic Revolution. www.researchgate.com
- Sajan, M., P., vd.(2017). Lean Manufacturing Practices in Indian Manufacturing SMEs and Their Effect on Sustainability Performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*,28(6),772-793
- Salğar, U. (2018), Türkiye ve Sanayi 4.0: Yapısal Bir Değerlendirme, *Current Debates in Economics*,113-124
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2020). Asansör Sektörü Raporu. Ankara.
- Sanchez, M., vd. (2020). Industry 4.0: Survey From A System İntegration Perspective, *International Journal Of Computer Integrated Manufacturing*,34(12),1017-1041
- Sariatli, F. (2017). Linear Economy Versus Circular Economy: A Comparative And Analyzer Study For Optimization Of Economy For Sustainability. *Visegrad Journal On Bioeconomy And Sustainable Development*,6(1),31-34
- Sauvé, S., vd. (2016). Environmental Sciences, Sustainable Development and Circular Economy: Alternative Concepts for Trans-Disciplinary Research. *Environmental Development*,17,48-56
- Schröder, P., vd. (2018). The Relevance of Circular Economy Practices to The Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*,23(1),77-95
- Schumacher, A., vd. (2016). A Maturity Model For Assessing Industry 4.0 Readiness And Maturity Of Manufacturing Enterprises,52,161-166
- Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. Geneva. World Economic Forum
- Segars, H., A. ve Grover, V.(1993). Re-Examining Perceived Ease of Use and Usefulness: A Confirmatory Factor Analysis. *University of Minnesota Management Information Systems Research Center*,17(4),517-525
- Sehnen, S., vd. (2018). Circular Economy: Benefits, İmpacts And Overlapping. *Supply Chain Management: An International Journal*,24(6),784-804
- Sikdar, S. (2019). Circular Economy: Is There Anything New İn This Concept? *Clean Technologies and Environmental Policy*,21,1173-1175
- Sillanpää, M. ve Ncibi, C. (2019). The Circular Economy: Case Studies About the Transition from the Linear Economy. Londra: Academic Press.
- Sirkin, H., vd. (2015). Industries and Economies Leading the Robotics Revolution. Boston Consulting Group,1-26
- Smol, M., vd. (2018). Public Awareness Of Circular Economy İn Southern Poland: Case Of The Malopolska Region. *Journal of Cleaner Production*,197,1035-1045
- Sönmez, S., vd. (2018).3 Boyutlu Yazıcılar. 6. Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu,471-481

- Spielvogel, J., J. (2013). Western Civilization. Amerika. Cengage Learning.
- Stahel, W., R. (2016). The Circular Economy. Nature, 531, 435-438
- Stearns, P., N. (2018). The Industrial Revolution in World History. Colorado. Westview Press.
- Strange, R. ve Zucchella, A. (2017). Industry 4.0, Global Value Chains and International Business. Multinational Business Review, 25(3), 174-184
- Su, B., vd. (2013). A Review of The Circular Economy In China: Moving From Rhetoric to Implementation. Journal of Cleaner Production, 42, 215-227
- Şekkeli, Z. ve H., Bakan, İ. (2018), Akıllı Fabrikalar, Journal Of Life Economics, 5(4), 203-220
- Şimşek, A. (2018). Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri. Eskişehir. Anadolu Üniversitesi
- Thames, L. ve Schafer, D. (2016). Software-Defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0, ScienceDirect, 52, 12-17
- Think Act. (2014). Industry 4.0. Münih: Think Act.
- Tu, J., vd. (2020). Establishing Circular Model and Management Benefits of Enterprise from the Circular Economy Standpoint: A Case Study of Chyhjiun Jewelry in Taiwan. Sustainability, 12(10), 1-14
- Tunçkan, E. (2008). Endüstrileşme Olgusu ve Endüstriyel Reklamcılık. Selçuk İletişim Dergisi, 5(2), 113-120.
- Tura, N., vd. (2019). Unlocking Circular Business: A Framework Of Barriers And Drivers. Journal of Cleaner Production, 212, 90-98
- Tübitak. (2016). Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası. Ankara
- Türkmen, M., A. ve Kılıç, F. (2020). Sürdürülebilir Kalkınma Anlayışına Yönelik Döngüsel Ekonomi Modeli. Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 55(4), 2538-2556
- Upadhayay, S. ve Alqassimi, O. (2018). Transition from Linear to Circular Economy. Westcliff International Journal of Applied Research, 2(2), 62-74
- Üskent, S.B. (2006). 19. Yüzyıl İngiliz Romanında Endüstri Devriminin Yansımaları, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi
- Üstündağ, A., vd. (2018). Industry 4.0: Managing The Digital Transformation. İsviçre. Springer International Publishing
- Yang, Q., Z., vd. (2014). A 3R Implementation Framework to Enable Circular Consumption in Community. International Journal of Environmental Science and Development, 5(2), 217-222
- Yaşlıoğlu, M., M. (2017). Sosyal Bilimlerde Faktör Analizi ve Geçerlilik: Keşfedici ve Doğrulayıcı Faktör Analizlerinin Kullanılması. Istanbul University Journal of the School of Business, 46, 74-85
- Yavuz, O. (2021). Döngüsel Ekonomi ve Endüstri 4.0. Ankara. Sonçağyayınclık
- Yazır, S., Türkiye’de Bulut Bilişimin Teknolojik Gelişimi ve Bulut Platformu Üzerinde Örnek Bir Kişisel Web Uygulamasının Sunulması, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, 2018
- Yıldırım, Y. (2019). Endüstri 4.0’a Kapsamlı Bir Bakış: 2011’den Bugüne, Bilgi Dünyası, 20(2), 217-249
- Yuan, Z., vd. (2008). The Circular Economy: A New Development Strategy in China. Industrial Ecology in Asia, 10(1-2), 4-8

- Yücel, İ. ve Yeniçeri, T. (2009). Müşteri İlişkileri, Örgütsel Bağlılık, Plânlama, Öğrenme Yönlülük, Uyum Sağlayıcı Davranış ile Satış performansı Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi,10(1),137-157
- Zailani,S., vd.(2012). Sustainable Supply Chain Management (SSCM) in Malaysia: A Survey. International Journal of Production Economics,140(1),330-340
- Zakari, İ. (2019). History of Computer And Its Generations.www.resarchgate.com,1-17
- Zhang, C., vd. (2020). Theoretical Foundations and Applications of Cyber-Physical Systems: a Literature Review, Library Hi Tech,38(1),95-104
- Zhang,H., vd.(2009). Comparative Analysis of Socio-Economic And Environmental Performances for Chinese Eips: Case Studies in Baotou, Suzhou, and Shanghai. Sustainability Science,4,263-279
- Zhang, Q., vd. (2010). Cloud Computing: State-Of-The-Art And Research Challenges. Journal of Internet Services and Applications,7-18
- Zhou, H. (2013). The Internet of Things in the Cloud. Boca Raton. CRC Press Taylor & Francis Group
- Zhu, Q., vd. (2010). Circular Economy Practices Among Chinese Manufacturers Varying in Environmental-Oriented Supply Chain Cooperation and The Performance Implications,91,1324-1331
- Wahde, M. (2016). Introduction To Autonomous Robots. Göteborg. Department Of Applied Mechanics Chalmers University Of Technology
- Wen, C., F., vd. (2007). Recycle of Low Chemical Potential Substance. Resources, Conservation and Recycling,51,475-486
- Weetman, C. (2016). A Circular Economy Handbook For Business And Supply Chains.London. Kogan Page Limited
- Whalen,K., vd.(2017). Business Model Innovation for A Circular Economy. Lund University.Lund University Publications,5-35
- Winans, K., vd. (2017). The History And Current Applications Of The Circular Economy Concept. Renewable and Sustainable Energy Reviews,68,825-833
- Witkowski, K., (2017), Internet of Things, Big Data, Industry 4.0, 7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management,763-769
- Qin, J., vd. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. www.sciencedirect.com,52,173-178

İnternet Kaynakları

- (<https://www.washingtonpost.com/news/morning-mix/wp/2016/01/20/by-2050-there-will-be-more-plastic-than-fish-in-the-worlds-oceans-study-says> ,Erişim tarihi:10.09.2021)
- (<https://www.ecomena.org/third-policy/> ,Erişim tarihi: 28.02.2022)
- (https://donguseleekonomiplatformu.com/en/knowledge-hub/article_1-what-is-the-definition-of-a-circular-economy_11.html?page=3#articlePageTitle,Erişim tarihi: 11.01.2022)
- (<https://kenniskaarten.hetgroenebrein.nl/en/knowledge-map-circular-economy/how-is-a-circular-economy-different-from-a-linear-economy>, Erişim tarihi:28.02.2022)
- (<https://www.mcgill.ca/sustainability/files/sustainability/what-is-sustainability.pdf>:1,Erişim tarihi:27.02.2022)
- (<http://www.skdturkiye.org/en/surdurulebilir-sanayi-ve-dongusel-ekonomi>,Erişim tarihi:15.01.2022)

(<https://ourworldindata.org/grapher/world-gdp-over-the-last-two-millennia>,Erişim tarihi:10.02.2022)

(<https://sozluk.gov.tr/> ,Erişim tarihi:15.03.2021)

(https://www.coreknowledge.org/wp-content/uploads/2018/04/CKHG_G6_U5_IndRev_SR.pdf ,Erişim tarihi:16.09.2021)

(<http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/kok/iktisattarihiau235.pdf> ,Erişim tarihi:24.10.2021)

(<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/sanayi-devriminin-itici-gucu-wattin-buhar-makinesi> ,Erişim tarihi:21.10.2021)

(https://www.researchgate.net/figure/Highlights-of-industrial-revolutions_fig1_324952880, Erişim tarihi:24.03.2021)

(<http://siemens.e-dergi.com/pubs/Endustri40/Endustri40/Default.html#p=1-19> ,Erişim tarihi:25.04.2021)

(<https://www.forbes.com/sites/gilpress/2013/05/09/a-very-short-history-of-big-data/?sh=558fa0ef65a1> ,Erişim tarihi:10.02.2022)

(<https://www.oldcolony.us/wp-content/uploads/2014/11/whatisbigdata-DKB-v2.pdf> ,Erişim tarihi:02.03.2022)

(<https://www.oracle.com/a/ocom/docs/what-is-big-data-ebook-4421383.pdf> ,Erişim tarihi:03.03.2022)

(<https://www.forbes.com/sites/economane/2013/03/01/the-biggest-story-of-our-lives-economic-revolution/?sh=61d3c6654e6d>,Erişim tarihi:21.03.2022)

(<https://www.britannica.com/event/Industrial-Revolution/The-first-Industrial-Revolution>, Erişim tarihi:20.03.2022)

(<https://www.bressingham.co.uk/blog/posts/2017/why-did-diesel-replace-steam-power.aspx#:~:text=Firstly%20the%20diesel%20engine%20has,greater%20distance%20between%20refuelling%20stops>, Erişim tarihi:06.04.2022)

(http://docs.neu.edu.tr/staff/erdal.yavuz/13%20.%20The%20Industrial%20Revolution%20and%20Consequences_13.pdf,Erişim tarihi:25.03.2022)

(<https://ourworldindata.org/grapher/population-of-england-millennium>, Erişim tarihi:21.10.2021)

(<https://www.statista.com/>,Eriřimtarihi:14.04.2022)

(<https://www.sap.com/turkey/about/company/what-is-sap.html>,Erişim tarihi:27.06.2022)

(<https://www.logo.com.tr/logo-hakkinda>,Erişim tarihi:27.06.2022)

(<https://www.canias40.com/tr/about>, Erişim tarihi:27.06.2022)

(<https://www.3dprintwise.com/supply-chain-disruption/>, Erişim tarihi:24.05.2022)

(<https://www.britannica.com/technology/robot-technology>,Erişim tarihi:17.11.2021)

EKLER

EK-1: Asansör Firmalarına Uygulanan Anket

ENDÜSTRİ 4.0 VE DÖNGÜSEL EKONOMİ DEĞERLENDİRME FORMU

Sayın **Katılımcı**,

Bu anket formu, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi'nde yürütülmekte olan “Endüstri 4.0 Teknolojileri ve Döngüsel Ekonomi'nin Sürdürülebilir İşletme Performansına Etkisi ‘Asansör Sektöründe Uygulama’” başlıklı yüksek lisans tez çalışmasında kullanılmak üzere yapılmaktadır. İşletmenin sosyal, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik kriterlerini Endüstri 4.0 Teknolojileri ve Döngüsel Ekonomi 'nin ne ölçüde etkilediğini saptamak amacıyla yapılan bu ankete iştirakiniz, araştırmanın doğru ve etkili sonuçlara ulaşması bakımından önem arz etmektedir. Elde edilecek bilgiler,6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Hakkında Kanun kapsamında “Gizli” tutulacak olup; sadece bilimsel amaçlarla kullanılacaktır. Katılımlarınıza teşekkürü bir borç biliriz.

Mevlüt KÖKSAL

A. KİŞİSEL BİLGİLER

1.Cinsiyetiniz: ☐ Erkek ☐ Kadın

2.Yaşınız: ☐ 18 ve altı ☐ 19-25 ☐ 26-32 ☐ 33-39 ☐ 40-46 ☐ 47 ve üstü

3.Eğitiminiz: ☐ Lise ve altı ☐ Yüksekokul ☐ Fakülte ☐ Yük. Lisans ☐ Doktora

4.Mesleğiniz:☐Tekniker ☐Mühendis ☐Uzman ☐Yönetici ☐Diğer (.....)

5.Hizmet Süreniz: ☐1 ve altı ☐2-5 ☐6-9 ☐10-13 ☐14-17 ☐18 ve üstü

6. Gelir Durumunuz (₺): ☐ 4250 ve altı ☐ 4251-6000 ☐ 6001-7750 ☐ 7751-9500 ☐ 9501 ve üstü

7. Ankete işletmenin hangi biriminden katılıyorsunuz?

☐ Üretim ☐ Ar-ge ☐ Kalite ☐ Pazarlama ☐ Satın alma ☐ Eğitim ☐ Yönetim
☐ Diğer(.....)

B. İŞLETMEYE İLİŞKİN BİLGİLER

1- Ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan işletmenizde kaynakların verimli kullanımına yönelik (Sürdürülebilirlik) çalışmalar yapıyor mu?

☐ Evet ☐ Hayır

2-3R (Geri dönüşüm, Kaynak Kullanımının Azaltımı ve Yeniden Kullanım)'yi amaçlayan Döngüsel Ekonomi kavramını daha önce duydunuz mu?

☐ Evet ☐ Hayır

3-İşletmenizde malzeme ve materyallerin geri dönüşüm faaliyetleri yapılmakta mıdır?

☐ Evet ☐ Hayır

4-İşletmenizde malzeme ve materyallerin yeniden kullanım faaliyetleri yapılmakta mıdır?

☐ Evet ☐ Hayır

5-İşletmenizde malzeme ve materyal kullanımını azaltmaya yönelik faaliyetler yapılmakta mıdır?

☐ Evet ☐ Hayır

6-Endüstri 4.0 kavramını daha önce duydunuz mu?

☐ Evet ☐ Hayır

7-İşletmeniz hangi sektörde faaliyet göstermektedir?

☐ İmalat (Aksam, Parça vs.) ☐ Montaj ☐ Bakım ve Onarım ☐ Hepsi ☐ Diğer (.....)

8-İşletmeniz kaç yıldır faaliyet göstermektedir?

☐ 1 ve daha az ☐ 2-5 ☐ 6-9 ☐ 10-13 ☐ 14 ve üstü

9.İşletmenizin çalışan sayısı nedir?

☐ 20 ve altı ☐ 21-32 ☐ 33-44 ☐ 55-66 ☐ 67 ve üstü

C. Endüstri 4.0 Teknolojileri

SO R U N O	Aşağıdaki Sorular Endüstri 4.0 Teknolojileriyle İlgili Sorulardır. Aşağıdaki Teknolojilerin İşletmenizdeki Kullanım Düzeyini 1-Hiç Kullanmıyoruz ile 5-Tamamen Kullanıyoruz Arasında Cevaplandırınız.	Hiç Kullanmıyoruz	Kullanmıyoruz	Az Kullanıyoruz	Kullanıyoruz	Tamamen Kullanıyoruz	Fikrim yok
1	“Nesnelerin İnterneti” Teknolojisi Kullanılmaktadır.	()	()	()	()	()	()
2	“Arttırılmış Gerçeklik” Teknolojisi Kullanılmaktadır.	()	()	()	()	()	()
3	“Simülasyon” Teknolojisi Kullanılmaktadır.	()	()	()	()	()	()
4	“Büyük Veri” Teknolojisi Kullanılmaktadır.	()	()	()	()	()	()
5	“Siber-Fiziksel Sistemler” Teknolojisi Kullanılmaktadır.	()	()	()	()	()	()
6	“3 Boyutlu Yazıcı” Teknolojisi Kullanılmaktadır.	()	()	()	()	()	()
7	“Entegre Sistemler” Teknolojisi Kullanılmaktadır.	()	()	()	()	()	()
8	“Bulut Bilişim Sistemleri” Teknolojisi Kullanılmaktadır.	()	()	()	()	()	()
9	“Otonom Robot” Teknolojisi Kullanılmaktadır.	()	()	()	()	()	()
10	“Akıllı Fabrika” Teknolojileri Kullanılmaktadır.	()	()	()	()	()	()

D.Döngüsel Ekonomi Modeli

S O R U N O	Aşağıda Döngüsel Ekonomi ile İlgili Sorular Yer almaktadır. İşletmenizi Dikkate Alarak Döngüsel Ekonomi Uygulamaları ile İlgili Katılım Düzeyinizi 1-Hiç Katılmıyorum ile 5-Kesinlikle Katılıyorum Arasında Cevaplandırınız.	Hiç Katılmıyorum	Katılmıyorum	Çok Az Katılıyorum	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum	Fikrim yok
11	İşletmemizde tehlikeli (zararlı, toksik vb.) maddelerin kullanımının azaltılması amacıyla ürün tasarımına öncelik verilmektedir.	()	()	()	()	()	()
12	İşletmemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına (güneş, rüzgâr enerjisi vb.) olan talep artmaktadır.	()	()	()	()	()	()
13	İşletmemizde tüketicilerin çevre bilincinin arttırılmasına yönelik faaliyetler yapılmaktadır.	()	()	()	()	()	()
14	İşletmemizde sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik (hava emisyonu, zararlı emisyon vb.) tedbirler alınmaktadır.	()	()	()	()	()	()
15	İşletmemizde, ürünün yaşam süresinin uzatılmasına yönelik (Bakım-onarım faaliyetleri, yeni teknik araçlar ve sistemler kullanılması, ürün tasarımının güçlendirilmesi vb.) olarak çeşitli tedbirler alınmaktadır.	()	()	()	()	()	()
16	İşletmemizde çevresel kazaların önlenmesine yönelik çevresel atık yönetimi uygulanmaktadır.	()	()	()	()	()	()
17	İşletmemizde ürün tasarımında; yeniden üretim, ambalaj atığı minimizasyonu ve ürünlerin yeniden kullanılmasını kolaylaştırmak için ürünlerin ve	()	()	()	()	()	()

	ambalajlarının yeniden kullanım, demontaj ve geri dönüşümü dikkate alınmaktadır.						
18	İşletmemizde yeniden kullanım, geri dönüşüm ve kaynak kullanımının azaltımın (3R) da paydaşların (Devlet, diğer İşletmeler ve tüketiciler) talepleri dikkate alınmaktadır.	()	()	()	()	()	()
19	İşletmemizde, müşterilerimizden kullanılmış ürünlerin iadesi alınarak ürünlerin yeniden satılması ya da yenilerek satılması sağlanmaktadır.	()	()	()	()	()	()
20	İşletmemizde yeni teknolojiler kullanılmasıyla, ürünlerin yeniden kullanımı ve yeniden üretimine dayalı yeni iş modellerinin geliştirilmesi sağlanmaktadır.	()	()	()	()	()	()
21	İşletmemizde tedarik zincirinin iyi yönetimi ürünlerin yeniden kullanımı ve yeniden üretimine olanak sağlamaktadır.	()	()	()	()	()	()
22	İşletmemizin karşılaştığı çeşitli risk faktörleri (Malzeme tedariği sorunları, belirsiz kaynak rezervleri, fiyat dalgalanmaları vb.) kullanılan malzemelerin tekrar kullanımına ve malzeme geri kazanımına olan ilgiyi artırmıştır.	()	()	()	()	()	()
23	İşletmemizde ömrünü tamamlamış, kullanılmış ya da kusurlu olan ürün ve materyallerin toplandığı ve geri dönüştürüldüğü alt yapılar mevcuttur.	()	()	()	()	()	()
24	İşletmemizde atıkların minimize edilmesi, yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesi maliyet tasarrufu ve kâr sağlamaktadır.	()	()	()	()	()	()
25	İşletmemizde bileşenlerin ve malzemelerin tekrar tekrar kullanımlarına (kapalı döngü sistemi) ve aynı bileşen ve malzemelerin dolaşımına (iç döngü) öncelik verilmektedir.	()	()	()	()	()	()
26	İşletmemizde fiziksel ürünlerin ve hizmetlerin dijital ve internet tabanlı sanal ortama taşınmasıyla yeni ürün ve hizmetlerin geliştirilmesi sağlanmaktadır.	()	()	()	()	()	()

E. Sürdürülebilir Performans

S O R U N O	Aşağıdaki Sorular Sürdürülebilir Performans Modeli ile İlgili Sorulardır. İşletmenizin Performansını Göz Önünde Bulundurarak Aşağıdaki Sorulara Katılım Düzeyinizi 1-Hiç Katılmıyorum ile 5-Kesinlikle Katılıyorum Arasında Cevaplandırınız.	Hiç Katılmıyorum	Katılmıyorum	Çok Az Katılıyorum	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum	Fikrim yok
27	Ürün başına kullanılan ve sera gazı salınımına neden olan malzemelerde azalış meydana gelmiştir.	()	()	()	()	()	()
28	Toksik ve zararlı madde kullanımında azalma meydana gelmiştir.	()	()	()	()	()	()
29	İş ve süreçlerde geri dönüşüme ve geri kullanıma öncelik verilerek ürün başına atık üretiminde azalma meydana gelmiştir.	()	()	()	()	()	()

30	Ürünlerin tasarım aşamasında dayanıklılık ve yeniden kullanımı ön plana çıkmıştır.	()	()	()	()	()	()
31	Kullanılan materyal ve enerji miktarında azalmayla birlikte verimlilikte de artış gözlemlenmiştir.	()	()	()	()	()	()
32	Sürdürülebilirlik çalışmaları sayesinde işletmenin satış hacmi ve gelirinde artış yaşanmıştır.	()	()	()	()	()	()
33	Maliyetler azalmış, kaynak yönetimi verimliliği açısından önemli gelişmeler yaşanmıştır.	()	()	()	()	()	()
34	Çalışan ücretleri ve yan haklar gibi personelin mali gelişimine izin verecek uygulamalar artmıştır.	()	()	()	()	()	()
35	Toplumsal yatırıma yönelik, sağlık, güvenlik ve çevre gibi alanlarda mali desteklerde artış yaşanmıştır.	()	()	()	()	()	()
36	Tüm paydaşların memnuniyetinde artış gözlemlenmekle beraber işletmenin karşılaştığı sosyal ve itibari riskler de azalmıştır.	()	()	()	()	()	()
37	Çalışanların haklarını geliştirme konusunda farkındalık artmış, iş sağlığını ve güvenliğini geliştirmeye dönük faaliyetler hızlanmıştır.	()	()	()	()	()	()
38	Ürün sorumluluğuna ve imajına verilen önem artmıştır.	()	()	()	()	()	()
39	Sürdürülebilirliğin önemi üzerine yönetici ve çalışanlara eğitim vermeye başlanmıştır.	()	()	()	()	()	()



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, ad : KÖKSAL, Mevlüt
Uyruğu : T.C.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi-İşletme	2022
Lisans	Anadolu Üniversitesi-İşletme	2015
Lisans	Selçuk Üniversitesi-Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2014
Lise	Süleyman Çakır Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-2020	Ticaret Bakanlığı	Ticaret Denetmeni
2020-Halen Yardımcısı	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	Sanayi ve Teknoloji Uzman

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Köksal, M. (2022). Dördüncü Sanayi Devriminin İşletmelere Etkisi. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Anahtar Dergisi, 404, 24-26

İletişim



