



T.C.
ANKARA YILDIRIM BEYAZIT ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİ 4.0'IN DÖNGÜSEL EKONOMİ PERFORMANSINA
İŞ BİRLİĞİ BAĞLAMINDA ETKİLERİ: TÜRKİYE
OTOMOTİV TEDARİK ZİNCİRİNDE BİR UYGULAMA**

DOKTORA TEZİ

EBRU KOL TETİK

İŞLETME PROGRAMI

ANKARA, 2023

T.C.
ANKARA YILDIRIM BEYAZIT ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİ 4.0'IN DÖNGÜSEL EKONOMİ PERFORMANSINA
İŞ BİRLİĞİ BAĞLAMINDA ETKİLERİ: TÜRKİYE
OTOMOTİV TEDARİK ZİNCİRİNDE BİR UYGULAMA**

DOKTORA TEZİ

EBRU KOL TETİK

İŞLETME PROGRAMI

PROF. DR. İSMAİL EROL

ANKARA, 2023

ONAY SAYFASI

Ebru Kol Tetik tarafından hazırlanan Endüstri 4.0'ın Döngüsel Ekonomi Performansına İş Birliği Bağlamında Etkileri: Türkiye Otomotiv Tedarik Zincirinde Bir Uygulama adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	Kurumu	İmzası
Danışman Prof. Dr. İsmail Erol	AYBÜ	
Kabul ☐ Red ☐		
Jüri Üyesi Prof. Dr. Ali İhsan Özdemir	AYBÜ	
Kabul ☐ Red ☐		
Jüri Üyesi Doç. Dr. İhsan Tolga Medeni	AYBÜ	
Kabul ☐ Red ☐		
Jüri Üyesi Prof. Dr. İskender Peker	Gümüşhane Üniversitesi	
Kabul ☐ Red ☐		
Jüri Üyesi Doç. Dr. Ahmet Öztel	Bartın Üniversitesi	
Kabul ☐ Red ☐		

Tez Savunma Tarihi: 09.06.2023

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olması için şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

Unvan Ad Soyad

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çabamla oluşturulduğunu, tez konseptinin geliştirilmesinden yazım aşamasına kadar ilgili tüm süreçlerde patent ve telif haklarını ihlal edici etik dışı bir hareketimin olmadığını ifade eder, bu tezin aktardığı bütün bulguların akademik ve etik kaideler çerçevesinde elde edildiğini ve tezde kullanılan tüm bilgilere ve incelemelere ilişkin açık şekilde kaynak gösterildiğini bildirmek isterim.

Adı SOYADI: Ebru KOL TETİK

İmza:

Tarih:

ÖZET

ENDÜSTRİ 4.0 'IN DÖNGÜSEL EKONOMİ PERFORMANSINA İŞ BİRLİĞİ BAĞLAMINDA ETKİLERİ: TÜRKİYE OTOMOTİV TEDARİK ZİNCİRİNDE BİR UYGULAMA

Kol Tetik, Ebru

Doktora, İşletme Ana Bilim Dalı

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. İsmail Erol

Haziran 2023, 228 Sayfa

Giderek daha popüler hâle gelen Endüstri 4.0 teknolojileri ve bu yaklaşımın döngüsel ekonomi üzerindeki etkileri bilimsel araştırmalarca ele alınırken uygulayıcıların da ilgi odağı hâline gelmektedir. Güncel araştırmalara bakıldığında Endüstri 4.0'ın döngüsel ekonomi üzerindeki etkilerini araştıran yeterli sayıda ampirik çalışmanın olmadığı gözlemlenmektedir.

Araştırmalarda genellikle Endüstri 4.0'ın üretim süreçlerinin iyileştirilmesinde geldiği düzeye dikkat çekilirken, tedarik süreçleri ile ilgili yenilenme ya da yeniden yapılanma konularına oldukça nadir odaklanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte döngüsel ekonomiye yönelik bütünsel etkilere ise daha seyrek rastlanmaktadır. Bu ikili kombinasyon üzerine yapılan araştırmalar eksik yönlerine rağmen literatüre katkı sağlasa da, mevcut durumda hiçbir çalışma Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomiyi birbirine bağlayan tedarik zinciri iş birliğinin moderatör etkisi üzerine derinlemesine bilgi verememektedir. Söz konusu alanda yapılan araştırmaların yeterli derinliğe sahip olmaması nedeniyle bu çalışma, özellikle Türkiye otomotiv sektöründe bu yöndeki bir boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Çalışmada Türkiye otomotiv sektöründe Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin tedarik zinciri iş birliği üzerinden döngüsel tedarik zincirine etkileri ampirik olarak incelenmektedir.

Araştırma bulguları Kısmi En Küçük Yapısal Eşitlik Modellemesi çerçevesinde değerlendirilerek anlamlı verilere ulaşılmıştır. Otomotiv sektörünün ana ve yan sanayisinde faaliyet gösteren 136 firmanın katılımıyla araştırma sonuçlandırılmıştır. Çalışma literatürde nadiren ele alınan Endüstri 4.0 teknolojilerinin döngüsel tedarik süreçlerine entegre etkilerine vurgu yaparak bilimsel çalışmalara ve uygulayıcılara yön tayin etmektedir. Geliştirilen ölçek kapsamında Endüstri 4.0 teknolojilerinin hem tedarik zincirinde iş birliğine etkilerine, hem de döngüsel tedarik süreçlerinin performansı üzerindeki yansımalarına dikkat çekilerek altı çizilmektedir. Endüstri 4.0'ın mevcut yeterliliklerinin tedarik zincirinde iş birliğine ve tedarik zincirinde iş birliğinin ise döngüsel ekonomiye birincil düzeyde etki yarattığı tespit edilmiştir. Ancak Endüstri 4.0'ın döngüsel ekonomi ilkelerini odağına alan tedarik süreçlerini ise ikincil düzeyde yönlendirdiği gözlenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Endüstri 4.0, Döngüsel Ekonomi, Döngüsel Tedarik Zinciri Yönetimi, Tedarik Zincirinde İş Birliği, Dijital Tedarik Zinciri.

ABSTRACT

THE EFFECTS OF INDUSTRY 4.0 ON THE PERFORMANCE OF THE CIRCULAR ECONOMY IN THE CONTEXT OF COOPERATION: AN APPLICATION IN THE AUTOMOTIVE SUPPLY CHAIN OF TURKEY

Kol Tetik, Ebru

Ph.D., Business and Administration

Supervisor: Prof. Dr. İsmail Erol

June 2023, 228 page

While increasingly popular Industry 4.0 technologies and the effects of this approach on the circular economy are being addressed by scientific research, they are also becoming the focus of attention for the practitioners. Looking at the current research performed on this area, it is observed that there are not enough empirical studies investigating the effects of Industry 4.0 on the circular economy. While researches generally draw attention to the level of Industry 4.0 in improving production processes, they rarely focus on the renewal or restructuring of supply processes.

However, integrated effects for the circular economy are also rare. Although research on this dual combination contributes to the literature despite its shortcomings, no current study can provide in-depth information on the moderator effect of supply chain collaboration linking Industry 4.0 and the circular economy. Since the studies in this field do not have sufficient depth, this study is dedicated to conduct a scientific study to fill a gap in this direction, especially in the Turkish automotive industry.

This research empirically investigates the effects of the adoption of Industry 4.0 technologies in the Turkish automotive industry on the circular supply chain through supply chain cooperation. Significant data were obtained by evaluating the research findings within the framework of Partial Smallest Structural Equation Modeling. The research was concluded with the participation of 136 companies from the main and sub-industry of the automotive sector.

The study directs scientific studies and practitioners by emphasizing the integrated effects of Industry 4.0 technologies on cyclical supply processes, which are rarely discussed in the literature. Within the scope of the developed scale, the effects of Industry 4.0 technologies on cooperation in the supply chain and their reflections on the performance of cyclical supply processes are underlined. It has been determined that the current competencies of Industry 4.0 have a direct impact on cooperation in the supply chain and the cooperation in the supply chain on the circular economy. Still it is observed that Industry 4.0 leads the supply processes, which focus on circular economy principles, at a secondary level.

Keywords: Industry 4.0, Circular Economy, Circular Supply Chain Management, Supply Chain Collaboration, Digital Supply Chain.



İTHAF

Doktora çalışma sürecinde bütün emeklerini ve desteklerini esirgemeyen Eşime ve çocuklarıma ayrıca sevgili Annem Süheyla Kol'a ve Babam Mehmet Kol'a ithaf olunur.



TEŞEKKÜR

Doktora çalışmasında bana yardımlarını ve desteğini esirgemeyen ve özveriyle değerli katkılarını sağlayarak bu zorlu sürecin başarılmasında emeği tarifsiz değerli Hocam Prof. Dr. İsmail Erol'a saygılarımı minnetle sunuyorum. Bu süreçte emeği geçen diğer değerli Hocalarım Prof. Dr. Ali İhsan Özdemir ve Doç. Dr. Tolga Medeni'ye yapıcı katkıları ve değerlendirmelerinden ötürü ayrıca şükranlarımı sunarken, akademik araştırmanın değerlendirilmesi üzerine sürece dahil diğer değerli Hocalarımız Prof. Dr. İskender Peker ve Doç. Dr. Ahmet Öztel'e de saygılarımı arz ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
İTHAF	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLOLAR LİSTESİ	x
KISALTMALAR LİSTESİ	xi
BİRİNCİ BÖLÜM.....	1
GİRİŞ	1
İKİNCİ BÖLÜM	14
TEDARİK ZİNCİRİ TÜRLERİ VE DÖNGÜSEL TEDARİK ZİNCİRİ’NİN YERİ VE ÖNEMİ.....	14
2.1 Tedarik Zinciri Yönetimi ve Kavramsal Çerçeve.....	14
2.1.1 Tedarik Zincirinde İş Birliği.....	16
2.1.2 Tedarik Zincirinde Görünürlük (Şeffaflık ve İzlenebilirlik).....	18
2.1.3 Tedarik Zincirinde Güven	20
2.1.4 Tedarik Zincirinde Birlikte Çalışabilirlik	22
2.1.5 Tedarik Zincirinde Entegrasyon	24
2.2 Tedarik Zincirinde Sürdürülebilirlik.....	26
2.2.1 Tedarik Zincirinde Sürdürülebilirlik ve Endüstri 4.0 İlişkisi.....	28
2.2.2 Tedarik Zincirinde Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi İlişkisi	30
2.3 Döngüsel Ekonomi ve Kavramsal Çerçeve	33
DÖNGÜSEL EKONOMİNİN TEMEL BOYUTLARI ARASINDAKİ BAĞLANTI	36
2.3.1 Atık ve Geri Dönüşüm Yönetimi Doğrultusunda Sürdürülebilirlik Değerlendirmesi	36
2.3.2 Ekodizayn ve Kaynak Yönetiminin Yeri ve Arasındaki İlişkisi	38
2.4 Döngüsel Ekonomi Fırsatları.....	39
2.5 Döngüsel Ekonominin Uygulama Zorlukları ve Riskleri	41
2.6 Döngüsel Ekonomi Sınırlılıkları.....	43
2.7 Döngüsel Ekonomi Ekseninde Eylem Planları ve Stratejik Kararların Değerlendirilmesi	50
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	51
ENDÜSTRİ 4.0 VE OTOMOTİV SEKTÖRÜ	51
3.1 Endüstri 4.0 ve Kavramsal Çerçeve.....	51
3.2 Endüstri 4.0’ın Gelişimi ve Paradigma Değişimi	53
3.3 Sosyo-Teknik ve Sosyo-Ekonomik Açından Endüstri 4.0	56
3.4 Endüstri 4.0 Enstrümanları	61
3.5 Organizasyonlarda Bilişim Teknolojileri, Dijital Dönüşüm ve İnovasyon.....	66
3.5.1 Endüstri 4.0 Çerçevesinde Yeni İş Modelleri.....	67
3.5.2 Endüstri 4.0’ın Uzmanlaşmaya ve İş Sahasına Etkileri	76

3.6 Endüstri 4.0 Üzerine Kritik	79
3.6.1 Endüstri 4.0 Zorlukları ve Sınırlılıkları	83
3.6.2 Endüstri 4.0 Üzerine Eylem Planlarında Gereklilikler	89
3.7 Endüstri 4.0'ın Sürdürülebilirliğe Katkısı	93
3.8 Endüstri 4.0'ın Benimsenmesinin Sürdürülebilir Tedarik Zincirine ve Döngüsel Ekonomiye Etkileri	96
3.9 Otomotiv Sektörü ve Bilgi Teknolojileri ile İlişkisi	101
3.9.1 Otomotiv Sektöründe Bilgi, İletişim Teknolojileri ve İnovasyon ile Dijital Dönüşüm	101
3.9.2 Otomotiv Sektöründe Lojistik 4.0 ile İletişim Ağında Yeniden Yapılanma Süreci.....	106
3.9.3 Otomotiv Sektörünü Yeniden Şekillendiren Endüstri 4.0 Teknolojileri.....	111
3.9.4 Endüstri 4.0'ın Türkiye Otomotiv Sektörüne Getirdiği Yenilikler ve Döngüsel Ekonomi ile İlişkisi.....	115
3.10 Endüstri 4.0'ın Otomotiv Sektörüne Getirebileceği Riskler ve Zorluklar	119
3.11 Endüstri 4.0 ile Otomotiv Sektörünün Sürdürülebilir Tedarik Zincirine Katkıları	127
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	130
TEORİK ALTYAPI VE HİPOTEZ GELİŞTİRME	130
4.1 Literatür İncelemesi.....	130
4.2 Hipotez Modelindeki Ölçütler ve Dayanakları	137
4.3 Araştırma Modeli.....	156
BEŞİNCİ BÖLÜM	158
ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ VE HİPOTEZ SONUÇLARI	158
5.1 Örneklemenin Açıklanması ve Anket Tasarımı	158
5.2 Psikometrik Yapının İncelenmesi ve Hipotez Testi	166
ALTINCI BÖLÜM.....	190
TARTIŞMA VE GENEL ÇIKARIMLAR	190
6.1 Tartışma.....	190
6.2 Pratik Çıkarımlar	192
6.3 Teorik Çıkarımlar	193
YEDİNCİ BÖLÜM	194
SONUÇ DEĞERLENDİRMESİ	194
KAYNAKLAR.....	197
EKLER.....	215

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: “Dijital döngüsel ekonominin yeşil mutabakata etkisi” (TÜSİAD 2021, s. 46).....	97
Şekil 2. Araştırma Çerçevesi	156
Şekil 3. Yol Katsayıları (Alt boyut için)	183
Şekil 4. Yol Katsayıları (Toplam için)	186
Şekil 5. Yol Katsayıları (Model 3 için)	189



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Literatür Taraması	131
Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistik Veriler.....	161
Tablo 3. Tanımlayıcı İstatistikler.....	163
Tablo 4. Ölçeklere Ait İç Tutarlılık ve Birleşim Geçerliliğinin İncelenmesi	169
Tablo 5. Ayrışma Geçerliliği (Fornell Larcker).....	170
Tablo 6. Ayrışma Geçerliliği (HTMT)	171
Tablo 7. Güven Boyutu Ölçekten Çıkarıldıktan Sonra Elde Edilen İç Tutarlılık ve Birleşim Geçerliliğinin İncelenmesi.....	172
Tablo 8. Güven Boyutu Ölçekten Çıkarıldıktan Sonra Ayrışma Geçerliliği (Fornell-Larcker).....	173
Tablo 9. Güven Boyutu Ölçekten Çıkarıldıktan Sonra Ayrışma Geçerliliği (HTMT)	173
Tablo 10. Ayrışma Geçerliliği için Çapraz Yüklerin İncelenmesi	174
Tablo 11. Yapısal Eşitlik Modellemesi Sonucu.....	175
Tablo 12. Model Tahmin Gücü Sonuçları	182
Tablo 13. Yapısal Eşitlik Modellemesi Sonucu (Toplam)	184
Tablo 14. Model Tahmin Gücü Sonuçları	186
Tablo 15. Yapısal Model Sonucu (Model 3)	187
Tablo 16. Model tahmin gücü sonuçları (Model 3)	189

KISALTMALAR LİSTESİ

AB	:Avrupa Birliği
AFA	:Açıklayıcı Faktör Analizi
AI	:Yapay Zeka / Artificial Intelligence
AR	:Augmented Reality / Artırılmış Gerçeklik
AR-GE	:Araştırma ve Geliştirme
AVE	:Açıklayıcı Ortalama Varyans
AY	:Atık Yönetimi
BCT	:Blok Zinciri
BÇ	:Birlikte Çalışabilirlik
BDA	:Büyük Veri Analitiği
BMBF	:Federal Eğitim ve Araştırma Bakanlığı / Bundesministerium für Bildung und Forschung
BT	:Bilgi Teknolojileri
CE	:Döngüsel Ekonomi
CEAP	:Döngüsel Ekonomi Eylem Planı / Circular Economy Action Plan
Cloud	:Bulut Bilişim (Cloud Computing)
CPS/SFS	:Siber Fiziksel Sistemler / (Cyber-Physical Systems
CR	:Bileşik Güvenirlik
3D	:Three Dimensional
DFA	:Doğrulayıcı Faktör Analizi
EFFRA	:Geleceğin Avrupa Fabrikaları Araştırma Derneği /European Factories of the Future Research Association
EoL	:Kullanım Ömrü Sonu/ End of Life
GSCM	:Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi
HTMT	:Heterotrait-monotrait Oranı
IIoT	:Endüstriyel Nesnelerin İnterneti
IoT	:Nesnelerin İnterneti
IS	:Endüstriyel Sürdürülebilirlik

KGD	:Kaynak Geri Dönüşümü
KOBİ	:Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler
KPMG	:Klynveld Peat Marwick Goerdeler Akademi'nin
KV	:Kaynak Verimliliği
OEM	:Original Equipment Manufacturer
OSD	:Otomotiv Sanayii Derneği
PLS SEM	:Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Modellemesi
3R	:Azalt, Yeniden kullan ve Geri dönüştür/Reduce, Reuse and Recycle
RFID	:Radyo Frekans Tanımlama
RNE	:Sürdürülebilirlik Konseyi (RNE-Rat für Nachhaltige Entwicklung)
SC	:Tedarik Zinciri
SSCM	:Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi
TAYSAD	:Taşıt Araçları Tedarik Sanayicileri Derneği
TBL	:Üçlü Performas / Tripple bottom line
TÜSİAD	:Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği
TZ	:Tedarik Zinciri
TZY	:Tedarik Zinciri Yönetimi
(UTAUT)	:Birleşik Kabul Teorisi ve Teknoloji Kullanımı Modeli
VIF	:Doğrusallığın Saptanması / The variance inflation factor
VW	:Volkswagen
WEEE	:Elektrikli ve Elektronik Eşya Atıkları / Waste Electrical and Electronic Equipment
YEM	:Yapısal Eşitlik Modellemesi

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Endüstriyel gelişmelerin bir neticesi olarak işletme faaliyetlerinin yarattığı ekolojik yıkım, beşerî faktörlere de tesir ederek tüm dünyayı etkisi altına alan bir kaygı unsuru hâline gelmiştir. Bu durumun tetiklediği tartışmalar, sürdürülebilirlik odağında tedarik zinciri yönetimine eğilimi de artırmaktadır. İşletmeler açısından sürdürülebilirliğin etraflıca ele alınması içe dönük bir perspektifin sınırlarını aşarak mümkün olacaktır. Buna ilişkin etkin bir kurumsal sürdürülebilirlik, ekonomik ve sosyal faaliyetleri artan bir fayda faktörüne dönüştürebilen tedarik zinciri yönetimiyle elde edilecek olup gerçek kanıtlar ise olumlu ekolojik sonuçlara bağlıdır. (Kusi-Sarpong 2018, s.1990). Ekonomik kaygıların üstesinden gelememe, operasyonel faaliyetlerin yönünü belirleyerek sürdürülebilirliğin diğer unsurlarını temsil eden sosyal ve çevresel alanları da olumsuz etkilemektedir. Bu endişelerin temel dayanağı, işletmelerin dördüncü sanayi dönüşümüne kayıtsız kalmalarından ve öz yetersizliklerinden kaynaklandığı gibi çağın yaklaşımları olarak kabul gören Endüstri 4.0 (E.4.0) ve döngüsel ekonomi yaklaşımlarının bütünsel değerlendirilememesidir. Endüstri 4.0'a artan ilginin sebebi ise operasyonel süreçleri temelde iyileştirerek tüm tedarik süreçlerini de sürdürülebilir şekilde dönüştüren bir güce sahip olmasında yatmaktadır.

Maliyetleri ve hammaddeyi asgari düzeye çekme çabaları, geleneksel yaklaşımları takip etmektedir. Döngüsel ekonomiyi etkinleştirecek adımlardan yoksun işletmeler ise ekolojiyi destekleme konusunda yetersiz kalmaktadır. Gelişmiş yeteneklere haiz Endüstri 4.0 uygulamaları operasyon süreçlerine kazandırdığı ileri izlenebilirlik ve esneklik ile kendini göstermiştir. Büyük veri analitiği ve yapay zekâ desteğiyle farklı kanallardan sağlanan veri setleri aracılığıyla bağımsız kararlar alabilen makineler aktifleştirilerek döngüsel kapasiteye katkı sağlandığı gibi üretim yapıları da daha esnek bir seviyeye getirilmektedir. Bu teknolojilerin tedarik zincirine kazandırdığı hız sebebiyle tedarik zincirinde karşılaşılan sorunların hafifletildiği ve artan bir iş birliğine de yol açtığını söylemek mümkündür. Geri dönüşüm alternatiflerinin çeşitlenmesine olanak sağlayan söz konusu teknolojiler,

süreçlerin etkinliğinde fonksiyonel çevikliği ile öne çıkarak atığın küçültülmesinde önemli bir rol üstlenmekte ve kaynakların ömrünü maksimize etmektedir. (Bag vd., 2021, s.10). Döngüsel ekonomiye katkılarıyla bilinen blok zinciri (BCT), tedarik zincirinde izlenebilirliği kolaylaştırarak gerekli zamanda verilmesi gereken reaksiyonu pekiştirmektedir. (Nandi vd., 2021, s.10). Bununla ilişkili çok boyutlu sistem yaklaşımı ile atıkların tanımlanması ve ayrıştırılmasında bütünleştirici etkisiyle harekete geçen nesnelerin interneti (IoT), atığın yönetiminde etkin teknolojileri destekleyerek döngüsel ekonomiye katkı sağladığı gibi sürdürülebilirliği de geliştirmektedir. (Fatimah vd., 2020, s.1). Bu teknolojilerin döngüsel yaklaşımlara sağladığı avantajlar doğrultusunda bir Singapur vakasına göre IoT tabanlı sıfır atık üretimi, tedarik zincirine girdi sağlayan üretim mekanizmalarını iyileştirmekte değer zincirinde ise atığın çoğalmasını zayıflatmaktadır. (Kerdlap vd., 2019, s.17). Bulut bilişim (Cloud computing) ve nesnelerin interneti aracılığıyla verilerin bir araya getirilmesi, artan oranda atığın bertaraf edilmesi gibi bir işlevi öne çıkarırken tersine lojistik sistemlerini de revize ederek daha izlenebilir kılmaktadır. Bu katkı ise ürün döngülerinin daha iyi yönetimine aracılık etmektedir. (Plakas vd., 2020, s.1680). Büyük veri ve destekleyici diğer teknolojiler (Bulut bilişim, yapay zekâ, IoT) bilgi akışını yeniden düzenleyerek tersine lojistiği daha etkin kılmaktadır. Belirtilen bütünleşik fayda bağlamında ürünlerin yeniden kullanımına yönelik bilginin aktarılması kolaylaşarak ürün yaşamı sürdürülebilmektedir. (Patwa vd., 202, s.731). Dolayısıyla tedarik zincirinde yaşanan kısıtların tanımlanması ve ortadan kaldırılması, yenilikçi düşünceyle geliştirilen nesnelerin interneti, blok zinciri ve buna benzer tasarlanan diğer teknolojik unsurlara dayanmaktadır. (Shou vd., 2021, s.1). Ademimerkeziyetçi sistem yaklaşımıyla tarif edilen blok zinciri, tedarik zincirini temelden şekillendiren iletişim performansını olumlu düzeyde etkilemektedir. Bununla birlikte işlem tasarruflarını genişletmesiyle beraber gelişmiş güvenlik özelliklerini yansıtan bu teknoloji karbon salımına görünür şekilde tesir ederek döngüsel ekonomiye yön tayin etmektedir. (Upadhyay vd., 2021, s.6). Paydaş katılımının kilit bir öneme sahip olduğu buna benzer akıllı konsept uygulamaları enerji, su ve atık yönetimine uyarlanarak akıllı sensör ve gerçek zamanlı izleme yoluyla çevresel performansı da önemli ölçüde iyileştirilebilmektedir. (Fan vd., 2019, s.1489). Büyük veri analitiği (BDA) ve yapay zekâ (AI) ekolojik düzenlemeye zemin hazırlayacak yapıcı kararların çıkarılmasında karar mercilerini yönlendirmektedir. Bu teknolojilerin ayırt edici görselleştirme tekniği ile uygulanması ise ekolojik yaşamın devamlılığı için gerekli bilgilerin daha da içselleştirilmesinde anlık değerlendirmelere fırsat vererek döngüsel ekonomi bakış açısına

ivme sağlayacaktır. (Benzidia vd., 2021, s.9-10). Geleneksel sistemlere nazaran blok zinciri teknolojisi ile etkinleştirilen ürün takip sistemi karbon ayak izini belirlemeye yardımcı olmaktadır. Bu sistem, ürünün karbon ayak izi miktarına göre değişkenlik göstererek alıcı talebinin şekillenmesinde rol oynarken, ürünün karbon vergisinin tespitinde de aracılık etmektedir. Netice itibarıyla işletmeler karbon emisyonları sebebiyle baskılayıcı tarafların etkisine maruz kalmamak ve talebi değerlendirebilmek adına tedarik zincirlerini yeni baştan inşa ederek karbon emisyonlarını düzenlemeye gidebilmektedir. Dolayısıyla blok zinciri gibi teknolojiler, azalan karbon emisyonlarına yol açabilmek için taşımacılık dahil karbon oranı düşük ürünlerin ve üretimin gerçekleştirilmesi amacıyla tedarik zincirlerini yeniden koordine etme yoluna gitmektedir. (Saberı vd., 2018, s.2123)

Küresel ölçekte dijital ve yeşil dönüşümü merceğine alarak aksiyona dönüştüren endüstriler, faaliyet gösterdikleri ekosistemde bağlı oldukları iş birliklerini bu hedeflerle aynı doğrultuda ilerleyen ortaklar ile belirlemektedir. Birbirinden bağımsız farklı alanlarda operasyonel faaliyetlerini yürüten sektörlerin dünyada yaygınlaşan karbonsuzlaşma hareketine odaklanması ve dijitalleşme ile gelen avantajları kullanması iklim değişikliği ile mücadeleye katkı sağlamaktadır. Kurumsal bünyede ise karbon ayak izini azaltmayı şirket misyonu olarak belirleyen değer zincirinin üyeleri ise ekonomik kalkınma temelinde yürüttükleri ortak girişimler aracılığıyla sosyal ve ekolojik riskleri azaltmaya çabalamaktadır. Buradaki endüstriyel kuruluşların paydaşlarının dikkate değer girişimi, özellikle dördüncü sanayi devrimine dâhil olarak geniş ağ bağlantıları sayesinde dijital, esnek ve uyarlanabilir üretim ve tedarik sistemlerini döngüsel ekonomi çerçevesinde yeniden yapılandırıp iklim değişikliğinden kaynaklı çevresel etkileri azaltarak sosyal ve ekonomik faydaya odaklanmasıdır. Tarif edilen bu hedefler net bir şekilde belirlenen ekonomik, çevresel, sosyal ve yönetişimsel becerilerin geliştirilmesini gerektirdiği gibi uygulanması ise kararlı bir kurumsal tutumu sergilemeyi zaruri hâle getirmektedir. Dördüncü sanayi devrimi çerçevesinde bilgi ve iletişim teknolojileri aracılığıyla üretim, hizmet ve tedarik ağı şeffaflaştırılabilmekte potansiyel riskler gerçek zamanlı değerlendirilerek olası maliyetler bertaraf edilebilmektedir. Bu reformsal dönüşüm ile değer zincirinde yer alan ya da potansiyel tedarikçiler olarak değerlendirilen paydaşların gerçek zamanlı izlenebilmesinin yanı sıra, ne ölçüde karbon ayak izine sahip oldukları da tespit edilebilmektedir. Bu ölçümler sayesinde ilgili kuruluşların ekolojik yaşamın sürdürülebilirliğine ilişkin akıllı ürün, hizmet ve iş süreçleri döngülerine ne düzeyde değer sağladığı ve ekolojik ekosisteme duyarlılığı anlaşılabilecektir. Esasında bu gelişmeler

bütün tarafları dijital dönüşümle beraber gelen ekolojik dönüşümün önemi üzerine düşünmeye yönelmektedir.

Geleneksel kaynakların kullanılmasıyla giderek yok edilen çevresel ekosistem daha güvenli ve temiz olarak tarif ettiğimiz yenilenebilir enerjilere bilinçli bir şekilde yol açmaktadır. Avrupa Birliği'nin 2030 yılı için %50'ye kadar karbonsuzlaşma hedefi, 2050 yılı için nötr karbon uygulaması şeklinde ifade edilmektedir. Bu sadece ilgili endüstri kuruluşlarının sorunu olmaktan çıkmış iklim değişikliğinin yarattığı küresel boyuttaki olumsuz çevresel etkiler bu kuruluşlarla ilişkili ticari tarafları da derinden etkilemiştir. Türkiye dâhil Avrupa Birliği ve ticari ilişkilerde bulunduğu ülkeler, dijital ve otonom teknolojileri harekete geçiren mekanizmaları işletecek adımları attığında dönüşüm sürecine dahil olarak rekabet güçlerinin artacağı açıkça görülmektedir. Görüldüğü üzere, dijitalleşme sürecinin etkinliği ekolojik dönüşümü temsil eden döngüsel ekonomi ilkelerini benimsemeye bağlıdır. Daha doğrusu, dijitalleşme süreciyle desteklenmeyen döngüsel uygulamalar yeterli düzeyde etkin olamayacaktır. Bu minvalde küresel boyutta tarif edilen yenilenebilir enerji dönüşümü, ekolojik iyileşmeyi hedefleyen ilkelerin tespit edilmesiyle gerekli dönüşüme imkân yaratan modern teknolojik uygulamalarla mümkün olacaktır. Nihayetinde etkileşimli bir dönüşümü simgeleyen dijital ve ekolojik dönüşüm, her endüstriyel karar vericiye bugünü ve geleceği şekillendirebilmesi için fırsatlar yaratarak kurumsal iyileşmenin yanı sıra toplumsal refah düzeyine ve ekolojik ekosisteme belirgin şekilde katkı sağlayacaktır. Bu modern yaklaşımları esas alan çalışmalara ilişkin literatür örnekleri değerlendirilmeye devam edilecektir. Bu bağlamda Endüstri 4.0 ve küresel ekolojik iyileşmeye ilişkin döngüsel ekonomi üzerine diğer çalışma örnekleri incelenerek daha sonrasında literatür boşluğunun tespit edilmesiyle çalışmaya yön veren araştırma sorularının verilmesinin yerinde olacağı tahmin edilmektedir.

Araştırmalara göre Endüstri 4.0'ı tanımlayan net bir çerçevenin ortaya koyulmadığı görülmekte ve ilgili teknolojilerin uyarlanmasına ilişkin yetersizliğe dikkat çekilmektedir. Zamanla üretimde görece artan belirsizlik ve beklentiler giderek çoğalmaktadır. Küresel ölçekte pazarın değişkenliği, bireysel beklentileri karşılaması, beklenen yenilikçi ürünlere ilginin belirginleşmesi gibi etmenler işletmeleri zorlayan bir sürece doğru sürüklemekte; kızışan rekabet ortamı ve ürünün değerini kısa vadede yitirmesi ise durumu iyice pekiştirmektedir. Yeni oluşumların doğuşunu bekleyen mevcut yetersizlikler üstesinden gelinemeyen mali zorluklar, esnek ve tutarlı olmayan sistemler olarak öne çıkmakta ve sürdürülebilirliği ötelemektedir. (Hofmann ve Rüsch, 2017, s.23-24). İncelemeler, karar

mekanizmalarını daha etkin şekilde faal hale getiren nesnelerin interneti gibi uygulamaların eksikliğine işaret ederek verilerin derlenmesinde rol oynayan mekanizmaların eksikliğine dikkatleri çekmektedir. İşletme faaliyetlerini baz alan bu araştırma boşluğu, tespit edilen yetersiz yayınlarla açıklanmaktadır. (Ben Daya vd., 2021, s.17). Sürdürülebilirlik temelinde tespit edilen araştırma açıkları, daha çok yenilikçi anlayışı konumlandıran literatür taramasını içermekte ve konunun kavramsal yönünü irdelemeye yönelik incelemelere yer vermektedir. Bu bağlamda sürdürülebilir tedarik zincirlerini açıklayan ve yenilikçi yaklaşımları ölçmeye ve ölçek geliştirmeye dayalı ampirik araştırmalara nadiren rastlanmakta olduğu ileri sürülmektedir. (Kusi-Sarpong vd., 2018, s.6). Tedarik zincirindeki karar sistemlerini etkin şekilde biçimlendiren büyük veri analitiği gibi teknolojiler, yeşil uygulamaları etkinleştirebilmek amacıyla süreçleri, yöntem ve ekipmanları birbirine bağlayarak karar sürecini iyileştirmektedir. (Benzidia vd., 2021, s.3). Otomotiv sektörünün diğer sektörler arasındaki ağırlığı imalat tarafının kritik konumu nedeniyle daha çok belirginleşmektedir. Otomotiv sektörü birden fazla dış faktörlerin etkisine maruz kalmaktadır. Sektörün özellikle mücadelesini baskılayan çevresel etmenler içerisinde, kirliliğin artması ile beraber iklim değişikliğinin yarattığı kritik sonuçlar yer alırken araçların kullanımıyla kısalan ürün yaşam döngüleriyle baş edilememesi gibi etkenler de sayılmaktadır. Dinamik yapısı gereği teknolojilerin hızla yenilenmesinin doğal bir sonucu olarak değişen kullanıcı ihtiyacı da bunlar arasında tanımlanmaktadır. Böylesi çevresel etkenlere maruz uluslararası faaliyet gösteren otomotiv işletmeleri ve tedarik sistemleri, teknolojik gelişime kayıtsız kalamayarak yenilikçi bir anlayışla ekolojik planlamaya uyum konusunda zorluklarla yüzleşmek zorundadırlar. (Ghadge vd., 2022, s.2)

Endüstri 4.0 ve Blok zinciri konseptini konu edinen birçok araştırma olmasına rağmen, bu alanla ilgili literatür incelendiğinde E.4.0 konseptine ilişkin yeterli düzeyde ampirik çalışma olmadığı dikkatleri çekmektedir. Endüstri 4.0'ın sağladığı yararlar ile beraber sürdürülebilirlik alanında etkin vaka analizlerinin de büyük ölçüde sınırlı olduğu anlaşılmaktadır. Diğer teknolojilerin literatürdeki yerine göz atıldığında ise üretim ve tedarik zinciri alanındaki nesnelerin interneti üzerine çabaların da yetersizliği gözden kaçmamaktadır. Daha doğrusu sürdürülebilirlik yöntemlerinin tedarik zincirini etkinleştiren değerler bütünüyle araştırılması büyük önem arz etmektedir. Döngüsel ekonominin uygulamaya dönük yaklaşımlarında iyileştirme teknikleri, verinin karar sistemlerine etkisi, endüstriyel simbiyozun entegrasyonu, yorumlanması ve beraberinde çok amaçlı uygulanabilir ölçütlerin belirlenmesi araştırılması gereken alanlar arasındadır.

Sonuç itibarıyla Endüstri 4.0 çalışmalarında sürdürülebilirliğin yararlarına ilişkin gözleme dayalı kanıtlara olan gereksinim kendisini göstermektedir. (Esmaeilian vd., 2020, s.13) Burada işaret edilen Endüstriyel simbiyoz, tüketimin iyileştirilmesine yönelik enerji ve malzemeden daha fazla fayda yaratmaya odaklanmaktadır. Buradaki amaç, açığa çıkan atığın diğer süreçlere kaynak sağlamasını kolaylaştıran ekosistemin oluşturulması ile atığın en asgari düzeyde tutulması amacıyla malzeme akışının planlanmasıdır. Çevreye duyarlı farklı kuruluşları bir araya getiren ve endüstriyel ekosistem olarak tanımlanan endüstriyel simbiyoz ortak bir ekonomik değer yaratmak amacıyla kaynakların paylaşılması temelinde iş birliği esasına dayanmaktadır. (Sehnem vd., 2019, s.785) Genel itibarıyla dünyanın sürdürülebilir iyileşme hedefleri, yaşam kalitesini iyileştirmekte ve verimli kaynak kullanımına yönelik ekonomik kalkınma çabalarını desteklemektedir. Bundan ötürü akıllı şehirlerin entegre bir siber altyapıya ihtiyacı olduğu görülmektedir. Bu anlayış nedeniyle atığın toplanması ve yönetimindeki işlevsel verimsizliğin bir sonucu olarak atık miktarındaki artış ve kontrol birden fazla şehir ve bölge için kaygılandırıcıdır. Bilinen bu sorunlar sebebiyle akıllı şehirler, nesnelerin interneti, büyük veri ve yapay zekâyı devreye alarak etkinleştirici akıllı teknolojiler yardımıyla günden güne sorunları çözmeye yönelik eğilim artmaktadır. Döngüsel ekonomi, alışlagelmiş (yap-bertaraf et) doğrusal ekonomik yapıya kıyasla sürdürülebilirlik esasında tarif edilen farklı bir seçeneği temsil etmektedir. Dolayısıyla döngüsel ekonomiyi hayata geçirme, tedarik zinciri ekosisteminde sürdürülebilirliği önceliğine alan paradigma değişimini kaçınılmaz kılmaktadır. (Zhang vd., 2019, s.1).Günümüzdeki değerlerin kökten değişimini konu edinen döngüsel ekonomi, bugüne değin konvansiyonel yaklaşımlarca ihmal edilen sosyal ve çevresel etkenleri son derece etkilemektedir. Kaynaklardan sağlanan verimin yaşam boyu sürdürülmesi ancak çevrimsel anlayışın ilkeleri doğrultusunda alınan yönetsel kararlara bağlı olmaktadır. Bu modern çevrimsel yaklaşım, kapalı döngülerin önemine atıfta bulunarak yaşanan temel ekonomik ve çevresel sorunların giderilmesinde bir yol gösterici olarak tarif edilmektedir.

Malzeme akışında kapalı döngünün sağlanması, kaynakların yönlendirilmesine bağlıdır. Temel olarak döngüsel ekonomi, temelde 3R'nin (azalt, yeniden kullan ve geri dönüştür) gerçekleştirilmesinin ancak sürdürülebilir ve bütünleşik tedarik zincirine dayandığını savunmaktadır. Bilindiği üzere endüstriyel gelişimin istikrarı, çevresel sürdürülebilirlik aracılığıyla yeşil malzeme akışını ve dağıtımını zorunlu hâle getirmekle mümkün olmaktadır. Döngüsellik kavramı, temelde döngüsel ekonominin ardında yatan esas prensiptir. Ekolojik kararlılığın sürdürülmesinde temel güdüler olarak tarif edilen enerji ve

kaynak verimliliği; temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları için atıkların azaltılması, yönetimi, kullanılmayan enerjinin kazandırılması ve atıktan enerjiye yönelik faaliyeti gerektirmektedir. (Patwa vd., 2021, s.727). Avrupa Birliği'ne aday ülkemizin Birleşmiş Milletler üyeliğinin bir gereği olarak ticari ilişkilerin yeniden yapılandırılması ve geliştirilmesi çerçevesinde çevresel uygulamalara yönelik adımlarını hızlandırdığı gözlenmektedir. Türkiye'nin merceğinde yer alan yeşil ve dijital dönüşüm, Avrupa Birliği ile ilişkileri güçlendirme çabalarına nazaran küresel düzeydeki rekabet önderliği ve iş birliğinden elde edeceği payla daha çok ilgilidir. Çok yönlü bir dönüşüme hazırlanan ve önemli bir ticaret ve yatırım partnerimiz olan AB sürdürülebilir iyileşme hedeflerinden hareketle Yeşil Mutabakat ve Dijital Tek Pazar Stratejisine odaklanmaktadır. Tedarik zinciri yapısını yeniden şekillendiren bu süreç, AB odaklı tedarik zincirlerine ilişkin yeni avantajları beraberinde getirmektedir. AB'nin belirlediği ticaret ve sanayi stratejileri Türkiye'nin stratejik değer zinciri bağlamındaki pozisyonunun iyileştirilmesinde önemli yapı taşlarıdır. Dönüşüm gündemi açısından coğrafi şartların gerçek bir avantaja evrilmesi, prensip ve standartların ne ölçüde uyarlandığına büyük oranda bağlıdır. (Duran, 2021a, s.68-69). Endüstri 4.0 döngüsel ekonomiyi desteklemekte ve gerekli yeşil dönüşümün sağlanmasında etkili birtakım yetenekleri kendi içinde barındırmaktadır. Bu dijital gelişim, her bir sektörün gerekli birimlerinde devreye alınabilmektedir. Firmaların belirli alanlarda endüstriyel yetenekler kazanmasını sağlayan bu dönem, bilgi ve iletişim teknolojilerinin getirdiği modern teknolojik yenilikler sunmaktadır. Endüstri 4.0'ın en belirgin yönü firmaların değer zincirinde bütünüyle etkili olan az atık ile daha fazla katma değer yaratıldığı bir ekosistemin oluşmasını sağlamak için sosyal, çevresel ve ekonomik yönden hızlandırıcı bir etkisinin olmasıdır. Gelecek nesillere daha temiz ve yaşanabilir bir dünyanın bırakılmasına olan gereksinim ve yeşil ekonomiye olan eğilimden ötürü firmaların dijital dönüşümün getirdiği yetenekleri benimseyip uyarlaması bir tercih olmadığı gibi kaçınılmaz bir sonuçtur. Hâli hazırda her bir endüstriyel alanın belirgin düzeyde iklim üzerinde yarattığı olumsuz etkiler nedeniyle sınırlı doğal kaynaklar giderek azalmaktadır. Bu gerçeğe karşı karşıya kalan farklı endüstriyel alanlardaki birçok aktör, döngüsel ekonomi planlarını hayata geçirmede birtakım önlemleri almakla yükümlüdür. Bu bağlamda tedarik zincirinde kaynakların temini, oluşturulması ve izlenmesi kaynakların kullanımı ve bertaraf edilmesi kadar önemli bir eylem olarak görülmektedir. Dördüncü sanayi devriminin etkisiyle teknoloji alanında yapılan yenilikçi reform sayesinde tedarik zinciri süreçlerinde beklenen dönüşüm, gereklilikleri karşılayacak potansiyel yeteneklerin hayata geçirilmesiyle mümkün olmaktadır. Dijital teknolojiler arasında tanımlanan

Nesnelerin interneti, Blok zinciri, Büyük veri, Radyo frekans tanımlama kaynakların takibi ile atık kapasitesinin izlenmesine olanak sağlamaktadır. (Ünlütürk vd., 2020, s.27-28) Küreselleşme dünyadaki temel değişim ve dönüşümün çıkış noktası olmaya devam etmektedir. Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonominin getirdiği yenilikler modern dünyanın gereksinimlerini karşılamaya çalışırken teknolojik altyapı, organizasyon kültürü, değişim yönetimi gibi unsurlar paradigmatik dönüşüm sürecini önemli düzeyde etkileyecektir. Toplumsal ve çevresel değişimin birtakım etkileri, sistemsal ekonomik sorunları doğurmakta; bu ise bireysel, kurumsal ve toplumsal açıdan Endüstri 4.0'ın getirdiği yenilikçi çözümlere ilgiyi beraberinde artırmaktadır. Ekolojik ve ekonomik değişimin etkileri çoğunlukla küreselleşme ve aşırı kaynak tüketiminin çevresel sonuçlarıdır. Bu sebeple küresel etkiler, çeşitli bireysel ve kurumsal beklentilerin gereğince karşılanamamasından dolayı yenilikçi çözümlere olan eğilime neden olmaktadır. Dolayısıyla işletmelerin bu yeni yaklaşımlardan beklentileri kendi endüstriyel alanlarının gereklilikleri doğrultusunda farklılaşmaktadır. Küresel düzeyde ekonomik ve çevresel bozulmalar neticesinde hayatımıza giren döngüsel ekonomi yaklaşımı, doğrusal ekonominin getirdiği paradigmanın kökten değişimini gerçekleştirmek için sektörel bazda Endüstri 4.0'ın etkinleştiricileri olan teknolojileri devreye alma gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Küresel etkilerin doğurduğu gereksinimler pazarın değişimiyle beraber genel maliyetlerin ve niteliksiz iş gücüne olan talebin azaltılmasına yöneliktir. Buna binaen ürünlerin hızlı şekilde ve hatasız pazara sürülebilmesi, artan esnekliğe ve rekabete olan ihtiyacın giderek derinleşmesinden kaynaklı Endüstri 4.0'ı devreye alma gereksinimi bu nedenlerden ileri gelmektedir. Bunların dışında yararlanılan kaynakların azalması, dünyanın yaşam ömrünün kısalması ve buna karşın toplumsal kaygıların artması da Endüstri 4.0'ın gelişimini tetiklemiştir. Son zamanlarda sürdürülebilirliğe olan trendin varlığı ve sürdürülebilirliğin artan popülaritesi düşünüldüğünde bu eğilimin Endüstri 4.0 araçları ve yenilikçi çözümler için katma değer yaratacağı kesindir. (Pamuk ve Sosyal, 2018, s.5). Endüstri 4.0 araçları siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti (IoT), bulut bilişim ve bilişsel bilgi işlemlerini içermektedir. Burada sorulması gereken soru, “Endüstri 4.0 teknolojileri acaba döngüsel ekonominin kolaylıkla uyarlanabilmesinde destekleyici midir?” Endüstri 4.0'ın veri bazında analizleri düşünüldüğünde bu çerçeveye katkısı, Endüstri 4.0'ın sürdürülebilirlik açısından sonuçları iyileştirebildiği gibi endüstriyel ekosistemin kaynak ve salınım şiddetini minimize edebilecek yeterliliğe sahip olduğuna da işaret edilmektedir. (Tseng vd.,

2018, s.146). Uygulanmaya devam eden doğrusal ekonomik modelin, çoklu tedarik zincirinde faaliyet gösteren tarafların çok yönlü taleplerine cevap verememesi en iyi alternatif koşulların aranmasına zemin hazırlamıştır. Doğrusal ekonomik modelin yarattığı tedarik sürecindeki aksaklıkların daha iyi bir seçenekle bertaraf edilmesine olan ihtiyaç döngüsel tedarik zinciri modeline olan trendin oluşmasını sağlamıştır. Piyasa koşullarının doğrusal ekonomiye hâkim tavrı giderek zayıflarken döngüsel ekonominin artan bir taleple yükselmesinde sağladığı çok yönlü katma değer etkisi büyüktür.

Bilinen doğrusal ekonomik modele (al, yap ve elden çıkar) karşı döngüsel ekonomi yavaş yavaş tanınmaya başlayan en iyi alternatiftir. Döngüsel tedarik zinciri yönetimi, döngüsel ekonomi fikrini tedarik zinciri ile birleştiren bir anlayışa sahip olup sürdürülebilir tedarik zincirine yeni ve zorlayıcı bir perspektif getirmektedir. (Farooque vd., 2019, s.882) Endüstri çevresinin sistemlerini iyileştirme ve yeniden yapılandırma amacıyla yöneldiği bu yeni bakış açısı, döngüsel planları harekete geçirecek karar mekanizmalarının ekolojik ve ekonomik faydayı bütünsel ele aldığı bir misyonu takip ederek geri dönüşüm ve atık yönetimi ilkelerine ciddiyetle bağlılığını ortaya koyması gerekmektedir.

Bu konuya ilişkin geri dönüşüm ve atık yönetim yasasının devreye girmesinde atıl ürünlerin geri kazanılması ekolojik değerden çok daha fazlasını ifade etmektedir. Malzeme işleme sürecinde yeniden kullanım ya da ekolojik ürün olma ve yahut enerji kaynaklı geri dönüşüm olanağı gibi bazı durumlar ekonomik yönden katma değer yaratmaktadır. Toplama tekniklerinde dahi tasarım için yeni sorumlulukların belirleneceği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla geri dönüşüm ve bertaraf üzerine kurgulanması beklenen döngüsel tasarım, ürünün yaşam döngüsü ile ilgili olup planlama aşamasında buna öncelik verilmesi elzem görülmektedir. (Hompel vd., 2018, s.341). Döngüsel ekonomi uygulamalarının çevresel etkileri azaltmanın da ötesinde ekonomik yarar sağladığına işaret edilmektedir. Döngüsel ekonomi modelinde, gelişmiş, çoklu tedarik zincirinin sektörler arası ilişkileri için endüstriyel simbiyoz gibi yaklaşımlar kullanılmaktadır. Endüstriyel simbiyozun büyük veriye dayalı olarak uygulanabildiği sosyal, çevresel ve ekonomik boyutları göz ardı etmeden işlevselleştirildiği bilinmektedir. Endüstriyel simbiyoz, operasyonel düzeyde veriye dayalı olmakla beraber geri dönüşüm, azaltma ve yeniden kullanma ana bileşenleri ile karakterize edilmektedir. Bu alanda iyileştirme sonuçları yetersizdir. Sanayileşmenin etkisiyle bir yandan yaşam standartları iyileşirken diğer yandan olumsuz çevresel etkilere de neden olmaktadır. Bu da tüketim ve üretim biçiminin sürdürülemez oluşundan kaynaklanmaktadır. Endüstriyel simbiyozun ana bileşenleri

arasında işlemsel düzeyde veriye odaklılık ve 3R iyileştirme çözümleri yer almakta ve bunların uygulanmasında boşluklar görülmektedir. (Tseng vd., 2018, s.146-147) Endüstriyel simbiyoz kavramı simbiyozu temsil eden ortak yaşamın endüstriye uyarlanmış şeklidir. Endüstriyel simbiyoz farklı endüstri alanlarının birlikte hareketini ve iş birliğini ifade etmektedir. (Özkan vd., 2017, s.87) Döngüsel ekonomi bağlamında endüstriyel simbiyoz, farklı endüstri kollarının oluşturduğu sinerji ile olumsuz çevresel etkileri azaltma ve ortak ekonomik değer yaratmanın bir koşulu olarak görülmektedir. (Ulutaş 2011, s.9) Burada esasen endüstriyel ekosistemler doğal sistemleri çağrıştırdığından (Ulutaş 2011, s.5) endüstriyel simbiyoz endüstriyel faaliyetlerin sürdürülebilirliği için döngüsel ekonominin bir unsuru haline gelmiştir. Küresel kalkınma ve sürdürülebilir hedefler için bireylerin, kuruluşların, kamunun ve sanayilerin üretim, tüketim ve geri dönüşümde döngüsel sürdürülebilirliği sağlayacak önlemleri alması kaçınılmazdır. Dolayısıyla dijital becerilerin gelir ve değer üretme noktasında endüstriyel iş birlikçi harekete katkı sağlaması döngüsel ekonomi hedeflerine bir adım daha yaklaşılmaması olanaklı hale getirmektedir.

Döngüsel ekonominin önemli koşulları arasında 3R uygulamaları ile ürün yaşam döngüsünün devamlılığı ve kaynak israfını azaltma yer almaktadır. Döngüsel ekonominin amacı ekolojik dengeyi sağlamak ve korumaktır. Atıktan enerji üretimine dayalı konsept, yenilenebilir enerji kullanımı, kaynak kullanım verimliliği ve israfın minimize edilmesi kapsamında ekonomik verimliliği ve döngüsel ekonomiyi getirmektedir. (Patwa vd., 2021, s.732). İşletme ve tüketiciler açısından önemli bir yere sahip olan 3R'nin kullanım amacı, üret-kullan-at modelini azaltmak ve üret-kullan-yeniden kullan modeline yönelik döngünün devam etmesi gerekliliğini ortaya koymaktır. 3R'nin ilave etkileri ise toplumsal, ekolojik ve çevreseldir. (Patwa vd., 2021, s.725-726). Gelişmiş döngüsel entegre sistemlerin veri odaklı iyileştirilmesinde görülen aksaklıklardan ötürü endüstriyel simbiyozun hayata geçirilmesi kesintiye uğramaktadır. Bilim insanları, kaynaklar, koruma ve geri dönüşüm çerçevesinde büyük veri ve nesnelerin interneti uygulamalarını tercih ederek TBL (üçlü performans) süreçlerinden katma değer sağlamak adına Endüstri 4.0 teknolojilerinden faydalanılması gerektiğini vurgulamaktadır. (Tseng vd., 2018, s.147)

TBL nedir? İlkeleri ve şartları incelendiğinde TBL'nin niteliği konusunda Elkington'un bakış açısı önem arz etmektedir. Elkington'un üçlü performans olarak adlandırdığı TBL yardımıyla kuruluşlar ya da toplumların performansı ekonomik, çevresel ve sosyal düzeyde değerlendirilmektedir. Üçlü performans çatısı altında öncelikle firma kârının konvansiyonel şekilde değerlendirilmesi yer almaktadır. Ardından firmanın insan ile

ilişkinin sosyal yükümlülük yönüyle incelenmesi gerekli görülmektedir. Buna ilaveten çevresel faktörler üzerine ekolojik yükümlülüğün ölçümlemesi nihai koşul olarak öne çıkmaktadır. Bilhassa üzerinde durulan nokta, firma ya da organizasyonların belirli periyotlarda ekonomik, sosyal ve çevresel yönden ölçümlemesi zaruriyetidir. Genel olarak bakıldığında sürdürülebilir gelişim konsepti ve ilişkili ölçütleri üçlü performans fikri ile yakından bağdaşmaktadır. (Yalçınkaya vd., 2011, s.3329)

Daha önceki çalışmalara bakıldığında, Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi konseptini taşıyan bütünlük modeller ve yapılar sayesinde sürdürülebilirliğin üçlü performansının gerçekleşeceği savunulmaktadır. İmalat sanayinin sürdürülebilirliğe adaptasyonu çoğu zaman üzerinde durulması gereken bir konu olarak öne çıkmaktadır. Bununla ilgili farklı yaklaşımlar, sürdürülebilir ve akıllı atık yönetimine odaklanıp bu sistemi oluşturmak için Endüstri 4.0'ın sayısal becerilerine yönelme eğilimi vardır. Böylelikle ekonomik, sosyal ve çevresel boyutu ile sürdürülebilirliğe ulaşılacağı iddia edilmektedir. Destekleyici diğer savlara göre döngüsel ekonomi kaynaklı tedbirlerin yer aldığı Endüstri 4.0 uygulamaları sürdürülebilir tedarik zincirinin karşılaştığı handikapların aşılmasında kolaylaştırıcı etkiye sahip olup mevcut sistemi ileriye taşımaktadır. Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomiyi birleştiren bu yapının imalat endüstrilerinde hâlâ araştırılması gerektiği ileri sürülmektedir. Bu da temiz üretimi ve döngüsel ekonomiyi uyarlama üzerine sonraki araştırmalar için bir fırsat olarak görülmektedir. Bu yönde çevresel ve ekonomik açıdan etkileri görülen döngüsel ekonomi yaklaşımının Endüstri 4.0'ın etkisiyle israfı küçültmedeki başarısına işaret edilmektedir. Bu fikirler doğrultusunda firma ve tedarik zinciri aşamalarında sürdürülebilirliği yaygınlaştırma ve döngüsel ekonominin üstesinden gelinmesinde nesnelerin interneti gibi yeteneklerin önemli bir payı olduğu bildirilmektedir. Fakat Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomiyi kapsayan güncel literatürün sunduğu teorik altyapı, güncel uygulamalara ışık tutmasına rağmen sanayidekilere yarar sağlayacak pratikleri sunmakta eksik kalmaktadır. Geliştirilen sistemler ve teorik konseptlerden esinlenen bazı yazarlar döngüsel ekonomiye ışık tutan Endüstri 4.0 teknolojilerini incelerken döngüsel ekonomiyi destekleyen CPS'nin (Siber Fiziksel Sistemler) IoT ile ilişkisinin araştırılması gerektiği neticesine varmıştır. Bu konuyla ilgili diğer araştırmacılar Endüstri 4.0'ın yapısal prensiplerini ve teknolojik eğilimlerini incelemekte ve ilgili sürdürülebilirlik işlevlerini ortaya koymaya çalışmaktadır. Nihai olarak Endüstri 4.0'ın potansiyel etkileri kapsamında enerji tüketimini düşürdüğü, temiz ve hatasız üretimi olanaklı hâle getiren yeni iş modellerine yol açtığı, üretimin iyileştirilmesi dahil risk önleyici tedbirlerin geliştirilmesini

sağladığı ileri sürülmektedir. Güncel literatür, uygun makinelerle verimlilikte yüksek ve maliyette düşük ürünler üretilmesi üzerine bilgileri verebilecek Endüstri 4.0'ın sayısal modellerinin geliştirilmesi konusunda hazırlığın olmadığını göstermektedir. Endüstri 4.0 çerçevesinde maliyetler konusunda temiz ve sürdürülebilir üretim için makinelerin azalan enerji tüketimi hakkında kısmen araştırma yapıldığı ifade edilmektedir. (Rajput vd., 2020, s.13-15).

Genel literatür boşluğundan hareketle otomotiv sektörünü baz alan araştırma kapsamı Türkiye TAYSAD (Taşıt Araçları Tedarik Sanayicileri Derneği) ve OSD (Otomotiv Sanayii Derneği) üyeleri arasında gerçekleştirilmiştir. Araştırma Türkiye otomotiv sektöründe faaliyet gösteren ulusal ve uluslararası yaklaşık imalat sanayine dahil 466 firmaya yönelik yapılan ampirik bir çalışmadır. Bu üyelere yapılan anket çalışmasında üyelerin yaklaşık %29'u araştırmaya tam katılım sağlamıştır. Araştırma modeli, otomotiv sektöründe Endüstri 4.0 girişimlerinin sürdürülebilir ve döngüsel tedarik zinciri sistemlerine değer katacağı düşüncesiyle tasarlanmıştır. Bu sebeple, Endüstri 4.0 ile Döngüsel Ekonomi performansı alanlarında teorik gelişmeler ile gerçek dünya vakaları arasındaki boşluğu doldurarak literatüre katkı sağlamak amaçlanmaktadır. Geliştirilen modele ilişkin belirlenen ölçeklerin doğrulanması ve ilgili performans değerlendirmesinin yapılması araştırmanın getireceği katkılar arasındadır. PLS SEM yapısal eşitlik modeli kapsamında önerilen modelde, Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin tedarik zincirinde iş birliği üzerinden döngüsel ekonomiye katkıları ile bu etkileşimden doğan kavramsal çerçevenin analiz edilmesi ve içgörüler sağlaması amaçlanmaktadır. Bu bağlamda belirlenen araştırma soruları; işletmelerin Endüstri 4.0'ın benimsenmesinde ve Döngüsel Ekonominin uygulanmasında ne ölçüde tedarik zinciri iş birliğine odaklanmaları gerektiği doğrultusunda sorgulanmaktadır.

Soru 1. Endüstri 4.0'ın benimsenmesi otomotiv tedarik zincirinde iş birliği üzerinde olumlu bir etkiye sahip midir?

Soru 2. Endüstri 4.0'ın benimsenmesi otomotiv tedarik zincirinde iş birliği üzerinden döngüsel ekonomi çabalarını destekler mi?

Bu kapsamda, literatüre dayalı Endüstri 4.0'ın benimsenmesi ile döngüsel tedarik zinciri sistemleri üzerinde özellikle tedarik zinciri iş birliğinin bu ilişkideki etkisini belirleyici etmenler tespit edilmeye çalışılacaktır. Genel olarak araştırmayı değerlendirmek gerekirse; bu çalışmada Endüstri 4.0 araçlarının firmaların döngüsel tedarik zincirine ve operasyonel

süreçlerine ilişkin performansına etkileri tartışılacaktır. Endüstri 4.0'ın otomotiv sektöründe uygulanma düzeyine dair belirleyici kriterler saptanarak bununla ilgili firmaların olgunluk düzeyini tespit amacıyla genel statükolarına yer verilecektir. Bu kapsamda Endüstri 4.0'ın firmalara kazandırdığı temel yeteneklere ve bunların döngüsel tedarik zincirine yansımalarına bakılacaktır. Genel itibariyle firmaların Endüstri 4.0 algısı ölçülerek, Endüstri 4.0'ı döngüsel üretim ve tedarik sistemlerine uyarlama düzeyleri tespit edilmeye çalışılacaktır. Çalışmanın kalan kısmı şu şekilde düzenlenmektedir:

- İkinci Bölüm: Döngüsel tedarik zincirinin gelişiminde önemli bir dayanak hâline gelen tedarik zinciri yönetimi ve döngüsel ekonominin kavramsal çerçevesi açıklanarak bu yaklaşımın tedarik süreçlerine entegrasyonuna yoğunlaşılacaktır.
- Üçüncü Bölüm: Endüstri 4.0'ın kavramsal çerçevesinden yola çıkarak Endüstri 4.0 bileşenlerinin endüstrilere sağladığı katma değer etrafında değerlendirmeler yapılarak bu sanayi devriminin otomotiv sektörünü, ne düzeyde yapılandıracağı ile ilgili araştırma verilerine dikkat çekilmektedir.
- Dördüncü Bölüm: Literatür taramasının özetine, buna dayalı hipotez geliştirme ve araştırma modeline yer verilecektir.
- Beşinci Bölüm: Araştırma Metodolojisi ve hipotezlerin sınanması çerçevesinde psikometrik yapının incelenmesi ile bölüm tamamlanacaktır.
- Altıncı Bölüm: Tartışma ve çıkarımlar üzerine değerlendirmeler yapılacaktır.
- Yedinci Bölüm: Araştırmanın sonuç değerlendirmesiyle tamamlanması amaçlanmaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM

TEDARİK ZİNCİRİ TÜRLERİ VE DÖNGÜSEL TEDARİK ZİNCİRİ'NİN YERİ VE ÖNEMİ

2.1 Tedarik Zinciri Yönetimi ve Kavramsal Çerçeve

Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY) kavramı farklı dönemlerde çeşitli tanımlamalara şahitlik etmektedir. Buna rağmen güvenilir ve kapsamlı bir tedarik zinciri yönetimi çerçevesini ortaya koymak için değişen ekonomik, sosyal ve çevresel koşullar ve globalleşmenin gerektirdiği sistemsel dönüşümler nedeniyle sürekli yenilenmeye ihtiyacı olan dinamik bir yapıya sahip olduğu söylenebilmektedir. Tedarik zinciri yönetiminin çağın gerekliliklerini karşılamakla yükümlü olduğunu varsaydığımızda nitelikli bir dönüşüm için kavramsal olarak yeniden yapılandırılması gerekmektedir. Tedarik zinciri yönetimi yaklaşımları, sürdürülebilirlik ilkelerini açıklayabilmek amacıyla farkındalık yaratma bilinciyle hareket eden organizasyonları dijital dönüşüm adaptasyonu ile ileri bir noktaya taşımayı amaçlamaktadır. Bu düşünceden hareketle tedarik zinciri yönetimi etki alanının genişletilmesi kuşkusuz bağlantılı olduğu unsurlarla yakından ilişkilidir.

Yakın dönem yaklaşımlarından birine göre tedarik zinciri yönetiminin uzun vadede başarı sağlayabilmesi için tedarik zincirinde aktif rol oynayan firmalarla ilişkili konvensiyonel iş yükümlülüklerinin stratejik ve sistematik olarak koordine edilmesi gerektiği savunulmaktadır. Diğer görüşlere göre tedarik zinciri yönetiminin tedarikçiler ve üçüncü tarafı temsil eden hizmet sağlayıcılar, müşteriler olarak görülen kanal paydaşları aracılığıyla ilgili eylemlerin mutlak planlanması, yönetimi, koordine edilmesi ve iş birliği esasına dayandığı ifade edilmektedir. (Kim, 2017, s.215). Konuya bütünüyle bakıldığında tedarik zinciri yönetimine ilişkin paydaşların etkin olduğu faaliyetler göz önüne alındığında ürünlerin, tedariğin ve süreçlerin iyileştirilmesi esnasında ürün tasarımı ve üretimde yaşanan gelişmelere kadar stratejik ve uzun dönemli iş birliğinin koordine edilmesi şeklinde tanımlandığı gözlenmektedir. (Kotzab vd., 2015, s.525-526)

Hızlı bir dönüşüme tanıklık eden endüstrilerce ticaretin küresel bir nitelik kazanması, tedarik zinciri yönetiminde stratejik bir konu olarak görülmektedir. Bu nedenle ekonomik çevrede rekabet, zaman ve hizmet yeteneğini amaçlamak ilgili firmalar adına önemli bir

geçerliliğe sahip olmaktadır. Ticaret gündeminin merceğinde yer alan lojistik ağının yapılandırılması, yeniden düzenlenmesi, dış kaynağa eğilim bu ve benzeri misallerle kendini göstermektedir. Bunun yanı sıra ağ bağlantılarının kurulması, ticari işleyişte yaşanan güçlükler ve artan rekabet sürdürülebilir ekonomiyi tetiklemekte ve birbiri ardınca gelişen sosyal trendler bu gelişmeleri farklı bir noktaya taşıyarak desteklemektedir. Bundan dolayı işletmelerin ve araştırmacıların stratejik olarak değerlendirdiği lojistik ağların dizaynı ve yeniden düzenlenmesi günden güne ilgi odağı haline gelmektedir. (Eskandarpour vd., 2015, s.12). Türkiye yaşanan küresel teknolojik gelişmelerin gerisinde olsa dahi; bilgi, iletişim ve teknolojik kaynaklarıyla teknolojik dönüşümlere ayak uydurmaya çalışmaktadır. Her şeyin dijitalleştiği günümüzde artık var olan sistemlerin hızlı değişen ve tatmin edilemeyen taleplere yeterli çözümler üretememesi, teknolojik gelişmeler ile üretim sistemlerinin yeniden yapılandırılmasını zorunlu hâle getirmektedir. Günümüzdeki üretim sistemleri; basit otomasyon ve geleneksel lojistik anlayışı, stok israfı, verimsizlik, hatalı üretim ve yüksek maliyet gibi sorunları beraberinde getirmektedir. İşletmeler küresel rekabet ortamında bir adım daha öne geçmek için bilgi, iletişim teknolojilerinin getirdiği yenilikleri ve dijital dönüşümün sağlanması ile geliştirilen ağ bağlantılı akıllı sistemleri mevcut sistemlerine ve tedarik süreçlerine etkin biçimde entegre etmeleri gerekmektedir. Değişen küresel dengeler sebebiyle farklı alanlarda yapılması gereken yeni düzenlemelerin zorunlu hale gelmesi, yeniden şekillenmesi beklenen küresel değer zincirinde bunu odağına alan endüstriler için yeni avantajlar getireceğini gözden kaçırmamak önem arz etmektedir. Dolayısıyla geniş ağ bağlantısı kurulumu nedeniyle yenilenen ve yeniden tarif edilen tedarik zinciri süreçleri rekabetçi yönlerine vurgu yapan endüstri kuruluşlarının ciddiyetle önceliğine alması gereken dijital uygulamaları icap ettirmektedir. Bundan dolayı sisteme ayak uydurmak yerine sistemin bir parçası olma yolunda adımlarını hızlandırmaları elzem gözükmektedir.

İş kavramı, son zamanlarda tedarik zinciri yönetiminin kritik bir aracı olarak görülmektedir. Bu da küreselleşme ile artan rekabetin giderek yoğunlaşmasına bağlı olmaktadır. Burada iki türlü görüş öne çıkmaktadır. Gereksinimler nedeniyle ilk olarak değer zincirini tümüyle kapsayan sıkı bir iş birliğine ihtiyaç duyulmasıdır. Diğer ise araştırmanın diğer boyutunu yansıttığı düşüncesiyle değer zincirleri arasındaki rekabete dikkat çekilmektedir. Küresel rekabetin bir sonucu olarak müşterilerin taleplerinin artması ile birden fazla firma üzerinde maliyet baskısının oluşması bunun çıkış noktası olarak görülmektedir. Tedarik zinciri yönetiminin şekillenmesinde yeni dijital araçların kullanım

olanağı bilgi teknolojilerinde yaşanan değişim için belirleyicidir. Bunun da neticede değer zincirinin geniş çapta yeniden tasarlanmasına öncülük edeceği düşünülmektedir. Değer zinciri kavramı hammaddenin elde edilmesinden nihai tüketiciye kadar geçen süre zarfında malzeme ve bilgi hareketlerini tümüyle bağlayan işlemleri hesaba katmaktadır. Tedarik zinciri yönetimi, değer zincirinin tüm unsurlarını çevreleyen rekabet becerilerini kazanmak maksadıyla ilgili işletmeler arasında gelişmiş paydaşlık değerleriyle ilgili eylemlerin entegre edilme çabasını içermektedir. Diğer bir ifadeyle öne çıkan tedarik zinciri yönetimi sürdürülebilir rekabet önderliği için beklenen avantajları elde etme gayreti olup ilgili operasyonların gelişmiş tedarik zinciri bağlantıları ile birleştirme gayesinden ibaret olduğu tespit edilmektedir. Tedarik zincirinin iki taraflı kapsayıcılığında birincil derecede önemli addedilen işletmeler arası malzeme ve bilgi akışının yönetilmesi yer alırken diğerini ise değer zinciri boyunca işletmeler arasındaki iş birliğinin yönetilmesi oluşturmaktadır. (Seuring, 2015, s.10).

Bu bölümde, tedarik zincirinin tanımsal yönü sınırlandırılmaya çalışılmış, ilgili yaklaşım ve gelişen teknolojilerin önemi çerçevesinde değerlendirmelere yer verilmiştir.

2.1.1 Tedarik Zincirinde İş Birliği

Alanla ilgili literatür incelendiğinde iş birliği açısından çeşitli görüşlere yer verildiği ve genel itibarıyla kavram üzerine problemlerin çözülmesine yönelik farklı kavramsal tanımlamalara gidildiği görülmektedir. Bir taraftan iş birliğinin ürünlerin geliştirilmesini kolaylaştıran bilginin oluşturulmasındaki yerine işaret edilirken diğer taraftan çeşitli yaklaşımların ortaya çıkmasının kendi tabiatından ileri geldiği savunulmaktadır. Farklı bir perspektife göre bilgiyi ve sorunu değerlendirme biçimi iş birliğini destekleyen ölçütlerden sayılmaktadır. İş birliği bu yönüyle sorunların giderilmesinde sürece dahil tüm unsurlara avantajlar getireceği öne sürülmektedir. İş birliği kavramı, yalnızca finansal sermayeye katkı sağlamayıp beşerî sermayeyi de geliştiren tarafla öne çıkmaktadır. Bu olgunun diğer avantajları ise paydaşlar açısından bilgiye ve pazara erişimi kolaylaştırması, çatışmaları önleyici yönü, kısa vadede ulaşılan hedefler, süreçlerin iyileştirilmesine sağladığı katkı ve kısmen disiplinlerinde üzerinde öğrenmeyi desteklemesi sayılmaktadır. Diğer taraftan doğrudan ya da dolaylı rekabet açısından iş birliğindeki noksanlıkların olumsuz ekolojik ve sosyal etkileri beraberinde getireceği vurgulanmaktadır. (Lozano, 2007, s.372). Hoof ve Thiell'e (2014) göre Lozano ise örgütsel gücün farklı yönleriyle

iyileştirilmesi gerektiğini belirtmekte buna bağlı firmaların sürdürülebilirliği sağlayan işbirlikçi çabalarına, iş birliğine ve değer odaklı yeterliliklerin belirlenmesine önem verilmesi gerektiğini savunmaktadır. (Hoof ve Thiell, 2014, s.239). Tespit edildiği kadarıyla iş birliği üzerine yapılan araştırmalardan elde edilen temel içgörü, iş birliğine olan yatkınlığın ekonomik açıdan diğer potansiyel faktörlere ve fırsatlara zemin hazırladığı yönündedir. Aksi takdirde potansiyel ticari kayıpla birlikte olumsuz çevresel ve sosyal sonuçları getirebilecek düzeyde önemli bir yapıyı temsil ettiği söylenebilmektedir.

Çok paydaşlı tedarik zinciri yönetiminde gönüllülük esasına dayalı iş birliği düşüncesiyle yola çıkmak, muhtemel potansiyellerin ortaya çıkmasını sağlayan ana etkenlerden sayılmaktadır. Buradaki ana çerçeve, taraflarca ortak bir hedefe kanalize olmanın önemine vurgu yapmaktadır. (Schönsleben ve Hieber, 2004, s.51). Bu anlayışı destekler nitelikte, tedarik zinciri yönetimi üretim ve tedarik ekseninde ürün ve süreçlerin yenilikçi anlayışla tasarlanmasını icap ettirmektedir. Bu sebeple TZY tedarik zinciri üyelerinin birlikte aksiyon aldıkları stratejik bir süreci ifade ederken uzun vadeye yayılan iş birliği sürecinin de koordine edilmesi olarak tarif edilmektedir. Bundan başka TZY'nin tanımsal çerçevesi gereği tedarik zinciri üyeleri arasındaki iş birliği esasında oluşan talebin bir sonucu olarak bazı düzenlemelere dikkat çekilmektedir. Faaliyetlere yönelik düzenlemelere ışık tutan tedarik zinciri yönetimi; yazılım sistemleri aracılığıyla kapasite ve envanteri belirlemekte, elektronik satın almaları gerçekleştirerek bu ve benzeri operasyonları tasarlamayı ve düzenlemeyi içermektedir. (Schnetzler ve Schönsleben, 2007, s.498-499). Burada ciddiyle üzerinde durulan iş birliği kavramının faaliyetlerin merkezine iş birliğine dayalı ilişkileri alan tedarik zinciri yönetiminin etki alanını çevreleyen tüm unsurları ile yenilikçilik hareketine değer sağladığı öne sürülmektedir. Tedarik zincirinde iş birliği ile oluşturulan çatı altında alınan aksiyonların muhtemel fayda sağlanacak potansiyellerin açığa çıkmasında etkili olacağı savunulmaktadır. Daha doğrusu iş birliğini önceliğine alan endüstriler, yenilikçilik hareketine ivme sağlayarak tedarik zinciri yönetiminin yeniden konumlandırılmasında önemli bir itici gücü temsil etmektedir.

Artan farkındalıkla gelişen sürdürülebilirlik anlayışı, ekolojik duyarlılığa sahip üretim faaliyetlerini yürüten inisiyatifler aracılığıyla tedarikçiler arasında elverişli ve ileri düzeyde bir iş birliğine neden olmadıkça çevresel yükümlülüklerin gerçekleştirilmesinin mümkün olmayacağı varsayılmaktadır. Bundan dolayı zorlayıcı koşullar göz önüne alındığında sürdürülebilirlik ideallerine ulaşabilmenin temel koşulu, tedarik zinciri tarafları (tedarikçiler ve alıcılar) arasında beklenen iş birliğini gerçekleştirme zorunluluğudur.

(Afum vd., 2020, s.1461). Dördüncü sanayi devriminin ve küresel etkilerin yarattığı kurumsal ve toplumsal talep, günümüze değin ekonomik faydanın gözetildiği geleneksel anlayışın işlevini kaybetmesine neden olurken yeniden şekillenmesinde çevresel ve sosyal etkenlerin ağırlığı ön plana çıkmaktadır. Sürdürülebilirliğin temel yapı taşları arasında incelenen üçlü performans ilkeleri değişen perspektifin temel dayanaklarını oluşturmaktadır. İş birliğini iş süreçlerine entegre eden işletmeler, değişen endüstriyel koşullar nedeniyle sürdürülebilirliğin temel prensiplerine ulaşmayı güçlü iş birliklerine bağlamaktadır.

2.1.2 Tedarik Zincirinde Görünürlük (Şeffaflık ve İzlenebilirlik)

Tedarik zinciri kapsamında izlenebilirlik birincil derecede öneme sahiptir. Bu yetenek kapsamında tedarikçiler hakkında üreticilere doğrudan takip olanağı verilmekte tedarik zinciri içerisindeki güçlüklerin üstesinden gelinmesinde kolaylık sağlamaktadır. İzlenebilirlik sistemini çeşitli kademelerinde kullanan tedarik zinciri üyeleri, bu yeterliliğin kendi karar organlarına sağladığı avantajlar içerisinde etkili süreçlerin belirlenmesi de yer almakta bu da ilgili taraflar açısından önemli bir rol oynamaktadır. Firmalar, tedarik zincirine katılan yeni üyelere tedarik zincirine dâhil diğer üyeleri ne şekilde izlediği ile ilgili bilgi verebilmektedir. Bu sayede ilgili faaliyetlerin firmaya getirisinin ne düzeyde olduğunu tespit edebilmektedirler. (Koç, 2020, s.422). Sürdürülebilirliğin esas alındığı bir takip ise tedarikçilerle ilgili ölçümleme kıstaslarının belirlenmesine, ilgili bilgilerin bir araya getirilmesine ve malzeme hareketinin de gözlendiği bir işleyişe ihtiyaç duymaktadır. Bununla beraber ilgili süreç çevresel ve sosyal verimin değerlendirildiği tedarikçi uygulamaları dâhil, ilgili eylemlerin kendiliğinden yönetimini gerektirmektedir. Bu uygulamalar doğrultusunda üretim süreçleri ve verimlilik denetlenmekte, satın alma anlaşması ve gönüllülük esasına dayalı iş prensipleriyle uyum da ölçülebilmektedir. Uygulamanın gerçekleştirilmesinde onama sistemleri ya da mevzuat standartlarına uygunluğun belirlenmesi de ayrıca belirgin bir öneme sahiptir. (Gualandris vd., 2015, s.2) Teknolojik ve endüstriyel gelişim süreci, tedarik zinciri izlenebilirliğine modern bir değer katarak mevcut koşulların gerektirdiği beklentileri sağlayacak niteliktedir. Bu konuya eğilen literatürün tespit ettiği net bulgular, konunun derinlemesine anlaşılması bakımından önem arz etmektedir. Tedarik zincirinde çözülmeyi bekleyen birçok sorunun nedeni eksik veri bilgisinden kaynakladığı gibi bunların arasında yanıt verebilirlikteki zayıflık, şeffaf olmayan iş ilişkileri ve tespiti mümkün olmayan süreç aksaklıkları başta gelmektedir.

İşletme ve endüstriyel süreçlerdeki birtakım sorunların çözülmesinin yolu, kurumsal kültür, vizyon ve hedeflerin stratejik anlamda belirlenmesiyle mümkün olacaktır. Bunun başarılmasını sağlayan temel faktörler içerisinde birincil derecede önem sahip modern gelişmelerin sunduğu yeteneklerin örgütsel ve toplumsal ihtiyaçlara göre tanımlanmasıdır. Bu anlamda yeni süreçlerin, yeteneklerin ve teknolojilerin başarılı bir entegrasyonu kritik dönüşüme hazır olmaya bağlı olduğu söylenebilir. Literatürde tanımlanan nesnelerin interneti, Endüstri 4.0'ın tedarik zincirine getirdiği önemli avantajlar arasında sayılırken bu değişimde önemli bir yere sahip olduğu da gözlenmektedir.

Bilgi teknolojilerinin sunduğu yeniliklerden biri olarak tanımladığımız nesnelerin interneti birçok alanda olduğu gibi tedarik zinciri yönetiminin değer zincirinde de dinamik bir değişimin habercisi olmuştur. Nesnelerin interneti, tedarik zincirindeki iletişimi farklı şekilde anlamlandırarak önemli bir seviyeye getirmektedir. Çeşitli tedarik zinciri birimleri arasında aktarmalara konu olan ya da belirli bir yere depolanan verileri sağlayan nesnelerin interneti, nesneler arasında otonom iş birliği vasıtasıyla insan ve nesneler arasındaki iletişimi mümkün kılmasıyla tasvir edilmektedir. Nesnelerin interneti, tedarik zinciri sorunlarını bertaraf etme çabası ile tedarik zinciri görünürlüğünü belirli bir düzeye getirmekte hız ve adaptasyon düzeylerine anlamlı bir katkı sağlamaktadır. Akıllı cihazlardan derlenen verilerin incelenmesi, verimliliği ve yarar sağlayacak çıktılara evrilmesi amacıyla dâhilî ve haricî koşulların yapılandırılması için erken ihtar sağlayabilmekte ve tedarik zincirinin bütün bağlantılarını benzersiz şekilde görünür kılmaktadır. Bu teknoloji sayesinde uyarıların gerçek zamanlı karşılanması etkin tedarik zinciri düzeylerini getirecektir. (Ben Daya vd., 2021, s.19). Dahası nesnelerin interneti teknolojileri tedarik zincirini uçtan uca çevreleyen görünürlüğü sağlayabilmek amacıyla kavramsal bir yapıya dönüştürülmüştür. (Vass vd., 2020, s.18). Tedarik zincirinde görünürlük teması altında değer ifade eden şeffaflık kavramı, Endüstri 4.0 ve döngüsellik kavramını buluşturan noktada endüstriyel çabaların döngüsel gelişime hangi yönden ek değerler sağladığının ifade edilmesi açısından da önemli bir yere sahiptir. Bu yönden değerlendirilen malzeme, süreç ve zorunlu iş faaliyetleri, sürdürülebilirlik odağında yeni yaklaşımlar ile döngüsellik ve kaynak verimliliğini hedeflemektedir. Yenilikçi yaklaşımları gerçekleştirebilmek için çevresel, sağlık ve sosyal faktörleri gözetken yönetmeliğe uygun standartların belirlenmesine ihtiyaç vardır. Bunun sağlanabilmesi şeffaf tedarik zincirlerinin oluşturulması ile mümkün olacaktır. (Koszewska, 2018, s.337). Geleneksel yaklaşımın ötesine geçmek isteyen modern ve sürdürülebilir tedarik zinciri yaklaşımı,

nesnelerin interneti gibi modern teknolojileri odağına alarak iş süreçlerinin daha da şeffaflaşmasına imkân vermektedir. Mevcut yaklaşıma farklı bir bakış açısı getiren bu dijital uygulama, iş birliği esasına dayalı iletişime yoğunlaşarak izlenebilir tedarik operasyonlarını bütün üyelere görselleştirmesiyle tanınmaktadır. Bu teknolojilerin mevcut süreçlere hızla uyarlanabilirliği ve gerçek zamanlı veriler sayesinde muhtemel hataların öncesinden tespitine olanak verilmesi ve gerekli tedbirlerin kestirilebilmesi işletmelerin odaklandığı teknolojik yenilikler olarak tarif edilmektedir. Sürdürülebilirlikten sağlayacağı faydaya yönelen işletmeler, nesnelerin interneti ve benzeri teknolojileri sürdürülebilirliğin bütün adımlarına yönelik değer yaratan fonksiyonuyla ele almakta ve elverişli koşulları sağlayarak beklenen standartlara destek verebilmeleri söz konusu olmaktadır.

2.1.3 Tedarik Zincirinde Güven

Değişken ve dinamik koşulların bir sonucu olarak tedarik zinciri süreçlerinde artan aksaklıklar ve güçlüklerle baş edebilmek işlevlerin önemli düzeyde karşılıklı onaylanmasına bağlıdır. Karşılıklı güvenin sağlandığı ortamlar sayesinde ilgili düzenlemeler ve iyileştirmeler doğru zamanda yapılabilecektir. Bu sebeple önemli teknolojik yaklaşımların devreye girmesi, değişken bireysel ya da kurumsal beklentileri ötelemeyip gerekli avantajların sağlanmasında bir araç olarak görülmektedir.

Emtia üretimi konusunda tüketici ve nihai kullanıcılar çoğunlukla gerçekleşmesi olası kriz faktörleri konusunda bilgi sahibi değildirler. Bu gibi durumlardan ötürü mevcut ihtiyaçlar, risklerin azaltılması, tüketici ve işgücünün güvence altına alınması, tedarik zincirindeki beklentiler doğrultusunda artan oranda şeffaflığa doğru kaymıştır. Bu da günümüzün ürün tasarımı çerçevesinde bilgiye erişimi kolaylaştırmak ve tüketici güvenini yeniden yapılandırmak amacıyla zorunlu bir talep haline gelmiştir. Bu arka plana göre incelenen blok zinciri uygulamaları sayesinde sistem içerisinde yapılan geliştirme önerileri ağı dahil katılımcılar aracılığıyla onanmadığı takdirde uygulama gerçekleştirememektedir. Güven ve şeffaflığın iyileştirilmesi tüm katılımcıların dâhil olduğu süreç ile sağlanabilmektedir. Blok zinciri etkileşiminin karakteristik yapısı gereği ağ üyeleri tarafından onaylanmayan aksiyonlar sisteme dâhil edilmemektedir. Bu yolla dağıtık bir ağ sisteminin süreç madenciliğinde güven oluşturulabilmektedir. (Abeyratne ve Monfared, 2016, s.2). Tedarik zincirinde lojistik süreçleri önemli bir yere sahiptir. Beşerî ve fiziki kaynakların devreye alındığı işletme süreçlerinde kaliteye, zamana ve çevikliğe dayanan faaliyetlerin verimli

yürüyebilmesi için iş birliğini güçlendiren güvene ihtiyaç duyulmaktadır. Tedarik zincirinin bel kemiği diye tabir edebileceğimiz lojistik faaliyetleri, endüstriyel gelişmelerle yeni bir yapıya bürünmektedir. Burada eylemlerin nihai hedefine ulaşmasında etkili olan fiziki faktörlerin yeni gelişen teknolojilerle yol alabilmesi için modern iletişim ağları aracılığıyla ilişkilerin güçlendirilmesine ve ortaklar arasındaki bağların güven temelli ilerlemesine ihtiyaç olduğu belirtilmektedir. Lojistik faaliyetler üzerine pazar araştırması ve geçerli lokasyonun belirlenmesi birtakım öncelikleri gerektirmektedir. Örneğin, lojistik hizmetlerin, belirlenen bir lokasyon üzerinden yürütülmesi yetkili kişilerin fizibilite çalışmalarına bağlı olmaktadır. Bu da genellikle bilir kişiler açısından belirsizliğe yol açmaktadır. Yetkin kişiler, bulut kaynaklı lojistik hizmetler söz konusu olduğunda lojistik noktaların tespiti için hizmetlerin özgül yapısı gereği taraflar arasında sıkı ve güvenli bir bağın oluşması gerektiğini savunmaktadır. Dolayısıyla hizmetlerin alınmasında güçlüklerle karşılaşılabilmesi söz konusu olduğu için lojistik merkezli düşünce tam anlamıyla sağlanamamaktadır. (Hofmann ve Rüsch, 2017, s.32). Birbirine bağlı tedarik zinciri üyelerinin aktif katılımıyla oluşturulan değer ekosistemi, güven temelli ortak deneyimin yaşanmasına fırsat verirken bu süreci garanti altına almayı da önemli bir koşul olarak ileri sürmektedir. Modern teknolojiler sayesinde karşılıklı olarak daha da bağımlı hâle gelen değer zincirinin üyeleri, yaratılan güvenin etkisiyle sürdürülen faaliyetleri risk altına sürüklememek amacıyla ilişkilerin dayanıklılığını temin etmeye çalışmaktadır. Kritik bilgileri konu edinen risk çerçevesi verilerin ihlalini ortadan kaldırmak ve siber saldırılara bir dayanak oluşturmak maksadıyla izleme ve kontrol sistemlerini aktif hâle getiren yeni ve modern teknolojilere talebi artırmaktadır.

Tedarik zinciri kavramı altında üretim sistemlerinin işleyişini ele aldığımızda herhangi bir ürünü, sağlayıcıdan nihai kullanıcıya ulaşmasına imkân veren beşerî ve fiziki varlıkları konu edindiğini görmekteyiz. Bu akış, buna dahil bilgiler ve süreçleri, mali anlaşmaları ve benzeri işlemleri de içeren bir takım sistem unsurlarını içinde barındırmaktadır. Geniş bir faaliyet alanını kapsayan tedarik zinciri sistemlerinde işlem hareketlerini tarif eden bir mekanizmayı göz önünde tutmak güç bir mesele olarak tarif edilmektedir. İlgili bilgiler farklı noktalara depolanmakta ve yalnızca belli başlı sistem birimleri için erişime açık hâle getirilmektedir. İfade edilen sistem içerisindeki müşteri genellikle son kullanıcıyı ya da büyük işletmeleri tanımlamakta ve sadece bazıları bilgiyi kullanabilmektedir. Genel itibarıyla, sağlayıcılar yönünden bilgilerin bir bölümü emtia gibi algılanmaktadır. Görüldüğü kadarıyla şeffaflığın düzeyi işlem hareketlerindeki görünürlüğü sağlayabilmek

adına sistem üyeleri içerisindeki güvene büyük ölçüde bağlı olmaktadır. (Abeyaratne ve Monfared, 2016, s.4). Dijital teknolojiler, bağlayıcı yönüyle tedarik zinciri üyeleri arasındaki ilişkileri pekiştirmekte, sanal anlaşmalar yoluyla güvenli iş akışlarını tesis etmektedir. Bu sanal ve dijital sözleşmeler aracılığıyla birbirine entegre tedarik üyeleri, iş süreçleri ve veriler bu ilişkilerden kaynaklı oluşması muhtemel siber risklere karşı korunmakta ve bu sayede iş ilişkileri sürdürülebilirlikte. Farklı yönleriyle ele alınan tedarik zinciri faaliyetleri kapsamında işleyen mekanizmanın aktif bileşenleri olarak görülen aktörler ve varlıklar arasındaki iletişim, dayanışma ve karşılıklı taahhüdün gerçekleşmesi tümüyle güven esasına dayalı iş birliği olgusuna dayanmaktadır. Dolayısıyla risklerin bertarafı ve iş akışının devamlılığından elde edilecek katma değer bütünü paydaşlarca sağlanabilmesi bu olgu çerçevesinde mümkün olabilmektedir.

2.1.4 Tedarik Zincirinde Birlikte Çalışabilirlik

Tedarik zinciri sistemini oluştururken altyapı ile ilişkili örgütsel ya da işlevsel sorunların çözümünde bağımsız birimlerin birlikte çalışması etkili olmaktadır. İlgili birim ve kuruluşların bütünüyle katılımında gönüllülük esası da önemli bir kriter olarak öne çıkmaktadır.

Önceleri iş birliği, karlılığa odaklı iyileşmeleri hedefleyen tedarik zinciri ortaklarının ilgili özerk kuruluşlar ile beraber rekabet üstünlüğünü kazanmak amacıyla birlikte çalışma süreci gibi algılanmaktaydı. İş birliği kavramı yüklenilen anlam bakımından zaman içinde değişime uğramış birden fazla üyenin sürdürdüğü operasyonların, anlaşmaların ve ilişkilerin koşullara uygun şekilde yönetilmesi olarak tanımlanmıştır. (Özkan, 2021, s.57). Anlam bakımından tedarikçi üyelerin birlikte çalışmasının iş birliği temelinde gerçekleşmesi nedeniyle kurulan iş bağlantılarının bir uyum sürecine yol açtığından bahsedilebilmektedir. Bunun varlığı ise iş ilişkilerini geliştiren uyum sürecine hazır olmaları gerektiği sinyali de beraberinde vermektedir.

Nadiren de olsa entegrasyon ve birlikte çalışma kavramlarının birbiri ile karıştırıldığı da görülmektedir. Kavramsal içerik bağlamında entegrasyon ve birlikte çalışabilirlik ifadeleri birbiri yerine kullanılmaması gerekmektedir. Entegrasyon kavramı teknik manada araç, hizmet ve ilişkili bileşenleri geniş kapsamda bağlayan konseptin bir unsuru olarak teknolojik ürünlerin düzenlenmesini temsil etmektedir. Buna karşın birlikte çalışma ise

birbirinden ayrı planlanan işlemlerin gerçekleştirilmesini kolaylaştıran ve ilgili bağların kurulmasını sağlayan işlemlere ilişkin ara birimlerin oluşturulması anlamına gelmektedir. (Bechini vd., 2008, s.353). Bu iki kavramın birbirinden ayrılan yönlerini değerlendirdiğimizde alt sistemlerin ortak çalışmasıyla gerçekleşen bütünsel bir entegrasyona işaret edildiğini söylemek mümkündür. Entegrasyon, işleyen mekanizmaya süreçlerin, sistemlerin ya da teknolojilerin uyumu şeklinde tanımlanırken her bir unsur arasındaki bağlantının oluşturulması ve bu bağın işlevselliği de birlikte çalışmayı tarif etmektedir. Bu açıdan ele alınan birlikte çalışabilirlik terimsel olarak genel ifadesiyle belirli bir çerçeveye sıkıştırıldığı ve bazı kısıtlara sahip olduğu düşünüldüğünden sürdürülebilirlik ölçeğinde yeniden anlamlandırmak faydalı olacaktır.

Temiz üretim için alınması gereken aksiyonlar arasında yeni yetenekler tasarlama, ortak bir çabanın ürünü olarak yeni süreçleri tanımlama ve olağan işlemlerin koordine edilebilmesi yer almaktadır. Bu tedbirler sayesinde firmalar, kamu kuruluşları ve paydaşların birlikte çalışma olanaklarını çoğaltabilmesi ve gerekli becerilere sahip olabilmesi işletme kapasitesini tanımlamaktadır. İşletme kapasitesi altında alışlagelmiş işlemlerin iletişim yönü irdelendiğinde etkin birlikte çalışmanın bir sonucu olarak beceriler, sürdürülebilirlik yönünde yeniden tasarlanabilmekte bilgi alışverişi ise paydaşlar arasında etkili bir şekilde gerçekleşmektedir. Sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla paydaşların birlikte çalışması temiz üretim ve sürdürülebilirlikle ilgili stratejilerin hayata geçirilmesinde önemli bir olgu olarak tasvir edilmektedir. Çok ortaklı birlikte çalışmanın önemini ve katkısını vurgulamak maksadıyla organizasyon biçimini ve süreçlerini birleştiren genişletilmiş iş birliği kavramı çevresel etkileri azaltma ve ekolojik değeri anlamaya yönelik sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi kapsamında genişletilmiş ve tanımlanmıştır. (Hoof ve Thiell, 2014, s.239-241). Günümüzde olumsuz sosyal ve ekonomik etkilerin büyüklüğü sebebiyle çevresel duyarlılığın giderek artması, sürdürülebilirliğin diğer boyutları ile beraber çevresel yönünün de irdelenmesini icap ettirmektedir. Bu arka plan ve çevresel eğilimden ötürü günümüze kadar gelen birlikte çalışma kavramına yönelik dar perspektifin sınırları aşılarak daha geniş bir çerçevede değerlendirilmesine yol açmaktadır. Bu anlamda sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi gibi yaklaşımlarla güdülenmesi beklenen iş birliği kapasitesini ve açılımını etkileyen birlikte çalışma kavramı, ortak değer üretme fonksiyonu nedeniyle ilgili eğilimlerin ne düzeyde gelişim gösterdiğine ve etkilerine bakılmıştır.

2.1.5 Tedarik Zincirinde Entegrasyon

Tedarik zinciri yönetimi hakkında yapılan açıklamalar, daha çok konunun uygulayıcılar yönüyle değerlendirildiğini göstermektedir. Esasında bunun lojistik etrafında gelişen bir olgu olmayıp onun da ötesinde bir değeri ifade ettiği ve bu sebeple malzeme ve bilgi alışverişinin dahil olduğu iş birliğine dayalı yönetimin kapsamlı bir lojistik çerçevede entegrasyonu olarak tanımlanmaktadır. Geçerli ve entegre tedarik zincirlerinin hedefleri doğrultusunda tedarik zinciri yönetimine ivme kazandıran temel itici güçler arasında mali çekinceleri en asgari düzeye çekme ve faydayı maksimize etme yer almaktadır. Böylelikle ekonomik sürdürülebilirliği sağlamak mümkündür. Önceleri tedarik zinciri yönetimi konvansiyonel bir anlayışla tedarik üyeleri için satın alma fiyatlarının düşürülmesinde ve tedarikçinin kolaylaştırılmasında destekleyici bir unsur olarak değerlendirilmekteydi. Buna karşın yeni bakış açısı, tedarik zinciri yönetimini tasarım, güçlendirme, iyileştirme ve tedarik zincirinin dâhilî ve haricî tüm öğeleriyle yönetilmesi şeklinde bir süreci tanımlayarak yeni bir yapıyı temsil etmektedir. Bunun aksine başka görüşler ise tedarik zinciri yönetimini somut ve sayısal bileşenlerin oluşturduğu bir yapıya dönüştürme çabasına girmişlerdir. Görüldüğü üzere literatürde tedarik zinciri yönetimi farklı şekillerde disiplinler arası ifadesini bulmakta ve tabiatı gereği entegrasyon, koordinasyon, ortaklık ve iş birliği gibi kilit niteliklere sahip olduğu gözlenmektedir. Bu etkileri sebebiyle tedarik zinciri entegrasyonu geleneksel düşüncenin hudutlarını aşarak yaygın şekilde geçerli hâle gelmektedir. (Özkan, 2021, s.6-7). Başka bir açıdan tedarik zinciri entegrasyonu, tedarik zinciri üyelerinin tamamını kapsar nitelikte kaynakların ve bilgilerin entegre edilmesi olarak da tasvir edilmektedir. Sürdürülebilir tedarik zinciri entegrasyonundan söz edilecek olursa faaliyetlerin sürdürülebilirliğinin sağlanması ancak tedarik zinciri taraflarının iş birliği ile mümkün olabileceği savunulmaktadır. (Junaaid vd., 2022, s.145). Bu bilgiler ışığında diğer literatür örneklerinde tedarik zinciri entegrasyonu hakkında belirgin sınırlamalara gidildiği de tespit edilmektedir. Bu kavramsal olgunun daha ileri boyutta değerlendirilmesi için sürdürülebilirliğin rolü kritik bir değer taşımaktadır.

Otomotiv ve havacılık gibi sektörlerin var olan teslimat ve kalite sorunlarından dolayı entegrasyon tartışmaları hız kazanmıştır. Tedarik zincirinde ciddi performans faktörlerinden biri olarak görülen entegrasyon kavramı üzerine çekişmeler devam etmektedir. Küresel anlamda tedarik zincirinin entegrasyonuna yönelik yaşanan güçlüklerle dikkat çekilmektedir. Bugüne değin tedarik zinciri yönetimi ve tedarik zinciri entegrasyonu birbirinden teorik manada ayrı değerlendirilmemiştir. Tedarik zinciri entegrasyonu üzerine

önerilen geleneksel yaklaşımlar küresel tedarik zincirlerini karakterize eden sürdürülebilirliği, kültürel çoğulculuğu ve adaptasyonu çözememektedir. Dolayısıyla bu şekliyle içinde bulunduğu istikrarsız ve komplike dünyanın ihtiyaçlarına cevap verememektedir. Bu manada entegrasyon kavramının yeniden tarif edilmesi gerekirse ürün yaşam döngüsü süresince sistem unsurlarının birbiri ile bağlantısının maddi, sanal ve sosyal açılardan sağlam bir zemine oturtulması gerektiğidir. İşlerin düzenlenmesine ilişkin tedarik zincirini çekici hâle getirecek rekabet yeteneklerinin muhtemel fırsatları da beraberinde doğuracağı tahmin edilmektedir. Bu açıdan ele alınan ilişkiler ve yetkiler ışığında oluşan bağlar, tedarik zincirinin esasını oluşturmaktadır. Bu da tamamıyla performans gücüne dayalı bağlantıların iyileştirilmesi ve geçerli yetkinliğin ne şekilde kullanıldığı ile ilişkili olup bu şekilde iş ilişkileri anlamlı hale gelmektedir. Nitekim tedarik zincirinin tasarlanması ve geliştirilmesi bağlamında sosyo- kültürel unsurlar açısından ele alınan tedarik zinciri entegrasyonu, amaçlanan olguyla bağlantı olarak kendini göstereceğine işaret edilmektedir. (Kolmykova, 2016, s.231). Tedarik zinciri entegrasyonu literatürde iş birliği ile bütünleşik değerlendirildiği gibi daha öncede ifade edildiği gibi birbirinin yerine de kullanılmaktadır. Tedarik zinciri yaklaşımları ortak değer ve etki yaratma gayesi ile belirli bir konsept çerçevesinde sektörel beklentileri farklı dinamikleri ile sentezleyerek araştırmalara katkı sağlamaktadır. Bu gibi araştırmalar, sürdürülebilir kaynaklı döngüsel performans hedeflerine giden yolların çeşitlilik arz ettiğine ve bunun gerçekleşmesinde ise etkin olan faktörlerin geniş bir yelpazeye yayıldığına işaret etmektedir. Kısıtlı bir perspektifle incelenen geleneksel tedarik zinciri yaklaşımları olağan çevresel ve sosyal gelişmelere duyarsız kalamayarak önemli bir açılımla diğer unsurların gelişimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu anlayışla, organizasyonlar çevresel olguların dikkate alındığı üretim uygulamalarını benimseyen bir tutum sergilese dahi yukarı ve aşağı yönlü tedarik zinciri ortakları arasındaki dayanışmayı (tedarikçi ve müşteri entegrasyonu) ciddiyetle sağlayamadığı takdirde kuruluşların istenilen sonuca ulaşamayacağı ileri sürülmektedir. Tedarikçi entegrasyonu aracılığıyla temin edilen ekolojik girdiler ve hammadde ihtiyacı üretimde sağlanabilecek katma değerın yükseltilmesinde bir araç olarak görülmektedir. Üretimdeki uygulamalar ile öne çıkan firmaların ekolojik duyarlılığa sahip ürünleri meydana getirmesi müşteri entegrasyonu sayesinde sağlanan geri dönüşler ve teklifler ile mümkün olabileceği vurgulanmaktadır. (Afum vd., 2020, s.1458). Düünden bugüne dinamik küresel koşullar nedeniyle yeniden tarif edilen yaklaşımlar kapsamında birçok disiplin yeniden

anlamlandırılma sürecine girmektedir. Bunlar içinde önemli bir olgu olarak öne çıkan tedarik zinciri entegrasyonu diğer faktörlerin etkisiyle beraber sürdürülebilirlik temelinde fayda sağlaması beklenmektedir. Bu sebeple, değer zincirinin tüm paydaşlarının uyumu şu ana kadar ihmal edilen ekolojik dönüşümün gereği olarak ilgili ihtiyaçlara yönelme çabasını açıkça istemektedir. Tedarik zinciri faaliyetlerinin temeline ilk aşamada sosyal ve ekolojik değer yaratma anlayışını yerleştirmenin önemli bir paydaş olarak görülen çalışanların ve müşterilerin memnuniyetiyle sağlanan sağlam bir entegrasyonla mümkün olacağı şüphesizdir. Sürdürülebilirlik odağında yürütülen tedarik zinciri aktiviteleri, birçok paydaşın gönüllü entegrasyonuna öncülük etmesiyle mali kazançları sağlayacağı gibi sürdürülebilir ilişkileri de pekiştireceği tahmin edilmektedir.

2.2 Tedarik Zincirinde Sürdürülebilirlik

Günden güne daha çok yasalar ve toplumsal güçlükler ile baskılanan iş çevresinin sürdürülebilir gelişim konusundaki beklentileri, karşılaştığı zorluklar karşısında belirginleşmektedir. Sürdürülebilir uygulamaları bütünüyle kapsayan bütünleşik bir tedarik zinciri, firmaların tedarik tarafını ilgilendiren sınırları önemli düzeyde genişletmekte ve sürdürülebilir gelişimin güncelliği açısından da önerilmektedir. Organizasyonların genel yapısı itibarıyla kısmi iyileştirmeler yeterli olmayıp zincirin tümünü etkileyen bir iyileştirmede maliyet bütünüyle değerlendirilmeli açığa çıkacak değerlerin ise maksimize edilmesi hedeflenmelidir. Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin stratejik getirileri, yüksek kurumsal prestij, mali başarı ve operasyonel kanıtlarla yakından bağlantılıdır. Bununla beraber yasal uygulamalar sebebiyle işlevsel etkilere sahip farklı önlemlerin alınması sürdürülebilirliğin firmalara ne şekilde uyarlanacağı ile ilgili kritik bir konu olarak öne çıkmaktadır. Dolayısıyla akademik çevre ve uygulayıcıların gereksinim düzeyleri, hâlihazırda değişime zorlayan yasal düzenlemelerin yarattığı baskıyı değiştirmeyecektir. Sürdürülebilir kalkınmanın birçok alanda yarattığı etkiler göz önüne alındığında tedarik zincirlerini yeni baştan yapılandırmadaki amaç, ekonomik refaha ulaşılması, sosyal dengenin sağlanması ve çevresel kalitenin entegre edilmesidir. Bu ise arka planda tüketiciler, denetçiler, lobi kolları ve bireylerin sürdürülebilirlik adına maruz kaldıkları zorlukların bir gereği olarak ortaya çıkmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma ışığında tedarik zinciri faaliyetlerine ve yönetimine katkı, kaynak temininden; ürünün dizaynı, üretim, taşıma sistemleri, stokla ilgili önlemler ve dağıtımda içinde olmak üzere atık şebekeleri ve paydaş bağlantısının da yeniden şekillenmesi ile sağlanabilmektedir. (Fabbe-Costes vd.,

2014, s.665). Bu sebeple tedarik zincirinin önemli yapı taşları arasında yer alan gelişmiş lojistik faaliyetleri tedarik zincirinin yeniden düzenlenmesi kapsamında önemini korumaktadır. Lojistik faaliyetlerin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi, bu alandaki eksik bilgilerin güncellenmesi ve alanla ilgili tedarik zincirinin yönetimi çerçevesinde yerinin belirlenmesi adına farklı bir bakış açısı getirecektir.

Sürdürülebilirlik üzerine günümüze kadar gelen tanımsal çerçeveye göre literatürde sosyal, ekonomik ve çevresel boyutun yorumlanmasında eksiklikler olduğu dikkat çekmektedir. Esasında Sürdürülebilirlik Konseyinin (RNE-Rat für Nachhaltige Entwicklung) öngördüğü üzere sürdürülebilir kalkınma etrafında ekolojik boyutu sosyal ve ekonomik yönleriyle aynı düzeyde düşünmek gerektiği ileri sürülmektedir. İş yapış şekilleri açısından sürdürülebilirliği değerlendirdiğimizde sürdürülebilirliğin gelecek kuşaklara sağlam bir çevresel, sosyal ve ekonomik düzenin sağlanmasına katkı sağlayacak şekilde yürütülmesi gerektiği ifade edilmektedir. Her bir unsurun birbiri ile entegre düşünülmesi gerektiği savunulmaktadır. Yeşil lojistiğin, örneğin sosyal sürdürülebilirlik bağlamında neleri içerdiğine göz gezdirilirse adil ücret, iş güvenliği, yarı zamanlı iş modelleri, firmaların sağlıkla ilgili uygulamaları ve değişim yönetimi gibi kurumsal sosyal sorumluluk altında gösterilen faktörleri içerdiği görülmektedir. Kavram olarak lojistik sade bir taşıma faktörü özelliğinin önüne geçerek tanımsal yönü genişletilmiştir. Burada popülasyonun değer yargıları haddinden fazla sürdürülebilirliğe eğilim göstermektedir. Bu çerçevede bilgi teknolojilerine yüklenen değer ve sosyal manada üzerinde durulan gereklilikler yönetim meselesine işaret etmektedir. İşletmelerin alacağı riskler değerlendirildiğinde elverişli bir kurumsal ideoloji, strateji ve kültür etrafında değerlendirilmeyen sürdürülebilirlik araçlarının işletmeleri olduğunca fazla risk altına sürükleyeceğinden söz edilmektedir. Sürdürülebilirlik yönetimi, proaktif bir risk yönetimi gibi algılandığında ancak o zaman işletmelerin pazarda uzun vadeli bir görüş açısına hâkim olabileceği vurgulanmaktadır. Burada lojistiğin hemen hemen bütün eylem alanlarını kapsayıcı yönü ya da ilgili süreçlere bir ölçüde dokunabilmesi sürdürülebilirlik yönetimi içindeki değerinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda yönetimin spesifik tutumunun sadece yeşil teknolojilere ya da etkili süreçlere odaklanması yeterli olmayıp sürdürülebilirliği tüm yönleriyle öncelikli kılan yükümlülükleri üstlenmesini içermektedir. (Pfennig, 2019, s.585-587). Bugüne değin tek taraflı beslenen lojistik kavramının daha genelleyici ifadesiyle tedarik yönetiminin önemli bir yapı taşı olarak görülmesinde bilhassa ekonomik, sosyal ve iklimsel açıdan zorlayıcı sonuçlar göz önüne alındığında kavramın yeniden anlamlandırılması

gerekmektedir. Sürdürülebilirlik bağlamında lojistiğin kapsayıcı etkisi göz önüne alındığında yönetim tarafından zorlayıcı etkilerin bu minvalde değerlendirilip bunda nüfuzu olan etkenler üzerine eğilmenin gerekliliği ciddiyle vurgulanmaktadır. Sonuçta her bir sürdürülebilirlik aracının diğeri ile entegre düşünülmesi gerektiği ve birbirinden bağımsız değerlendirilemeyeceği üzerinde durulmakta ve bunun ise sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimine potansiyel katkısı özenle ifade edilmektedir.

2.2.1 Tedarik Zincirinde Sürdürülebilirlik ve Endüstri 4.0 İlişkisi

Endüstri 4.0'ın uygulama kapsamı günden güne giderek artan akademik araştırmalar ve pratikte uygulama örneklerinin çoğaltılması ile genişletilmektedir. Burada sürdürülebilirliği merkeze alan sistem anlayışının organizasyonlara yerleştirilmesi ve bütün kritik değerleri ile entegre edilmesi önem arz etmektedir. Bunun sağlanabilmesi bireysel, kurumsal ya da endüstriyel beklentiler odağında AR-GE çalışmalarına gösterilen özene bağlıdır. Teknolojik altyapıyı geliştirmek amacıyla göze alınan yatırımlar, süreci hızlandırırken ilgili tedbirlere yönelik atılan her adım bu girişimleri tetiklemektedir. Bu konuya ilişkin uygulama çevresinin etkili bir değişim yönetimi temelinde organizasyon kültürü ve vizyonunda esaslı bir yenilenmeye gitmesi, yönetsel ve finansal açıdan desteklenmesi, önemli koşullar olarak öne çıkmaktadır. Akademik araştırmalar çerçevesinde özellikle ampirik uygulamaları çalışmalarına dahil eden örneklerin bir sonraki araştırmalara ve uygulamalara ışık tutacağı tahmin edilirken farklı sektörel alanlara da değer sağlayacağı düşünülmektedir. Bu anlamda ilgili örnekleri incelemenin yararlı olacağı öngörülmektedir.

Bir keşif çalışmasından yola çıkarak nesnelerin internetini uygulayan perakende sektörünün elverişli lojistik süreçleri incelendiğinde hem iç hem de dış faktörlere ilişkin işletme içi dâhil tedarikçi ve müşterileri de bağlayan yönüyle bütüncül bir iyileşmeye gidilebilmektedir. Burada ilgili teknolojilerin onaylanması ve uyarlanmasına ilişkin elde edilen yararları işaret edildiği görülmektedir. Bunun gibi mevcut örneklerin tespit edilen boşlukların doldurulmasında ve tarif edilen fayda kapsamının genişletilmesinde destekleyici olduğu görülmektedir. Nesnelerin interneti gibi teknolojik unsurların görünürlüğünü kolaylaştıran niteliği ile otomatik erişimi aktif hale getirmesi bilgi paylaşımını destekleyen beceriler olarak öne çıkmaktadır. Lojistik süreçlerin uyumuna imkân veren bu beceriler, endüstrinin sürdürülebilirliğini besleyen kalite, maliyet ve

esneklik konularında tedarik zincirinin başarısını etkileyen değişkenlere değer kattığı ifade edilmektedir. Bu argümanlar, Endüstri 4.0 devriminin akıllı tedarik zinciri uygulamalarıyla öne çıkan IoT'yi kavrayabilmek adına yöneticilerin, endüstriyel iş birliklerin ve hukuki karar organlarının ilham alması için gerekli olduğu ileri sürülmektedir. (Vass vd., 2020, s.17-18). Endüstri 4.0'ın yarattığı potansiyel, işletmelerin iç süreçlerini etkilediği gibi dış süreçlerinde de bir değişime neden olmaktadır. Bu ifadeye göre ilgili reformun sunduğu benzersiz olanakların iç ve dış bağlantılara yansıma şiddetinin aynı değerde olduğunun düşünülmesi gerekmektedir. İşletmeler açısından organizasyonel ilişkilerde tarafların, buna bağlı doğal süreçlerin ve dinamiklerin etraflıca hesaba katılmadığı varsayıldığında beklenen değişimle gelen toplam değer etkileri büyük olasılıkla saptanamayacaktır.

Sürdürülebilirliği odağına alan tedarik zincirlerinin çıkış noktası, yalnızca işletmelerin fonksiyonlarına yönelik bir tutumdan ibaret olmayıp ekolojik ve sosyal boyutları da dönüşüm sürecine dahil ederek gelişim hacmini genişletmektedir. Bu yaklaşımın yaygınlaşmasını sağlayan paydaşlar, bilinen anlayışa bütüncül bir yaklaşım getirmektedir. Bu sebeple devreye alınan blok zinciri gibi uygulamalar gelecek vadeden karakteristik yapısıyla tanımlanmaktadır. Bu değer kapsamında ele alınan blok zinciri, sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik ölçütlerini takip ederek sorunların çözülmesinde çareler sunmaktadır. Dolayısıyla blok zincirinin kullanım olanağının yaygınlaştırılması, sürdürülebilir tedarik zinciri örneklerini çoğaltacağı gibi ilgili açıklamalar ise taraflara katkı sağlayacaktır. Tedarik zinciri süresince değerli ürünler hakkındaki bilgilerin saptanması ve derlenen verilerin saklanması, sürecin yönetimini iyileştirebileceği gibi sürdürülmesini de destekleyecektir. Üzerinde durulan teknoloji; sunduğu çeşitlilik, bağımsızlık, güvenilirlik ve emniyeti esas alan yararları ile tedarik zincirinin tüm araçları ve ortakları için geçerli olacağı vurgulanmaktadır. (Saber vd., 2018 s.2122). Sürdürülebilirlik odağından bakan endüstri liderleri ve tedarikçi ortakları dördüncü sanayi devrimini konu edinen teknolojilere kayıtsız kalamamaktadır. Bunu belirleyen birçok argüman olmasına rağmen bu durum kendi dinamikleri ile dönüşüme hazır olan işletmelerin ilk aşamada bu dönüşümün getireceği avantajların bilincinde olduklarını göstermektedir. Sürdürülebilirliğin önemli bileşenlerine değer sağlayan dördüncü endüstriyel gelişimin getirdiği olanaklar, çevresel kriterlerin önemsendiği bir çerçevede değerlendirildiği takdirde endüstriyel hedefler için daha bağlayıcı bir anlam ifade edecektir. Aksi takdirde endüstriyel dönüşüm faaliyetleri kurumsal ve ulusal düzeyde ilerleme kaydedemeyecektir. Dolayısıyla endüstriyel ilişkileri de derinden etkileyecek her

bir yeni uygulama diğer kullanıcıya rehberlik sağlayarak ilgili pratiklerin yaygınlaştırılması mümkün olacaktır. Endüstriyel dönüşümün bileşenleri arasında sayılan blok zinciri, güvenli ve özerk şekilde sanal anlaşmalar yoluyla sanal ve fiziki varlıkların takibini kolaylaştırmak gibi bir işleyişe hizmet etmektedir. Nispeten ilgili teknolojileri sunan hizmet sağlayıcıları bu süreçte katılan tüm tedarik zinciri ortaklarına ve araçlara eşit değerde katkı sunmaktadır. Akabinde bu devrimsel dönüşümün dışında kalamayarak akıllı sistemleri ve nesneleri aktif hale getiren paydaşların, böylesi bir kalkınma için önemli bir motivasyon sağlayıcı olduklarını söylemek mümkündür. Nesnelerin interneti gibi bilişim yeteneklerinden payını almak isteyen diğer endüstri kuruluşları ise kurumsal ya da toplumsal olarak ortak değer yaratma amacıyla ilgili teknolojileri uyarlamada teşvik edici olacaktır.

2.2.2 Tedarik Zincirinde Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi İlişkisi

Yeniliği hedefleyen ve endüstriyel uygulayıcıların hayatında önemli bir yeri olan yeni yaklaşımların kapsamını, iş ve sosyal yaşamın kalitesini ve sürdürülebilirliğini konu edinen temel unsurlar oluşturmaktadır. Yeni çağın gerekleri doğrultusunda sürdürülebilirliğin etki alanını genişleten temel dayanaklara yönelmenin ve bu esasların zaruriyetini ortaya koymanın önemli bir görev olduğu düşünülmektedir. Bu minvalde sürdürülebilirliğin önemli iki ayağını temsil eden döngüsel ekonomi ve ileri teknolojik uygulamalar girişimciler tarafından hedeflendiğinde bu müteşebbislerin yenilenmeye ve yeniden yapılanmaya hazır olma gerçeğini de beraberinde kabullenmeleri gerekmektedir. Bu bilinci taşıyan firmaların yeni düzenlemelere ve süreçlere tedarikçilerini de dâhil ve motive ederek gelişen sistem içerisinde yerlerini almaları sağlanmalıdır.

Bu düşünceyle yola çıktığımızda sürdürülebilirliğin yenilikçi bir bakış açısından kaynaklandığı ileri sürülebilmektedir. Tedarik zinciri yönetiminin sürdürülebilirliğinde sürdürülebilir yenilik önemli bir yere sahip olmaktadır. Bu alandaki araştırmalar sürdürülebilir inovasyona olan gereksinime işaret etmektedir. Sürdürülebilir yeniliğin tarifinde üretim süreçleri, teknikleri, sistemleri ve organizasyonları da göz önünde tutan modern dönüşüm çerçevesinde ekolojik etkileri minimize etme gayesi vardır. Bu amaç doğrultusunda uygulanan yeniliğin yüksek katma değeri sağlayacağı ileri ekonomik, sosyal ve organizasyonel başarıyı da beraberinde getireceği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla yenilik çerçevesinde oluşturulan stratejiler sayesinde sürdürülebilir üretim süreçleri ve

tedarik zincirleri geliştirilebilmektedir. (Kusi-Sarpong vd., 2018, s.1990-1991). Bu kapsamda yenilikçi stratejilerin oluşturulmasında tedarik zincirinin sürdürülebilirlik anlayışını pekiştiren ve destekleyici faktörleriyle öne çıkan entegrasyon kavramının incelenmesi gerekmektedir. Tedarik zincirinde entegrasyon kavramı birçok literatür örneğinin değındığı üzere tedarik zinciri yönetimi kavramı yerine de kullanılmaktadır. Birbirinin yerine kullanılması ile beraber yönetimin eksik yönlerinin de irdelendiğı, ilgili süreçlerin ve bağlantıların uyumunu gerçekleştiren entegrasyonun entegratör yönüyle tamamlayıcı unsurların tespitinde de önemli bir rolü üstlendiğı görölmektedir. Literatürde tedarik zinciri entegrasyonu doğrutusunda döngüsellığı esas alan sistemsel yaklaşımdan bahsedildiğı gibi bununla ilişkili önemli işlevlere de yer verildiğı açıkça görölmektedir.

Bu konuyu tartışan bilim insanları entegrasyon vasıtasıyla ürün yaşam döngüsünün maddi, sanal ve sosyal yönlerini içine alan sistem unsurlarının birbiri ile etkileşimine izin verildiğı yönünde fikir beyan etmektedir. Bilhassa bütünsel etkiye sahip entegrasyonun sınırları da belirlenmektedir. Tedarik zinciri kavramının bütünsel bir felsefeye uyması gerekmektedir. Bu düşünceye göre tedarik zinciri entegrasyonu ilişkisel bağların tespiti ve bunların güçlendirilmesi, gerekli bağlantıların oluşturulması, adaptasyonu ve yönetilmesi ve benzeri gibi ilgili unsurların tedarik zinciri yapısına uyum sürecini tarif etmektedir. Bütüncül bir yaklaşımı benimsemesi beklenen tedarik zinciri, tedarik zinciri entegrasyonu kapsamında ürün genişletilmesi ya da yedek parçanın sağlanmasına kadar dönüşüm ve geri dönüştürölme dâhil süreçleri göz önünde tutmaktadır. Tedarik zinciri entegrasyonu ürün yaşam döngüsüne odaklanan kapsayıcı sistem yaklaşımı ile döngüsel ekonominin ihtiyaçlarını karşılamaktadır. (Kolmykova, 2016, s.231-232). Bu çerçevenin yönelttiğı ana fikir, tedarik zincirini bağlayan süreçlerin tamamının entegrasyon vasıtasıyla çevresel iyileşmeye katkı sağlayan döngüsel yaklaşımları da benimseyebileceğı üzerinedir. Sürdürülebilirliğin sağlanmasında aksaklıklara neden olan çevresel faktörlere yönelik ihmallerin bu yönde atılan adımlarla telafi edilebileceğı tahmin edilmektedir. Her şeyden önce karar vericileri bu yönde motive eden kurumsal sosyal sorumluluk anlayışı, bütün işletme kademelerinin her bir unsuruna yayılma olanağı bulduğı takdirde beklenen sürdürülebilirlik odağındaki dönüşüm iş ve sosyal yaşamı şekillendirebilecek düzeyde olacaktır.

Tedarik zincirlerinin yoğunlaştığı ve kilit bir faktör olarak gördüğü kurumsal sosyal sorumluluk anlayışı, ekolojik, sosyal ve ekonomik yararları sebebiyle giderek daha fazla rağbet görmektedir. Organizasyonlar, çevreye duyarlı üretimi baskılayan yasal

uygulamalar ve küresel rekabetin itici gücü nedeniyle tedarik zincirinin sürdürülebilir pratiklerine yönelmektedir. Tedarik zinciri yönetiminin sürdürülebilirliğe katkısı, işlevsel verimliliği yeniden şekillendirmesiyle kendisini göstermektedir. Nitekim bu gelişmelerle bağlantılı olarak kuruluşlar yarın için öngördükleri stratejik kalkınmaya ilişkin bir eğilimin oluşacağını tahmin etmektedir. Tedarik zinciri yönetiminde sürdürülebilirlik hudutlarını aşmaya yönelik bir trendin gelişmesi, döngüsel ekonomiyi içine alan destekleyici yeni seçeneklerin tarif edilebileceği anlamına gelmektedir. Dolayısıyla döngüsel ekonomi tedarikçilerin dahil olduğu mekanizma içerisinde ürünlerin hareketini ve enerji güvenliğini temin ederek rezervlerin yönetilmesinde verimliliği korumayı önceliğine alması gerekmektedir. (Manavalan ve Jayakrishna, 2019, s.478). Döngüsel ekonomi ekseninde küresel rekabet ortamının varlığı, çevreye duyarlılığın yükselişinde enerji israfını önlemede ve tedarik zincirindeki işletmelerin kalkınmasında önemli bir itici güçtür. Çok yönlü paydaş katılımını ve sorumluluğunu zorunlu hâle getiren ortam, tek yönlü katılımı etkin olamamaktadır. Meselenin özünde bir organizasyonun sürdürülebilirlik başarısı, beklentilerini iklime, çevresel kirliliğe ve müşterilere yoğunlaştırarak çevik bir dönüşümü sağlamasına bağlıdır. Geçmişten günümüze kuramsal açıdan değerlendirilen döngüsel ekonomi anlayışı şekil değiştirip pratiklerin yapılmasını sağlayan olanaklara odaklanmaktadır. (Manavalan ve Jayakrishna, 2019, s.477-478). Modern yaklaşımların gözdesi olan ve uygulama örneklerinden yoksun bu yeni yaklaşımlar birden fazla endüstriyel kolun birlikte yaptığı atılımlarla kayda değer bir ekolojik gelişime neden olacaktır. Günümüze kadar gelen kabul görmüş doğrusal yaklaşımların yarattığı ekolojik yıkım, küresel boyutta bir ekolojik açılımı beklemektedir. Sürdürülebilirliği küresel çapta destekleyen bir takım çevreci aktörlerin iklimi iyileştirmeye yönelik eylem planlarını harekete geçirmesi beklenmektedir. Bu misyonla harekete geçenlerin belirli bir çatı altında toplanması elzem gözüktürken bunların ortak hareketi ise teşvik edici bir güce sahip olacaktır. Daha doğrusu her türden ticari faaliyetleri etkileyeceği varsayılan çevresel dönüşümün üretimden tedarik süreçlerinin tüm adımlarına kadar nüfuz etmesi beklenmekte; her bir endüstri kuruluşunun ekonomik, sosyal, çevresel hedeflerini ziyadesiyle karşılayacağı tahmin edilmektedir. Kapsamlı şekilde ele alınması beklenen döngüsel ekonominin sürdürülebilirlik alternatifleri belki de gelecekte daha derinlemesine yapılması beklenen incelemelerle farklı düzeydeki katkıları ortaya koyulmaya çalışılacaktır. Tarif edilen kavramsal düşüncenin arkasında şüphesiz globalleşmenin tetiklediği rekabet ortamı yer almaktadır. Bundan ziyade kurumsal düzeyde konumlandırılan sosyal sorumluluk anlayışının rolü de azımsanmayacak derece önemlidir.

2.3 Döngüsel Ekonomi ve Kavramsal Çerçeve

Döngüsel ekonomi paradigması üretim ve tüketim kalıplarının sürdürülebilirliğinden ileri gelmektedir. Bunun yaygınlaşmasında motivasyonu amaçlayan döngüsel ekonomi, döngüsel kaynak yapısına eğilimi ile alışlagelmiş doğrusal “al, yap, elden çıkar” yöntemine karşın diğer bir seçeneği benimsemeyi ifade etmektedir. Çeşitli yararları ile yerel büyümeye de katkı sağlayan döngüsel ekonomi, ekolojik ve toplumsal modeller bakımından sürdürülebilir kalkınma doğrultusunda modern bir tutumu tarif etmektedir. Ellen MacArthur Vakfının döngüsel ekonomiyi ele alış biçimi ise kıt kaynakların kullanımını aşamalı şekilde ekonomik eylemlerden ayıştırmaya işaret ederek bu yapıyı atıkları dizayn etmek için harekete geçiren ve toplumsal menfaatlere öncelik veren kalkınma modellerine yönelmek olarak açıklamaktadır. (Chiaroni vd., 2021, s.1). Otuz yılın üzerinde tartışılan bir konu olan döngüsel ekonomi terimi ekosistemde olumsuz değişmelere neden olan doğrusal ekonomik yaklaşımların getirdiği sonuçlar sebebiyle kayda değer düzeyde dikkatleri üzerine çekmektedir. Sosyal dengenin göz ardı edildiği bir düzende biyolojik türlerin yok olması ve iklim üzerinde yaratılan olumsuz etkiler, giderek artan nüfusun beklentilerini karşılamaya çalışan endüstriyel hareketlerin bir neticesidir. (Vinante vd. 2021, s.2). Burada görüldüğü üzere endüstriyel süreçlerin yarattığı sonuçlar sebebiyle çevreye duyarlı ve doğal ekosistemin yenilenmesine yönelik uygulamalara ilgi artsa dahi bu yönde yetkinliklere sahip olunması zaman alacağından olumsuz çevresel dönüşümün sonuçları kolaylıkla gerilemeyecektir.

Döngüsel ekonominin yeni bir kavram olmadığı, Ellen MacArthur Vakfının öne sürdüğü Endüstriyel Ekoloji, Yenileyici Tasarım, Beşikten Beşiğe ve Mavi Ekonomi gibi bu vb. konseptlerden oluşan bir sentezi teşkil ettiği varsayılmaktadır. Döngüsel ekonomiye olan trendin dünden bugüne artarak yükselmesi bu yaklaşımın sürdürülebilirliği temsil eden üç faktöre uyumu sebebiyle bu yöndeki istikrarına dayanmaktadır. Döngüsel ekonomi doğrudan doğruya kaynak kullanımının azaltılmasıyla sağlanacak tasarrufa dayalı ekonomik değeri elde etmeye istekli olmayıp, öyle ki çevresel etkileri zayıflatmasıyla direkt olmasa da sosyal katkıyı sağlama çabası içindedir. Bu yönde alınan tedbirler işletmeleri ve ortaklıkları bağlarken ekonomik değerin elde edildiği diğer ürünlere yönelmenin getireceği muhtemel gelişme olanaklarını ve rekabet üstünlüğünü sağlayabilmektedir. Neticede ticari faaliyetlerde farkındalık yaratabilmek ekonomik

faaliyetlerin dairesel ve sürdürülebilir iş kalıpları ekseninde yürütülmesine talebi artırmaktadır. Bu bağlamda yeterlilikler dikkate alındığında döngüsel ekonomi hakkında yetkilendirilmeye gereksinimi olan endüstri tarafları kendilerine kılavuzluk edecek destek programlarına ihtiyaç duymaktadır. (Saidani vd., 2017, s.1-2). Gelişimi destekleyen ve sürdürülebilirlik potansiyelini ortaya çıkaracak bir alternatif olarak görülen döngüsel ekonominin gün geçtikçe popülaritesi artmakta ve bu sebeple endüstriyel yaşamda daha fazla yer edinmektedir. Bu doğrultuda atılan adımların getirebileceği kısmi zorlukların aşılmasında döngüsel ekonominin kısmen ya da tamamen çözüm üretilebileceği fikri yatmaktadır.

Bu fikrin yaygınlaşmasına neden olan etmenler, ekonomik faaliyetler içerisinde kaynağın temininden başlayıp atık ve enerji kayıplarının azaltılmasıyla emisyon sızıntılarını en asgari düzeye çekerek olumsuz ekolojik etkilerin bertaraf edilmesini sağlamakta ve böylelikle refah ortamının genişlemesine katkı sağlayan büyümenin gerçekleşeceği ümit edilmektedir. (Geissdoerfer vd., 2018, s.712). Girişimcilerin odağı haline gelen teknolojiler ve çevresel tedbirler çeşitli yeterliliklere sahip olmayı gerektirmektedir. Bu yöndeki becerilere göz atıldığında önlerine çıkan fırsatları yaratıcı ürün ve süreçlere çevirebilmek ve ihtiyaçlara binaen stratejik uzlaşmayı yoluna koyabilmek ancak yinelenen kaynak planlaması yardımıyla sürdürülebilir becerilerin geliştirilmesine ve düzenlenmesine ilişkin prensiplere dayanmaktadır. (Kusi-Sarpong vd., 2018, s.1992). Diğer literatür örneklerinin üzerinde tartıştığı ve gerçekte ilginin çekilmek istendiği nokta, onarıma ve yenilenmeye yatkın ürünlerin, bileşenlerin ve malzemelerin uzun süreli kullanımını hedefleyen ve bunlardan daha fazla değer oluşturulması için olanakları içinde olan döngüsel ekonominin rolüne atıfta bulunulduğudur. (Meherishi vd., 2019, s.2) Olası her türlü potansiyel etkilerin bir ucu yeterliliklerin ve ilkelerin önemine işaret ederken diğer bağlamı ise bu akışın içinde yerini alan dönüştürülebilir malzeme, ürün, hizmetler ve bunların kombinasyonlarına dokunmaktadır. Kaynak planlamasının yeniden gözden geçirilmesi, üretken ve sürdürülebilir iş modellerinin gerçek manasıyla değer yaratabilecek düzeyde konumlandırılması şüphesiz ilgili sanayi kuruluşları, odaları ve yasal düzenlemeler tarafından aydınlatıcı bir rehberlikle ve yönergeyle sağlanabileceği gibi böyle bir uygulamayla muhtemel çevresel ve ekonomik krizlerin önüne geçilecektir. Bunun başarılması ise ilgili endüstriyel çerçevede zorunlu ölçümlerin yapılabilmesine, finansal koşullara ve prosedür gereği gerekli olanakların sağlanmasına, olumsuz iklim şartlarının geldiği noktaya bakılarak harekete geçilmesine kritik düzeyde tabidir.

Farklı perspektifler aracılığıyla geniş tabanlı bir kavramsal içeriğe sahip olan döngüsel ekonomi terimi, kavramsal bütünlüğü ortaya koymakta ve derinlemesine bir anlayışı tarif etmekte zorlanmaktadır. Döngüsel ekonomi üzerine birden fazla araştırma endüstriyel ekosisteme, atıkları en asgari düzeye indirmeye ve lojistiğin ters yönlü faaliyetlerine yönelik konuları irdelemeye çalışmıştır. Bilinenin aksine döngüsel ekonomi sadece malzeme ya da atığın bertaraf edilmesiyle ilgilenmemekte, üretim ve tedarik zinciri eylemlerinden hareketle yalnızca enerjiden faydalanma biçimi değil paylaşım ekonomisine doğru da etkileri yayılmaktadır. (Yadav vd., 2020, s.1). Literatürde döngüsel ekonominin bütünsel çözümleri üzerine birtakım yaklaşımlardan bahsedilmektedir. Burada döngüsel ekonomi ile ilişkilendirilen birden fazla yaklaşıma değinildiği gözlenmektedir. Bu yaklaşımlar arasında “beşikten beşiğe” kavramı da sıklıkla rastlananlar arasındadır.

Beşikten Beşiğe kavramı kaynakları sonlandıran değil, onları yeni ürünlerin beşiği yapmak anlamına gelmektedir. (Gleich, 2014, s.115). CO₂ ayak izi veya CO₂ dengesi, CO₂ eşdeğerleri (CO₂eq) türünden CO₂ emisyonlarının ya da sera gazı emisyonlarının toplam değerini vermektedir. Karbon ayak izi, ürünler, hizmetler ve organizasyonların iklim üzerindeki etkilerini belirlediğinden dolayı önemli bir enstrüman olarak görülmekte ve sürdürülebilirliği hedefleyen her bir organizasyonda olması gerekmektedir. Genel itibarıyla CO₂ ayak izi, ürünler için ürün karbon ayak izi; kuruluşlar için ise kurumsal karbon ayak izi olarak ayrılmaktadır. Bir ürünün tüm yaşam döngüsünü tanımlayan beşikten beşiğe (cradle to cradle) bağlamında sera gazı emisyon dengesi, ürünün CO₂ ayak izi ile belirlenmektedir. Bu da ürün döngüsü değer zincirini tümüyle kapsamaktadır. Buradaki bileşenleri tarif ettiğimizde hammadde ve ön ürün imalatı, temini ve nakliye faaliyetlerini de takiben üretim ve dağıtım da dikkate alınmaktadır. Bununla birlikte kullanım ve varsa bir sonraki kullanım da hesaba katılmaktadır. Devamında ise imha edebilme söz konusu olduğu gibi geri dönüşümün yapılması da önemli bir faaliyet alanını temsil etmektedir. (Englert ve Ternes, 2019, s.68-69). Döngüsel ekonomi esasında tartışmalar süregelse de etkilediği birbirinden farklı yaklaşımlar ile bütüncül yönüne atıfta bulunmaktadır. Bu kavramların başında beşikten beşiğe gelirken, endüstriyel ekoloji de diğer bir yaklaşım olarak tarif edilmektedir. Mavi ekonomi gibi kavramlar performans ekonomisi de buna dâhil modern sürdürülebilir iş kalıplarını desteklediğinden döngüsel ekonomi konseptine dâhil olmaktadır. (Julianelli, 2020, s.2). Beşikten beşiğe konseptini biraz açmak gerekirse, malzemenin yeniden bir girdi olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bununla endüstriyel süreçlerde malzemeyi teknik ve biyolojik olarak kategorize etmektedir. Teknik açıdan “malzeme” tekrar kullanımında bir sakınca olmayan, toksik ve zararlı partiküller

içermeyen malzemeyi ifade etmektedir. Biyolojik açıdan ise kendiliğinden ayrışan ve olumsuz çevresel sonuçları olmayan organik besinler anlamına gelmektedir. Döngüsel ekonomi ile tarif edilen diğer sistemler ise biyomimikri sistemlerdir. Bu sistemler süreç ya da ürünü tasarlarken yenilikçi anlayıştan beslenmektedir. (Kumar vd., 2021, s.3-4)

DÖNGÜSEL EKONOMİNİN TEMEL BOYUTLARI ARASINDAKİ BAĞLANTI

2.3.1 Atık ve Geri Dönüşüm Yönetimi Doğrultusunda Sürdürülebilirlik Değerlendirmesi

Döngüsel ekonomi çerçevesinde değinilen atık ve geri dönüşüm yönetimi kısmen sürdürülebilirlik ölçütleri kapsamında ele alınmaya çalışılıp önemli kıstaslara yer vermeye özen gösterilecektir. Literatürde önemli kriterler göz önüne alındığında konunun etrafıca incelenip daha fazla katkı sağlanacak düzeyde geliştirilmesine de ihtiyaç olduğu görülmektedir. Endüstriyel ekosistemin çevreyle uyumlu yapılanması neticesinde malzeme ve enerji kullanımının yüksek oranda iyileştirilebilmesi, atık üretiminin ve kirliliğin azaltılmasıyla kalan atıkların yeniden girdi olarak kullanılmasına bağlı olmakta bu durum ise biyolojik ekosistemlere benzetilmektedir. Kaynak verimliliğinin dolaşımdaki malzeme aracılığıyla yükseltilmesi ise uygun bir endüstriyel ekosistemin belirgin bir özelliği olarak öne çıkmaktadır.

Yakın zamanda iyice tanınmaya başlayan bu gelişimlerle bağlantılı döngüsel ekonomi kavramı bütün ilgiyi üzerine çekmektedir. Döngüsel ekonomi sistemi, malzeme ve enerji israfını azaltmayı geri dönüşüm, geri kazanım ve tekrar kullanım ile başarmayı amaçlayan bir üretim ve tüketim çerçevesi planlamaktadır. (Haupt vd., 2017, s.615). Doğrusal ekonominin önemini hızlı şekilde yitirdiği bir dönemde giderek daha cazip hale gelen döngüsel ekonomik çözümler sürdürülebilirlik altında bilinen çevresel, sosyal, ekonomik unsurlara ilaveten stratejik açıdan da kaynak verimliliğini iyi yönetmeyi gerektirmektedir. Bu anlamda kaynakların çok yönlü etkilerinin incelendiği çalışmalar, uygulayanlar için yol gösterici olacaktır.

İlgili oyuncuların atığın imha edilmesi konusunda yasal çerçevenin öngördüğü hijyen işlevini sağlamaları gerekmektedir. Bu da daha açık ifadesi ile zararlı olmayan fakat kirlenmeye yol açan etkenlerin ya da zararlı oluşumların bertaraf edilmesi anlamına

gelmektedir. Bununla beraber ilgili aktörlerin kaynakları geri kazanma sorumluluğunu da almaları gerekmektedir. Buna istinaden kaynakların önceliği neye göre belirlenmektedir? Sürdürülebilirlik ilkesi itibarıyla ilk olarak atık yönetimi bağlamında malzeme ve ürünler olası etki büyüklüğüne göre geri kazanılması sağlanmalıdır. Bunun gerçekleşebilmesi, ekonomik, sosyal, çevresel ve stratejik boyutun birlikte ele alınmasına bağlıdır. Stratejik ölçü ulusal sınırları aşan hammadde rekabetinden ileri gelmekte buna karşın ilk üçü ise analizlerde yaygın görülen sürdürülebilirlik ölçütleri olarak kullanılmaktadır. Jeostratejik ölçüyü incelediğimizde maden yataklarına erişimin zamanla güçleşeceği ve minerale olan ihtiyacın büyük olasılıkla 2035 yılına kadar iki kat artacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla yaklaşan yıllarda somut olarak birçok metalin kıt ya da daha fiyatlı olabileceği tahmin edilmektedir. Diğer bir konu ise hammaddelerin elde edilmesine yönelik iş yükünün artması ve maden yataklarındaki yoğunluğun azalması nedeniyle enerji kullanımı etkilenmekte ve bundan ötürü iklim değişikliği yaşanmaktadır. Bu iki yönlü etki doğrudan doğruya çevresel kriterlere aksetmektedir. Kaynakların çevresel etkilerini kümülatif enerji tüketimi yardımıyla ölçmek mümkündür. Bu yolla işlenme sürecinde kaynakların temininden ürüne dönüşmesine kadar oluşan toplam etki kıyaslanabilmektedir. Buna nazaran kaynakların sosyal etkilerini tespit etmek biraz daha karmaşık bir konudur. Çoğu zaman kaynak yönetimi açısından sosyal ölçünün komplike olduğu düşünülmektedir. Bunun ise kısmen kaynağın sağlandığı ya da ürüne dönüştürüldüğü yerde oluşan sosyal şartlarla sıkı sıkıya ilintili olduğu tahmin edilmektedir. Kaynaklar bakımından bunlar arasında güvenli olmayan maddeleri önleme, iş güvenliği, çocuk işçiliği ve bağımsız organize olma gibi kıstaslar sıralanabilmektedir. Sosyal etkilerin yanında çevresel faktörlere yöneldiğimizde kaynakların çıkarılması ve ürüne kadar giden işlem sürecinde toplam kümülatif enerji tüketimi kullanılarak ekolojik etkiler tespit edilebilmektedir. Kaynak ayak izinin miktarı, biyolojik çeşitliliğe verdiği olumsuz etkileri de içine alan farklı baskılara da yüzeysel olarak bağlı olmaktadır. Atıktan kaynak oluşturma kapsamında atık yönetimini esas alan ekonomik mesele şöyle açıklanmaktadır: İkinci dereceden öneme sahip hammaddelerin toplanması, ayrıştırılması, temizlenmesi ve işlenmesini de kapsayan süreçlerin tamamı dikkate alındığında en asgari düzeyde çabalara denk gelen bir gelir mevcut mudur? Belirleyici unsurlar şöyle sıralanabilmektedir. Atık ayırma kapsamında değerlendirilen verimli arıtma sistemleri ve satın alma maliyetleri dışında geri dönüştürülen ikinci derecede öneme sahip hammaddenin piyasa değeri de incelenmektedir. Bertaraf amaçlı faaliyetlerdeki endüstriler, arıtma süreçlerini iyileştirmeye çalışırken bu süreçlere etki edebilmektedir. Dolayısıyla geri dönüşüm yöntemleri marjinal bakımdan

ekonomik maliyetler ve çevresel getiriler sebebiyle karşılıklı olarak birbirine bağımlıdır. (Friege ve Dornack, 2019, s.597-602). Sürdürülebilirlik açısından kaynak verimliliğinin değerlendirilmesi mevcut malzeme ve üründen sağlanan çıktının değerinin belirlenmesi açısından bir önem ifade etmektedir. Koşulların karşılıklı bağımlılığı, sürdürülebilirliğin tam manasıyla gerçekleşmesinde ciddiye alınması gereken bir olgudur. Tartışılan boyutların eksik ya da tutarsız ölçümlenmesi veya incelenmesi nedeniyle ürün yaşam süresini uzatma amacıyla çıkılan yolda meydana getirilen ürünler artan ekonomik değere götüremeyeceği gibi bu ürünlerin potansiyel faydalarını kaçırmaya da sebep olacaktır. Şu ana değin ekonomik değerin artan önemi bütün ağırlığıyla giderek azalmakta diğer sürdürülebilirlik faktörlerinin eşğine gelerek birlikte yaratacakları bütüncül etkiye bakılmaktadır.

2.3.2 Ekodizayn ve Kaynak Yönetiminin Yeri ve Arasındaki İlişkisi

Döngüsel ekonominin amacı, genel anlamda karbon nötr uygulamaların yanı sıra ekodizayn açısından sürdürülebilirliğe katkı sağlaması için döngüsel ve sürdürülebilir ekonomiye uygun tasarımın elde edilmesidir. Bu yaklaşım esasında atığın azaltılması ile birlikte daha fazla değer yaratılması temeline dayanmaktadır.

Kullanılan ve tüketilen ürünler ve materyaller üzerinden sağlanan hammaddenin atık oluşumunun bir unsuru olarak yeniden kullanılması kapsamlı bir kaynak yönetimi için ön koşulu temsil etmektedir. Pil, EoL (Kullanım ömrü sonu), Ambalaj ve WEEE (Elektrikli ve elektronik eşya atıkları) yönetmeliği açısından tanımı yapılan ve belirlenen malların üretimini üstlenen üreticilerin atık tarafının yükümlülüğünü almalarına rağmen şu ana dek ürün tasarımı ve malzeme tüketimi bağlamında fazla bir etki gösterememektedirler. İkinci olarak, azalan elektrik tüketiminin hedeflenmesi ekolojik dizayn yardımıyla ve sera gazı emisyonları üzerine belirlenen direktifler sayesinde mümkün olmaktadır. İlgili ürünlerin belirlenmesinde daha çok bu grubun var olan kaynaklarının önem düzeyine göre ele alınmadığı, meselenin ise ilgili başka çevresel sorunlarla bağlantılı olduğuna işaret edilmektedir. Bunlar içinde depolamada sürekli yetersizlik, eski ürünlerin kirlenmeye yol açması ve benzeri nedenler sayılabilmektedir. “Değer” bağlamında hammaddelerin ve atık oluşumundan geri edinilen malzemelerin tespitiyle alakalı zorunlu ve kanunen haklı uğraşlar, şu ana dek siyasi olarak önemli bir faktör teşkil etmemiştir. Bundan ötürü farklı yönleri ile tarif edilmesi gereken sürdürülebilir gelişim hedefleri ve içerdiği potansiyel

karakteristikler temelinde takip edilmelidir. (Friege ve Dornack, 2019, s.596-597). Organizasyonların çevresel yönetim ile ilgili tutumları ilk olarak yasal zorunlulukları öne alan ve proaktif olmayan bir yapıyı temsil etmemelidir. Buradaki beklenti, ekolojik tasarım prensiplerine ve ürün yaşam döngüsü analizlerine dayanan ürün dizaynı için yeterliliklerin genişletilmesine bağlı proaktif bir tutum sergilemektir. (Vachon ve Klassen, 2010, s.223-224).

2.4 Döngüsel Ekonomi Fırsatları

Döngüsel ekonomi, yeni iş sahalarına ve istihdam olanaklarına ivme kazandıran ve elde edilen katma değer de artırılmasını olanak veren bir yapıdadır. Buna paralel çevresel, sosyal ve ekonomik etkileri bağlamında önemli fırsatlar sunmaktadır. Yeşil ekonomik sistemin aşamaları, dizayndan tutun geri dönüştürülen içeriğin zenginleştirilmesi ve tekrar üretimin inşasından onarıma kadar uzanan yeni süreçleri kapsamaktadır. (Kaslowksi, 2021, s.2). Bunların gerçekleştirilmesi desteklenmesi ile mümkün olmakta, sürecin gidişatına göre genel sonuçları ile yeni oluşumlara izin vermektedir.

Dünyada iklim değişikliğinin oluşturduğu riskleri üstlenme maliyetlerinin gittikçe artması nedeniyle bu süreci yönetmenin giderek zorlaşması ülkemizde sanayi odalarının harekete geçerek geleceği şekillendirecek planlamalarını hızlandırmıştır. Sürdürülebilirlik teminatı veren girişimlerde bulunabilmek ülkemizdeki gereksinimleri ortaya koyabilmeyi, değişen ihtiyaçları saptayabilmeyi, oldukça hızlı şekilde gelişen dünya trendini takip etmeyi gerektirmektedir. Karar mekanizmalarının işleminde yönetsel yetkilerin önemi düşünülürse, sosyal, çevresel ve finansal çıkarımların kayda değer sonuçlarını sağlamada daha çok tedarikçileri ilgilendiren yönüyle paydaş gereksinimlerine yönelme de yeni fırsatları getirecektir. İklim değişikliğinin zararlarını en asgari düzeye indirme mücadelesi düşük karbonlu ekonomiye geçiş için önemli bir atılım olsa da sektörel düzeyde mevcut ve potansiyel riskleri fırsatlara dönüştürmedikten sonra belirgin bir ilerleme kaydedilemeyecektir. Döngüsel ekonomi altında yeşil ya da düşük karbonlu ekonomiler gibi kavramların yeni açılımlara gebe olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Böylesi açılımlarla aksiyon alınmasında inisiyatifleri kolaylaştıran yetkin tarafların aldığı önlemler önceliğini korumaktadır. Bundan dolayı döngüsel ekonominin süregelen avantajlarını yakalayabilmek ve bir üst seviyeye geçerek uygulayıp sektörel yaşamın bir rutini haline getirebilmek var olan ve potansiyel iş ve yönetsel becerilere büyük ölçüde bağlı olmaktadır. Türkiye’de döngüsel yaklaşım konusundaki gelişmelere göz atıldığında sanayi

odalarının hazırladığı stratejik planlar sayesinde aldığı önlemler dünyada endişe yaratan iklim değişikliğini avantaja çevirebilme çabalarından başka bir şey değildir.

Döngüsel ekonomi gündemi ışığında ülkemizde yeşil ekonomiye adım atmaya imkân tanıyan olanaklar incelendiğinde, karar mekanizmalarının hammadde ve ambalaj seçiminden tutun, üretim ve lojistik süreçlerini enerji ve kaynak verimliliğini sağlayabilecek şekilde dönüştürebilmesi ve düşük karbonlu ekonomiyi destekleyecek nitelikte işleyebilmesi gerekmektedir. Karar mercilerinin bu yöndeki adımları yüksek yatırım maliyetlerine sebep olsa dahi uzun bir zaman diliminde mali yükümlükleri düşüren etkileri olacaktır. Yeni gelişen ekonominin karbon tüketimini azaltma eylemleri yatırımda önceliği, çevreye duyarlı teknolojilere ve ulaşım, yenilikçiliğe, sıfır karbonlu enerji sektörüne ve yapılarda enerji verimliliği gibi alanlara verecektir. Maliyetlerin tahminen uzun vadede azalacağı gibi beklentiler haricinde teknolojinin yoğun şekilde kullanılacağı dijitalleşen iş modellerinin gündeme geleceği umulmaktadır. Ekonomik türden yeniden yapılanmayı zorunlu kılan yatırımların öne çıkan maliyetlerini göze alamayan işletmeler sonrasında oluşabilecek etkisi büyük zorluklara ve maliyetlere katlanmak durumunda kalacaklardır. AB'nin öncülüğünde sanayi ve ticareti etkileyecek önlemlerin küresel etkiler doğuracağı ve bütün politik süreçleri de derinden etkileyeceği açıktır. AB ile ilişkilerin ticari boyutta Türkiye'nin ekonomisini yakından ilgilendirdiği, bu sebeple bazı avantaj ve dezavantajların birlikte düşünülmesi gerektiği önemle üzerinde durulması gereken bir husustur. AB'nin 2050 için sıfır karbonu hedefleyen yeşil mutabakat adı altındaki faaliyetlerine Türkiye penceresinden bakıldığında bu ilerleyen süreç büyük bir risk olarak algılanmaktadır. Gerçekte bu yoldaki bilinçli inisiyatifler sürdürülebilirlik rehberliğini yapmakta ve yenilikçiliğin gelişimine katkı sağlamaktadır. Bu sebeple kuruluşların destek programları sunması ve kolaylaştırıcı finansal faktörlere yönelmesi bu sürece dâhil tüm paydaşlara yeni avantajlar getirecek, sürdürülebilirlik dönüşümüne ivme kazandıracaktır. (Duran, 2021b, s.46-47). Atık ve döngüsel ekonominin endüstri çevresi için önemli bir olgu hâline geldiği ortadadır. Bunun ise büyük ölçüde kaynak yönetimi temelinde uzun süreli sübvans edilmesine ve elverişli iş modellerinin tasarlanmasına dayanmaktadır. (Friege ve Dornack, 2019, s.603). Bir yandan sürdürülebilirliği diğer yandan kapsamlı sosyal sorumluluk gerekliliklerini yerine getirmek amacıyla merkezîyetçi olmayan bir sistem içerisinde ürün ve hizmetleri meydana getirmek sirküle bir değer üretimi önündeki güçlükleri ortadan kaldıran iş kalıpları ile mümkün olmaktadır. Döngüsel ekonomi, ömrünü tamamlayan ürün ve hizmetlerin değerlendirilmesinde ürün yaşamının devamlılığı ya da modern kullanım kodlarının tespit edilmesiyle yapıcı değer oluşması için israfi

azaltmaya ya da yok etmeye odaklanmaktadır. Bu şekilde sürdürülebilirliğin devamlılığı sağlanmaktadır. Diğer perspektiflere sahip araştırmacılar, döngüsel yaşam döngüsü anlayışının gerçekleştirilmesi için ürün ve hizmetlerin dizaynı söz konusu olduğunda kapsamlı bir katılımcı ağını önemseyen iş kalıpları aracılığıyla döngüsel ekonominin kavramsal bir yapıya dönüştürülebileceği görüşünü ileri sürmektedir. (Ubadhyay vd., 2021, s.4). Avrupa komisyonun 2015 yılında öncülüğünü yaptığı sürdürülebilirliği destekleyen ekonomik kalkınma doğrultusunda Avrupa'nın rekabet üstünlüğü sağlaması için hedeflerinin özellikle modern iş fırsatlarını tetikleyen yönüyle döngüsel ekonomiye geçiş odaklı bir planı harekete geçirdiği görülmektedir. (Döngüsel ekonomi eylem planı – CEAP) (Avrupa Komisyonu, 2015) (Momete, 2020, s.2). İsraf nedeniyle tekrar kullanılan malzemelerin istihdama olanak sağlaması lokal iş düzeninin oluşumunda sağladığı etki ile ekonomik yönden performansı desteklediği bilinmektedir. (Nascimento vd., 2018, s.607)

2.5 Döngüsel Ekonominin Uygulama Zorlukları ve Riskleri

Yasal önlemlerin çerçevesi, köklü davranışsal değişim, ileri teknolojilerin ve yatırımların ne şekilde değerlendirildiği döngüsel ekonominin devreye alınmasında üzerinde durulan önemli konulardır. Üstlenilen roller açısından özel iş kolları daha çok yatırım bakımından yenilik ve tatbikiyle ilişkiliyken idari kesim ise düzenlemelerin genel yapısını oluşturarak gidişatın ilerlemesine ve döngüye katkı sağlamaktadır. Bu minvalde her bir oyuncuya ciddi yükümlülükler verilmekte; tüketici seçimleri, firma yatırımları ve kamu önlemlerinin de tek taraflı katkı sağlayamayacağı açıkça bildirilmektedir. (Sapmaz Veral, 2021, s.16). Öyle ki döngüsel ekonomiye geçiş kapsamında süregelen tartışmalar netlik kazanmayıp belirsizliğini korumaya devam ederken girişimcilerin üstlendiği sorumluluklar ve risklere karşı sergilediği tutum, verilen kararları ve uygulamaları etkilemediği taktirde planların gerektiği şekilde ilerlemeyeceği tahmin edilmektedir. Büyük olasılıkla belirlenen ilkelerin hayata geçirilmesinde yasal düzenlemelerdeki boşluklar ve teşvikler el vermediği sürece aksiyon zorlukları yaşanacağı olasıdır. Uygulamayı zorlaştıran belirli etmenlerin yanı sıra finansal açıdan ne gibi önlemlerin alınması gerektiği de dikkat çekmektedir. Bilinen tarifiyle endüstriyel ekolojik dönüşümü sağlamada en önemli gündem konusu, finansal sektörlerin bu girişimleri destekleyecek uygulamalara ağırlık vermesi gerektiğidir.

Döngüsel ekonomi ekseninde incelenen risk faktörleri arasında en yüksek değerlendirilen kritik faktör, döngüsel ekonomiyi derinden etkileyen risk unsurlarıdır. Döngüsel tedarik

zincirinin kabulüne yönelik uygulama örneklerini ticari faaliyetler açısından duyurmak büyük olasılıkla verimliliği öne çıkaran iş modelleri ve yetkinlikler bağlamında önemlidir. Görece bu hususlar üzerine çalışmaların eksik olduğu düşünüldüğünde bu durum döngüsel ekonomi sisteminin etkilerini görememeye ve bu çerçevede başka etkilere tepkisiz kalınmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla tüm tedarik zincirini birleştirmeye odaklı çalışmalar gereklidir. Şöyle ki döngüsel tedarik zincirinin dönüşümünü ve gelişimini destekleyecek olası teşvikler mevcut olmadığında gerekli dönüşüm sağlanamayacaktır. Döngüsel ekonominin tersine tedarik zinciri eylemlerinde ürünü parçalarından sistemli şekilde ayrıştırabilme yollarının güvence altına alınması gerekliliği önem arz ederken bu süreçteki ayrıştırılabilir biyo atıkların yetersizliği de bir sorun teşkil etmektedir. Mevcut risklerin üzerine gidilerek çabalanmadığı sürece döngüsel ekonomi faaliyetleri arzu edilen hedefe ulaşamayacaktır. (Dulia vd., 2021, s.11). Ya da bu bağlamda ürünlerin kullanımıyla açığa çıkan kalıntı değerinin belirsizliğini koruyacağı düşünülmekte, özellikle gıda sanayisinin güncel meseleleri etrafında tekrar kullanım ve üretimi hedefleyen planlamaların mali zorluklar getireceği üzerinde durulmaktadır. (Ingemarsdotter vd., 2020, s.7)

Döngüsel ekonomiyi diğer yaklaşımlardan farklı kılan yönü diplomatik bir öneme sahip olmasıdır. Uluslararası düzeyde benimsenen ve birden fazla katılımcının dâhil olduğu doğal ekosistemi iyileştirmeye yönelik her adım resmi olarak desteklenmekte, elverişli ve uyumlu modeller döngüsel ekonomi sisteminin iyileştirilmesi için katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Uygulanabilir potansiyele sahip her bir faktör risklerin olası sonuçlarını zayıflatılabilmekte ya da ilgili endüstri kollarının döngüsel ekonomi olanaklarını harekete geçirmek için yeni fırsatların oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Dünden bugüne, giderek daha da kritik bir konu hâline gelen çevresel iyileştirme çabaları tedbirlerin alınması noktasında yaptırımlara maruz kalmaktadır. Döngüsel ekonomiye yönelik yatırımlar ikili ticari ilişkileri ve ihracat getirilerini korumak amacıyla farklı ticari kollarda yaşanması muhtemel olumsuzlukları engelleyici girişimlerdir. Yaptırımların gündeme gelmesi neticesinde çeşitli iş kolları arasında doğan çekinceler daha çok finansman, yatırım, mühendislik ve tasarım gibi alanlarda uygulama koşulları el vermeyen endüstri çevrelerince tepkiye neden olacaktır. Esasında çevresel bilincin oluşmasıyla çevreye duyarlı farkındalığın artması, riskleri ve zorlukları tümüyle ortadan kaldırırsa da bunların etkilerini bir ölçüde azaltacağı kesindir. Bundan ötürü çevresel etkileri azaltıcı yenilenebilir kaynaklara yönelmeyi hedefleyen yeni işletme modellerinin teori ve

pratikteki uygulamaları bugünün ve yarının jenerasyonuna yaşam alanı açarak endüstriyel ve biyolojik döngülerin sürekliliğine katkı sağlayacaktır.

2.6 Döngüsel Ekonomi Sınırlılıkları

Döngüsel ekonomi kavramı yeni bir konsept olarak ortaya çıkmış olmamasına rağmen küresel düzeyde döngüsel ekonomiye adaptasyon henüz kısıtlı düzeydedir. Önceleri döngüsel ekonomi yaklaşımını gerçekleştirme, firmaların modern işbirlikçi iş modelleri tasarımlarını gerektirirken döngüsellğe ilişkin üretim yapısını geliştirmeleri ve çeşitli stratejileri uygulamaları ancak fark yaratabilmelerine bağlıdır. Temiz üretimi üretim yapısına yerleştiren firmalar, döngüsel ekonomiye adım atarak temel bir stratejik unsur hayata geçirmiş olmaktadır. Atık ve kirliliğin engellenmesini amaçlayan döngüsel ekonomi üretim yapısında sağlanan yeni stratejilerle mümkün olmaktadır. (Ay Türkmen ve Kılıç, 2020, s.2548)

Döngüsel ekonomiyi eyleme dönüştürmeye niyetli tarafların konuyla ilgili çok fazla fikri olmadığı gerçeği ileri sürülmektedir. Dolayısıyla bu yaklaşım eleştiriye açık bir konudur. Meselenin belirsizliği tarafların faaliyetlerini makro mu ya da mikro düzeyde mi yürütmeleri gerektiği konusundaki tereddütlerinden kaynaklanmaktadır. Diğer sav ise oluşturulan prensiplerin yaratacağı çevresel etkilerin olumlu yönde seyretmeyeceği beklentisidir. Örnek verilecek olursa, tahminlere göre malzeme ve enerjiden mutlak bir geri dönüşümün gerçekleşmesi verimlilikten ödün vermeye neden olacaktır. Mevcut teknolojilerin süregelmesiyle daha fazla enerji sarfiyatının ortaya çıkabileceği, özendirme çabalarına rağmen ekolojik koşulları karşılamayan bir paylaşım ekonomisine neden olacağı öngörülmektedir. Bu anlamda işletmeler döngüsel ekonomiye dayalı mevcut stratejileri kabullenmeye yaklaşmamaktadır. İşletmeler tüketim modellerinden ya da sosyal çevrenin etmenlerinden ziyade döngüsel ekonomi modellerine daha çok güvenmektedir. Döngüsel ekonomi ilkelerine hâkim işletmeler, modern teknolojiler ve iş kalıpları sayesinde sürdürülebilirliğin yarattığı etkileri maksimum düzeye çıkarabileceğine inanmaktadır. Kapsamca uygulama kısıtına sahip, geniş bir açıdan değerlendirilemeyen döngüsel ekonomi inisiyatifleri sürdürülebilirlik odağında yürütmeye çalıştıkları iş faaliyetlerinde güçlük çekmektedir. (Esmaeilian vd., 2020, s.2)

Bilindiği kadarıyla döngüsel ekonominin beşerî faktörlerin etkisiyle oluşan çevresel oluşumları azalttığı yönündeki iddialar dünden bugüne süregelmektedir. Kaynak ve

enerjinin giderek yok olmaya yüz tuttuğu evrende emtiaların sürekliliği, süreçlerin iyileştirilmesi, doğal ve antropojenik döngüler arasındaki ilişkilerin uyumlandırılması gibi döngülerin devamlılığını ve kaynakların sürdürülebilirliğini güvence altına alan fikirler doğrultusunda ortak bir paydada buluşulmaktadır. Yenilikçi bir perspektifle değer katmaya devam eden döngüsel ekonomi yaklaşımı, ilgileri kendi üzerine çekse de sürdürülebilirliği teşvik eden yönüyle beraber dezavantajları da getirebileceği varsayılmaktadır. Şöyle ki döngüsel ekonomi yaklaşımı bakımından üstlenilmesi gereken roller üzerine bazı çelişkilerin varlığından söz edilmektedir. Döngüsel ekonomi metotları üzerine çalışmalar, ekolojik, ekonomik ve davranışsal etkilerin şekillendirdiği tedarik zinciri basamaklarında ortaya çıkabilecek geri tepmenin bütünüyle gerekli ölçümlerin yapılmasına bağlı olarak azaltılabileceğine işaret etmektedir. Bundan başka tüketici yararına azalan maliyete ve artan oranda tüketime neden olan döngüsel ekonomi önlemleri bir risk unsuru olarak da görülmektedir. Buna rağmen ekolojik fayda açısından geri dönüşümün yaygınlaşması ve süreçlerin iyileştirilmesi mümkün olmaktadır. Nitekim döngülerin ömürleri bakımından gelişmelerin düşündürücü olduğuna dikkat çekilmektedir. Diğer bağlamda döngüsel ekonomi tedbirleri tüketim modellerinde ve sosyal yaşamda yapılabilecek reformsal değişim ile mümkün olmakta aksi taktirde yetersiz ekolojik etkilerden öteye geçemeyeceği varsayılmaktadır. Döngüsel ekonomi faaliyetleri üretim ve tüketim kalıplarında etraflıca bir değişime olanak tanınması gerekirken, dünyanın sürdürülebilirliğine odaklanıldığından aşamalı şekilde gerçekleşen iyileştirme çabalarının geri tepme etkisiyle başarı gösteremeyebileceğine de vurgu yapılmaktadır. (Camana vd., 2021, s.614-615)

Kapsamı geniş fakat etkisi görece yeterli olamayan döngüsel ekonomi inisiyatifleri, çevrimsel alana yönelik uygulama örneklerindeki yetersizlikten ötürü endüstriyel kolların ilerlemesine katkı sağlayamamaktadır. Farklı endüstriyel alanlara yönelik iş modelleri üzerine uygulama örneklerine ağırlık verilmesi, işletmelerin yol haritalarını belirlenmesine yardımcı olabileceği gibi uzun vadede getirisi olacak stratejik kararların verilmesini de kolaylaştıracaktır. Bu şekilde uygulama eksikliğinden kaynaklı muhtemel maliyetlerin önüne geçilebilecektir. Döngüsel ekonomi olanaklarını zorlayan endüstri kollarının hedeflediği etkinin marjinal düzeyde olması, yeterli seçenekleri içinde olmayan fırsat yelpazesinden kaynaklanmaktadır. Sektörel ihtiyaçlara bakan yönüyle kısıtlı imkânlar sunan mevcut çevrimsel modeller ve yeterli önlemlerin alınmasındaki güçlükler sebebiyle pazar kayıpları ile ihracatta aksama ve sorunlara neden olacaktır.

Buna ilişkin alternatifleri tespit etmede bir aciliyet olduğuna dikkatleri çekmek amacıyla işletme ölçeğine bakılmaksızın çoklu iş modelleri seçenekleri sürdürülebilir bir geleceğin teminatı olarak görülmektedir. Buradaki nihai amaç, zorlukların üstesinden gelmeyi her düzeydeki işletme için kolaylaştıran döngüsel ekonomi gibi stratejik kararların sürdürülebilirliği destekleyen bir yaklaşım olarak kabul edilmesidir. Döngüsel ekonomi, iş modeli bağlamında geniş bir yankı uyandırır da işletme alanında resmi nitelikte diyebileceğimiz sürdürülebilirliği konu edinen döngüsel ekonominin literatür örnekleri üzerine yeterince tartışma mevcut değildir. Buna rağmen sürdürülebilir ve sosyal alanlarda çoğunlukla tartışmaya değer bir konu olarak görülen döngüsel ekonomi araştırmaları, finansal sürekliliğin ekolojik ve sosyal etkiler üzerine olduğu kadar etik ve ahlaki normlar bağlamında da önceliği olduğu ileri sürülerek bu tür araştırmalar elverişli bir konsept olarak nitelendirilmektedir. (Murray vd., 2017, s.370)

Ülkelerin gelişim düzeyleri döngüsel ekonominin benimsenmesinde kilit bir rol oynamaktadır. Gelişmiş ülkelerin döngüsel ekonominin uyarlanması daha başarılı oldukları, gelişmekte olan ülkelerin ise döngüsel ekonomiye dair teşebbüslere bir ölçüde hazır oldukları fakat gereği kadar yararlı sonuçlar elde edemediklerine dikkat çekilmektedir. Bu ülkeler içinde Çin, Sri Lanka, Hindistan ve Malezya gibi gelişmekte olan ülkelerin girişimleri ileri gelmektedir. Döngüsel ekonomi etrafından net bir sistemin geliştirilmemiş olması istenilen sonuçlara ulaşılmasında önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Döngüsel ekonomiyi uyarlama niyetiyle yola çıkanların hükümet dayanağına olan taleplerini net bir şekilde ortaya koymaları tavsiye edilmektedir. Bunlar ise döngüsel ekonominin kabulüyle uygulamalara yönelik organizasyonların belirli imtiyazlar kazanabileceğini, vergi indirimleri ve bundan başka teşvikleri de kapsayan uygulamaları içermektedir. Döngüsel ekonomi adaptasyonunda gereken verimin sağlanması, ihracat olanaklarını genişletmekle kalmayıp ekonominin iyileştirilmesinde önemli bir paya sahip olacağı da kesindir. Endüstriyel ekolojinin uyarlanmasına dair atılan adımlara ilişkin telkinler yapılmaktadır. Bundan dolayı organizasyon veriminde görünür bir gelişme kaydedilmekte, sürdürülebilirlik eylemlerinin devamlılığı kolaylaşmaktadır. Nitekim döngüsel ekonomiyi uyarlama tamamıyla sürdürülebilirliğe dayanmaktadır. Dolayısıyla sürdürülebilir kaynakların devreye alınmasının ve yeşil faaliyetlere olan talebi canlandırmaya yönelik özendirme çabalarının önemli olduğuna hükmedilmektedir. Döngüsel ekonominin uyarlanması esnasında bazı ürünlerin arıtmaya tabi olup olmadıklarının zamanında tespit edilmesinin yaşam döngülerinin derinlemesine irdelenmesiyle alakalı olduğu ve ilgili akışı destekleyeceği vurgulanmaktadır. (Yadav vd.,

2020, s.10). Döngüsel ekonominin getireceği fırsatların ötelenmesine neden olan engelleyici faktörler mevcudiyetini korurken, Paris Anlaşmasının onaylanması gibi ülkemizde yaşanan gelişmeler iş ve yatırım faaliyetlerinin yeniden yapılandırılma sürecine ivme kazandırarak yeşil dönüşüm sürecini hızlandıracaktır. Yaşanması muhtemel iklim krizlerinin önüne geçmek amacıyla Türkiye'nin de taraf olduğunu bildirmesi küresel ısınmayla mücadele kapsamında kamusal ya da sektörel bazda duyarlılığın gelişmesine katkı sağlayacaktır. Küresel rekabetin daha fazla gerisinde kalmamak ve ilgili politikalarca karbon nötr bir ekonomiyi temsil eden döngüsel ekonominin hayata geçirilmesinde sınırlayıcı faktörlerin üstesinden gelmek amacıyla sunulan yol haritalarının ve acil eylem planlarının yeşil ve dijital teknolojilerin adaptasyonunu sağlayacağına inanılmaktadır. Karbonsuz bir ekonominin gerçekleştirilmesine yönelik küresel baskılar, sürecin gerisinde kalınmasına neden olan fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjilere doğru bir geçişi hızlandırmayı beklemektedir. Döngüsel ekonominin önündeki en önemli kısıt, süregelen fosil tüketiminin yerinin kolaylıkla yenilenebilir enerjilerle değişemeyeceğidir. Ama adaptasyon sürecinin hızı, tamamıyla gelişmelere karşı duyarlılığın artmasına, eylem planlarının hayata geçirilmesine ve tarafların üstlendikleri sorumlulukları yerel ve küresel bağlamda büyük olasılıkla içselleştirmelerine dayanmaktadır. Döngüsel ekonominin uygulama alanlarını sınırlayan faktörleri genel çerçevesiyle ele almanın bu konuya yönelik engellerin açıkça ortaya konulmasında ve meselenin kavranmasında fayda sağlayacağını söyleyebiliriz.

Yapılan araştırmalardan elde edilen veriler döngüsel ekonomi önündeki engelleri sınıflandırarak açıklamaktadır. Bunlardan biri akıllı atık sistemleri doğrultusunda bir farkındalığın oluşmadığıdır. Bundan dolayı işletmeler faaliyetlerini iyileştirerek sağlayacakları olası potansiyelleri fark edememektedirler. Henüz yeni tanınmaya başlayan IoT gibi akıllı atık uygulamalarına karşı duyarsızlık ve bilgi yoksunluğu nedeniyle uzmanlık gelişmemiştir. Bu sebeple işletmeler mevcut gereksinimlerden habersizdir. Diğer bir faktör olarak nitelendirilen yasal uygulamaların etkisinin görece düşük olması bunlardan sayılmaktadır. Nitekim yasal düzenlemelerin yaptırımına maruz kalmayan işletmelerin marjinal bir düzeyde yol aldıkları görülmektedir. Döngüsel ekonomi üzerine verilen Çin örneğinde kalkınma çabalarındaki yetersizlik buna bağlıdır. Ekolojik duyarlılığın ön planda olduğu yasal düzenlemelere ve ilgili faaliyetlere gereğince ağırlık verilmemesi engelleyici etmenler arasında sıralanmaktadır. Atık üretiminden sorumlu bireyler kirliliğe yol açmakta ve çok seyrek yaptırımlara tabi olmaktadır. İşletmeler, yasal düzenlemelerin bir ağırlığı olmadan tedarik zinciri faaliyetlerini yürütmeye çalışırken

süregelen ve ertelenmiş atık yönetiminin sürekliliğini sağlama çabası içindedir. Atıkla ilgili işlemleri daha iyi yönetebilmek için yeni gelişmekte olan akıllı teknoloji sağlayıcılarına yatırım için yönelmek mutlak bir gereklilik olarak görülmemektedir. Diğer bir engelleyici etmen inovasyona dayalı kapasiteyi oluşturma gerekliliği olarak tarif edilmektedir. Atık yönetiminde başarı göstermek isteyen işletme yöneticileri kapasitelerini genişletmek için harekete geçmelidirler. Yenilik esasında ilgili teknolojileri etkinleştirenlerle birlikte çalışmak bunu gerektirmektedir. Buradaki temel sorun sadece yenilikçi kabiliyetlerin eksikliğinden kaynaklanmamakta, bunu bir adım daha ileri taşıyacak ilgili yenilikçi kültürün gelişmemesiyle de ilgilidir. Bundan ötürü atık teknoloji sağlayıcılarına yönelik talebin oluşması ve ortaya çıkabilecek avantajları tahmin edebilmek pek mümkün olamayacağı gibi, ekonomik ve beşerî varlıkların gerekliliğine olan inancın gelişmesi de zaman alacaktır. Bir diğer öne çıkan zorluklardan biri de akıllı teknolojilerin sağlayacağı avantajlara bakılmaksızın, bu teknolojileri tatbiki yönelik aksiyon alırken çıkabilecek zorlukları da düşünmek gerektiğidir. Bilindiği üzere teknolojilerin birleştirilmesinde yaşanan güçlükler sıkça rastlanan bir engel olarak öne çıkmaktadır. Birbiri ile örtüşmeyen teknoloji platformlarının tercih edilmesi tedarik süreçlerinde olduğu kadar işletmeleri de olumsuz etkileyen bir zorluk olarak görülmektedir. İnovasyonun dinamik yapısından ötürü istifade edenlerin hızla yenilenen teknolojik ürünlere adaptasyonu zorlaşmaktadır. Sorunun temelinde yatan neden ise ilgili ürünlerin yaşam sürelerinin giderek kısalmasıdır. Bu ve bunun gibi nedenlerin yanında sağlanacak ekonomik değer belirsizliğini korumaktadır. Piyasa tarafından zorlanmadıkça ve ilgili talep oluşmadığı sürece sürdürülebilir faaliyetlerin hayata geçirilmesi pek mümkün gözükmemektedir. Buna benzer kolaylaştırıcı akıllı teknolojilerin devreye alınmasıyla iyileştirilmesi hedeflenen akıllı yönetim sistemleri bunlar arasında sayılabilmektedir. Diğer bir konu ise atık yönetimini daha iyi bir seviyeye çıkarabilmek için finansal varlıkları garanti ederek mali zorlukların aşılmasına çalışılmasıdır. Farklı atık tiplerinden katma değer sağlayıcı elverişli işleme koşullarını oluşturmak güç bir mesele olarak görülmektedir. Bireysel olarak hareket eden işletmelerin akıllı teknolojileri uyarlaması atık yönetimine finansal bir yük getirmektedir. Bunun sebebi atık arındırma işlemlerinin tamamıyla değil, bir ölçüde ölçek ekonomisine dâhil olmasıdır. Engelleyici faktörler içinde önemli sayılabilecek çevreci bir perspektifin gelişmesi için eğitimlere ağırlık verilmesi gerektiğidir. Bunu ise bu sebeple gecikmiş çevresel kültür takip etmektedir. Çin örneğinden yola çıkarak çevresel eğitime değer veren yeni nesile kıyasla olgun nesiller değişmeyen değer yargılarına sahiptir. Atıkların ayrıştırılmaması gibi üstlenilmeyen sorumlulukların etkisiyle genç kuşak negatif yönde etkilenmektedir. Bu

neslin değişmeyen evre algısı, ekolojik sürdürülebilirliğe bir önem atfetmediği gibi süregelen tutumlarda bir değişim de pek mümkün olamamaktadır. Bu şekilde yeni kuşağın eğitimle edindiği çevresel değer algısı bozulmaya yüz tutmaktadır. Çin’de geçmişten günümüze çevresel tutumlarla ortaya çıkan davranışların içselleştirilen ekolojik değerlerle yer değiştirmesi zaman gerektiren bir konudur. Paydaşlar arasında sağlanması beklenen iş birliği de akıllı atık yönetiminin uyarlanması tedarik sürecinin yönetimine önemli bir katkı sağlamaktadır. Atık yönetimi ise kullanım ömrünün etrafıca analizini gerektirmektedir. Burada üzerinde durulan engelleyici faktör, çıkar grupları ve hizmet verenler arasındaki eksik dayanışmanın varlığıdır. Burada açıkça ifade edilmek istenen iştirakçilerin üstlendiği görevlerin yanı sıra teknolojik uyarlama bir tarafa düzenli teşviklerin yapılması ve edinilen yararların mevcudiyeti de önem arz etmektedir. Bunlardan başka ele alınan sorunlar içinde uzun vadeli hedefler odağında iş planları oluşturmak ve amaçları belirlemek ciddi bir zorluk olarak tarif edilmektedir. Buradaki sorun, atık yönetimine yapılan yatırımın kısa bir süre sonra çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamayacağıdır. Akıllı teknolojilerin entegre edilmesiyle işleyen süreç ne yazık ki kısa dönemde finansal avantajlar getirmeyecektir. Dolayısıyla bu süreç kısa dönemli beklentileri karşılamamaktadır. Mesele, kısa dönemde gerçekleşmesi beklenen finansal kazanç ile uzun dönemde sağlanması muhtemel sürdürülebilirliğin uyumunu yakalayabilmektir. Bir diğer tartışılan husus ise bireysel kuruluşların tek başlarına pozitif kümülatif etkilere neden olamayacağıdır. Öyle ki akıllı atık yönetiminde toplu uygulamalar ölçek ekonomisine ilişkin gerekli potansiyeli sağlayabilmektedir. Aksi takdirde akıllı atık uygulamaları daha sık kullanılmadığı sürece pozitif kümülatif etkilerin yokluğu bir engel olarak kendisini göstermeye devam edecektir. Son iki engelleyici unsur dikkatleri üzerine çekmektedir. Bunlardan biri liderlerin kararlı duruşu her bir teşebbüsün önünü açan bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Liderlerin sorumluluğu gerek ilgili teknolojilere yönelmek için varlıkları garanti etmeyi kapsamakta gerekse iş kademelerinin yeni baştan şekillendirilmesinde bireysel tahsisle gerçekleşebilmektedir. Liderler tarafından verilen taahhütlerin yerine getirilmeyişi olası iyileştirmeleri engelleyerek bazı döngüsel ekonomi öncelikler için bir handikap oluşturduğu çoklu fikir birliği ile doğrulanmaktadır. Bu kaynağın değindiği son engelleyici unsur ise atık yönetimi etrafında elverişli standartların geliştirilmemiş olmasıdır. Bu zorluğun temel nedeni, kamu ya da diğer kuruluşların farklılaşan ihtiyaçlarına uygun standartlar mevcut olmadığından akıllı teknolojiler yardımıyla otomatik hâle getirilmek istenen işlemlerin imkânsız hale gelmesidir. Atık türleri elektronik, inşaat, gıda vb. olmak üzere çeşitlilik göstermektedir. Doğası gereği bu

yelpaze döngüsel ekonomi vasıtasıyla yeniden değer üretmek için çeşitli işleyiş tekniklerini sunması gerekmektedir. (Zhang vd., 2019, s.5-6). Söz konusu incelemede engelleyici faktörler etraflıca değerlendirilmiş ve döngüsel ekonomiyi kısıtlayan yönleri derinlemesine incelenerek, bu faktörlerin ilişkili olduğu süreçler ve bağlantılar açıkça ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Döngüsel ekonomiyi kısıtlayan unsurlar atık yönetiminden sağlanacak faydayı geciktirirken muhtemel rekabet avantajlarının kaçırılmasına da neden olmaktadır. Burada endüstrilerin önünü açmak için yasal ve bireysel yükümlülükler ön plana çıkmakta atık sisteminin geliştirilmesi ve konumlandırması için kolaylaştırıcı önlemlere yoğunlaşmak gerektiği ifade edilmektedir. Akıllı atık yönetiminin gücünü azaltan ya da mevcut sistemlere uyarlanması için potansiyellerini örten etkenler arasında motivasyon eksikliği, liderlerin kararsız tutumu, farkındalığın gelişmemiş olması gibi nedenler söylenebilmektedir. Başka bir açıdan ele alınan döngüsel ekonomi önündeki engeller diğer engelleri pekiştirici nitelikte olup konu etrafında yararlı iç görülerin gelişmesini örseleyici faktörler olarak kendini göstermektedir.

Döngüsel ekonomiyi engelleyici etmenlerin boyutlarına bakıldığında bunlar arasında zayıf etkiye sahip sınırlayıcı faktörler bulunurken bunları ise daha etkin diyebileceğimiz güçlü sınırlayıcı faktörler takip etmektedir. Daha öncede değinildiği gibi çevrimsel ekonominin daha fazla kullanıcı tarafından tercih edilme gerekliliği üretim aşamalarını yeniden yapılandırırken alışlagelmiş tüketim alışkanlıklarını da koşulsuz yeniden şekillendirmeyi gerektirmektedir. Şimdiye dek hâkim olan mevcut ekonomik sistemin sürdürülmesinin ardında yatan nedenler, çevrimsel ekonominin gelişimi açısından açıklanması gerekli bir husustur. Geleneksel mevcut ekonomik yapının süregelmesinin ardındaki nedenleri irdeleyen Avrupa komisyonu bazı noktalar üzerine ilgiyi çekmeye çalışmaktadır. Bu hususlar içinde ekolojik olduğu kadar sosyal bağlamda da belirsizliği süren işletme faaliyetlerinin mali saydamlığı getirememesi sayılmaktadır. Dahası kaynak kullanımı, belirsiz iklim koşulları ve kirliliğin işletmelere olan yoğun etkisinin dikkate alınmaması ve bunun yanı sıra paydaşların öncelikle kısa vadede ulaşılması hedeflenen kârlara ya da paylara odaklanması üzerinde durulmaktadır. Bu önceliği olanların uzun vadede elde edilmesi olası döngüsel ekonomi getirilerine yönelmesinin güçlüğüne dikkat çekilmeye çalışılmaktadır.

2.7 Döngüsel Ekonomi Ekseninde Eylem Planları ve Stratejik Kararların Değerlendirilmesi

Döngüsel ekonomi yaklaşımının sürdürülebilir bir düşünceden ibaret kalmayıp öne sürülen eylem stratejilerini içselleştirmek yasal ve bireysel yolla motive edilen inisiyatifler sayesinde işletme faaliyetleri ve süreçlerini biçimlendirerek kaynakların ve ürünlerin döngüsel ekseninde dönüşebilmesine imkân vermektedir. Engelleyici faktörler, döngüsel ekonomi yaklaşımının konumlandırılmasını bir ölçüde ötelese de hafif ya da güçlü etkilerini odağına alan her bir aksiyoner için küresel iyileşme ve çıkarlar doğrultusunda fırsatların oluşturulması açısından açık bir itici gücü temsil edecektir. Daha yaşanabilir bir gezegen için bugünün ve yarının çevresel etkilerini zayıflatabilmek dünyanın takip ettiği iklim stratejilerinin uygulanması ve uyarlanması ile doğru aksiyonların alınması için kararlı bir duruşa sahip olmakla mümkündür. Çevrimsel döngünün işleyebilmesi, politik süreçlerin çevik hareketiyle sürdürülebilir döngüyü desteklemekte ve ekonomik yararın en yüksek seviyeye çıkarıldığı fırsatları da beraberinde getirmektedir. Bu çevrimsel süreç, kaynakların ve emisyonların azaltılmasını önceliğine almaktadır. Bu amaç ile çevresel bozulmaları durdurmak için yola çıkılmış olsa da asıl mesele ürün yaşam sürelerini başından sonuna çevreleyen kaynak faktörünün çevrimsel döngüde daha fazla yer edinmesini sağlamak ve mümkün olan en yüksek katma değeri kurumsal, toplumsal ya da ekolojik anlamda alabilmektir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ENDÜSTRİ 4.0 VE OTOMOTİV SEKTÖRÜ

3.1 Endüstri 4.0 ve Kavramsal Çerçeve

2011 yılının önemli gelişmelerinden biri olarak Endüstri 4.0 kavramının Almanya’da ortaya çıkması yeni bir çağın kapılarını araladığı gibi bu gelişimin bütün dünyaya duyurulmasında da bir ilki gerçekleştirmektedir. Yeni üretim sistemleri altında Endüstri 4.0 olarak nitelenen anlayış, siber fiziksel sistemleri ve etkin veri kullanılmasını temel almaktadır. Dijital dönüşümün belirgin düzeyde ivme kazandığı ortamda Endüstri 4.0’ın etki alanı, bilişim ve iletişim ağ teknolojileri kapsamında üretim süreçlerinde yarattığı değişim sayesinde genişlemektedir. Endüstri 4.0’ın makro büyüklükte mercek altına aldığı kalkınma, istihdam ve insan kaynaklarına olan etkileri; yatırım ve girişimcilik alanında da görülmektedir. Buna kıyasla bu gelişimin mikro düzeyde diyebileceğimiz fonksiyonel etkilerine bakıldığında yüksek verimlilik, maliyet üstünlüğü ve belirgin kârlılığın sağlanması açısından da bir dizi inisiyatifi kazandırdığı söylenebilmektedir. (Soylu, 2018, s.43)

Endüstri 4.0, günümüzde Almanya başta olmak üzere akademik alanda ve uygulama sahasında yoğun şekilde tartışılan konular arasındadır. Buradaki federal hükümet 2011’de Endüstri 4.0’ı ileri teknoloji planlarının yürütülmesinde teşebbüs edilmesi gereken esas dayanak olarak bildirmektedir. Bu bildirimin ardından akademisyenler ve uygulayıcılar ilgili yayınlara ve konferanslara yönelmiştir. Endüstri 4.0’ı dikkat çekici hâle getiren olgu, tahminlere dayalı bir sanayi devrimi olarak ortaya çıkmış olmasıdır. Bu sanayi devrimi geleceği yeniden inşa eden tarafla bilim insanlarına ve uygulama sahasındakilere büyük avantajlar getirmektedir. Endüstri 4.0’ı cazip kılan diğer fırsatlar içinde modern iş modellerinin dizaynından daha önce tanımlanmamış ürün ve hizmetlerin tasarlanmasına işleyişteki üretkenliğe ve sağlayacağı katkıya kadar bir dizi faktörden bahsedilmektedir. Yapılan tahminlere göre Endüstri 4.0’ın sağlayacağı ekonomik değerin belirgin derecede yüksek olacağı öngörülmektedir. Endüstri 4.0, benimseyebileceğimiz genel kavramsal bir arka plana sahip değildir. Bunun üzerine bilimsel çalışmaların teorik bir dayanağa ihtiyacı olduğundan böylesi çalışmalar terminolojik ve kavramsal boşluktan dolayı zor

gözükmektedir. (Hermann vd., 2016, s.3-4). Küresel ve teknolojik etkilerin şiddetine bakıldığında Endüstri 4.0'ın üzerinde düşünülmesi gereken önemli bir konu hâline geldiği açıkça görülmektedir. Endüstri 4.0, dördüncü sanayi devrimini temsil etmektedir. Bu konuya kuşkuyla bakılmasındaki nedenlerden biri de bir sanayi devriminin henüz gerçekleşmeden ve henüz tamamlanmadan önce ilan edilmiş olmasıdır. Bu da meseleyi daha dikkat çekici bir duruma getirmektedir. Endüstri 4.0'ın bilimsel anlamda kesin bir kavramsal ifadesi bulunmadığından üzerinde çeşitli yorumlara ve tartışmalara açık olması kaçınılmazdır.

Federal Eğitim ve Araştırma Bakanlığı (BMBF) kanalıyla Endüstri 4.0 üzerine yapılan sade tanımlama durumu kısaca tasvir etmektedir. Bu tanımsal çerçeveye göre bilgi teknolojilerine ait süreçlerin teknik yönden mevcut sistemlere entegre olmasıyla denetim gerçekleşmekte ve süreçlerin iyileştirilmesi sağlanmaktadır. Siber-fiziksel sistemler olarak adlandırılan ve çoğu nesneye ağ bağlantısı bulunan bu sistemler yardımıyla etkili, gömülü sistemler kurulabilmekte nesnelerin ve hizmetlerin interneti kapsamında tarif edilen akıllı kontrol süreçleri gerçek hayatla birbirine bağlanmaktadır. Endüstriyel açıdan ağ bağlantısı yoluyla paylaşılan zekâ, işletmeleri ve katma değer sağlayan diğer ağları gerçek zamanlı denetleyip iyileştirebilmek amacıyla iyi bir görünürlük ile bağımsız karar vermeyi desteklemektedir. Değişken bir yapıya sahip olan bu işleyiş büyük çaplı üretim şartları çerçevesinde bireye özgü çıktılara imkân vermektedir. (Halang ve Unger, 2014, s.'V'). Görüldüğü kadarıyla Endüstri 4.0 üzerine yapılan araştırmalar devam etmektedir. Bu bağlamda diğer sistemlerde ya da yaklaşımlarda olduğu üzere Endüstri 4.0'ın uygulama alanı ve kapsamı genişledikçe kavramsal çerçeve de bu yaklaşımın değer kapsamının genişletilmesi açısından değişecektir. Şüphe yok ki evrensel düzeyde disiplinler arası birçok tanımsal katkıya rağmen gerçek tanımlama endüstriyel süreçlerini öncelikle uyarlayan ve köklü değişimin habercisi olan çıkış kaynağından ileri gelmektedir. Endüstri 4.0'ın dünyaya ilan edildiği konum itibarıyla verilecek örnekler erken belirlenen stratejilerin ve alınan tedbirlerin önceliği bağlamında diğer uygulamalara kıyasla bir adım öne çıkmaktadır.

Bu düşünceden hareketle Endüstri 4.0, teknik bakımdan akıllı ve dijital ağ bağlantısı yardımıyla kendi kendini düzenleyen üretim sistemlerine sahiptir. Burada insanlar, makineler, lojistik süreçler ve çıktılar sistemin tüm unsurları dâhil karşılıklı şekilde doğrudan bir bağlantı oluşturup iş birliği sağlamaktadır. Nitekim benzer üretim aşamalarına sahip işletmeler, üretimi verimli ve çevik bir yapıya kavuşturabilmek adına

üretimi ve lojistiği ilgilendiren süreçleri akıllıca birbirine entegre etmektedir. (Schmertosch ve Krabbes, 2018, s.5-6). Endüstri 4.0, teknolojilerin ayrıcalıklı katılımıyla şeffaflığı sağlayarak gidişattaki zayıf yönleri tespit edebilmekte verimlilik namına iyileştirmeyi daha yüksek bir düzeye getirmektedir. Endüstri 4.0'ı hayata geçirmeye özendiren unsurlar arasında sayılan akıştaki verimsiz alanların tespitine dayalı yönergeler, teknolojinin devreye alınmasında etkili olurken bu durum tarafların erken müdahalesine fırsat vermesiyle tanımlanmaktadır. (Roy, 2017, s.85). Bilgi ve iletişim teknolojilerinin geldiği son aşama olarak tarif edilen yeni endüstriyel gelişim, etkinliğini ağ bağlantılarını kapsayan sistem unsurlarını birebir yeniden yapılandırarak sağlamaktadır. Bu yapılanma sürecinde değer sağlayacağı öngörülen beşerî ve fiziki bütün faktörlerin karşılıklı ağ bağlantısı sayesinde oluşturdukları dijital sistemlere daha esnek ve çevik bir nitelik kazandıracak olan dijital ve otonom teknolojilerden bahsedilmektedir. Bu teknolojilerin sağladığı anlık kontrol ve takip mekanizmaları yardımıyla entegre işleyen süreçlerin tamamı görselleştirilerek olası hata oranları öncesinden tespit edilmektedir. Makine öğrenmesi sayesinde kestirimci bakım gibi operasyonlarla daha verimli faaliyetler yürütülebilmektedir. Endüstri 4.0'ın temel amacı, daha fazla iş birliğinin dâhil olduğu ağ bağlantıları bandını genişletmek ve operasyonel faaliyetlerin giderek daha da yerleşmesini sağlamaktır. Endüstri 4.0'ın birtakım uygulamaya yönelik özellikleri verildikten sonra Endüstri 4.0'ın olgunlaşma sürecinde bazı dönemlerin endüstriyel gelişimlerine eğilimin yararlı olacağı düşünülmektedir.

3.2 Endüstri 4.0'ın Gelişimi ve Paradigma Değişimi

Endüstri 4.0'ın birçok alanda etkisini göstermeye başladığı yenilikçi anlayışı, günümüze değin gelen alışlagelmiş bakış açısını farklı bir noktaya taşıyarak yeni bir dönemin kapılarını aralamıştır. Endüstri 4.0 sosyal, kültürel, ekonomik ve hatta politik anlamda yeni reformların ve dönüşümlerin yaşanmasını olanaklı hâle getirecek yeterlilikler ve fonksiyonlar ile donatılarak yeni neslin yaşantısını tümüyle etkileyecek bir dönüşüme öncülük etmektedir. Gelişmeleri izleyen işletmeler tarafından çoğu dönem mevcut fonksiyonel süreçler ve sistemler, bir sonraki dönem ve gereksinimler adına yeterli görülmeyip üretim ve tedarik sistemlerinin yeniden yapılanması amacıyla teknolojik gelişmelerin sunduğu imkânlarla revize edilebilmeye gayret gösterilmektedir. İmalat hatlarına yapılan reformsal iyileştirmelerle ilerleyen süreç, işletmenin diğer alanlarını ve

hatta ilişkili olduğu tarafları ve bağlantıları da geniş çaplı etkileyerek belirli bir odağa sahip faaliyet alanını giderek genişletecektir. Bu sürecin etkileri ise teknolojik gelişmelerle biraz daha karmaşık hâle gelmektedir. Bu gelişmeler ışığında ilk etapta yalnızca ekonomik performansı görmek amacıyla günümüze değin yapılan üretim ve tedarik alanındaki esaslı değişimlerin yetersizliği birçok alanda kendini göstermektedir. Güncel endüstriyel oluşumların potansiyel etkilerini görebilmek ve devamında Endüstri 4.0'ın yaratacağı çok yönlü sonuçlara ışık tutabilmek için Endüstri 4.0'ın gelişimine değinmek yerinde olacaktır.

İlk sanayi devrimi, tasarlanan buhar motorları sayesinde üretilen enerjiye dayanmaktadır. Makinelerin işlevleri devralması insan gücüne gereksinimi azaltmıştır. Bilhassa burada birinci dereceden enerji kaynağı olarak görülmeyen insan gücü, makinelerin faaliyete geçirilmesinde de etkilidir. Bunun doğal nedenleri içinde güç gerektiren makinelerle bağlantının güvenli olmaması ve makinelerin sağlığa zararlı olabileceği gibi kazalara da sebebiyet verebileceği düşünülmektedir. Bu sebeple 1853'de Prusya'da iş sağlığı ve güvenliği üzerine iç denetimleri yapmak ve ticari denetimi üstlenen mevkiyi belirlemek amacıyla "Fabrika denetimi" düzenlenmiştir. Bunun neticesinde üretimde akışın sağlanması nedeniyle iş gücüne talebin azalması ikinci sanayi devrimini belirleyen unsurlardan sayılmaktadır. (Trenkle ve Furmans 2017, s.46). Diğer bir deyişle, 18. yüzyıl biterken mekanik imalat araçlarının pazara sunulması sanayileşmeyi teşvik etmiştir. James Watt'ın etkili olduğu bu dönemde buhar gücüyle tasarlanan motorlar, makineleri işlevsel hâle getirerek emtia üretiminde reformsal bir dönüşüm gerçekleştirmiştir. İkinci sanayi devrimi, 20. yüzyılın başlarında iş bölümüne odaklanan elektrik kaynağı ile yığın üretimin benimsendiği bir devrim olarak karakterize edilmektedir. Bu dönemde Henry Ford'un montaj hattının kullanımına eğilim artmıştır. Bilindiği üzere Frederic W. Taylor'ın geliştirdiği bilimsel yönetim metotlarına benzer yapısal dönüşüm ile bu reform hareketi desteklenmektedir. Bu gelişim daha çok endüstrideki büyük firmaların imalatında (kitle üretimi) kendini gösterirken, elektronik ve kimya endüstrileri gibi makine mühendisliği ve otomotiv sektöründe de ilerleme kaydetmiştir. Bundan sonra 1970'lerin ilk döneminden itibaren yerini alan üçüncü sanayi reformu günümüze kadar süre gelmiştir. Bu reform hareketi, makinelerin devreye alınmasıyla iş gücüne talebin büyük ölçüde azaldığı ileri otomasyon süreçlerinin üretimde aktif hâle gelmesiyle özellikle elektronik ve bilgi teknolojilerinin bu sürece dâhil edildiği bir harekettir. (Bartodziej, 2017, s.32). Üçüncü sanayi devriminde öne çıkan otomasyon uygulamaları sayesinde makinelere çeşitli sorumluluklar yüklenmektedir. Burada dijitalleşmenin rolü ise çalışanları akılla yürütülen

işlerden uzaklaştırmasıdır. İnsana kıyasla otomatik güvenlik sistemleri daha emniyetli görülmektedir. Makinelerin takibi ve risklerin engellenmesinde etkin elektronik sistemler önleyici araçlar olarak uygulanmaktadır. İnsan kaynaklı adaptasyon ile insan ve makine arasındaki ilişki belirlenmektedir. Dolayısıyla her bir dönemde insan ve makine arasındaki ilişki farklılık göstermekte ve insanların verdiği emekle beraber faaliyetlere ilişkin risklerde de azalma gözlenmektedir. Kagermann ve arkadaşlarının değindiği üzere Endüstri 4.0 aracılığı ile makinelerin ağ bağlantısı yoluyla karşılıklı etkileşimine izin verildiği ve kendi kendini yönetebilir hâle geldiği bildirilmektedir. Siber fiziksel sistemlerin buradaki fonksiyonu aktifleştiren teknoloji yönüyle işlevsel hale gelmesi, bilgi alışverişini sağlaması ve ortamı kavrayıp harekete geçmesidir. (Trenkle ve Furmans, 2017, s.46-48) Mekanikleşme elektrik enerjisinin birçok alana nüfuz etmesinde etkili olmuştur. Ardından bilgisayar donanımının yaygınlaşması ile nesnelerin internetinin fabrikalarda yer alması dördüncü sanayi devriminin müjdesini vermektedir. Siber fiziksel sistemler vasıtasıyla evrensel düzeyde her bir firma sadece makinelerini değil, cihazlarını, depolama sistemlerini ilgili ağa dâhil etmektedir. Bunlar tabii ki üretim çerçevesinde özerk şekilde bilgi değiş tokuşunu yapabilen makineleri, depolama sistemlerini ve cihazları işaret etmektedir. Dahası bu akıllı makineler ve benzeri sistemler operasyonların kendiliğinden devreye girmesini tetiklerken karşılıklı otonom kontrolün sağlanmasında da akıllı özelliklere sahiptirler. Böylelikle üretimi, mühendisliği, malzeme tüketimini, yaşam döngüsünü ve tedarik zinciri yönetimini çevreleyen endüstriyel süreçlerde esaslı bir iyileşme görülmektedir. Modern bir oluşumu temsil eden akıllı fabrikalar farklı bir üretim zihniyetine sahiptir. Bu anlamda akıllı ürünler lokalize edilebilmekte, rastlantısal bir durumun açıkca tarif edilebilmesine imkân sağlayan daha önceki, şu andaki ve gelecek ile ilgili seçenekleri sunabilme yetisine hâkim olunabilmektedir. Bu sürecin gömülü üretim sistemleri ise dikey düzlemde fabrikalar ve işletme süreçleri ile entegre işlerken, yatay düzlemde sipariş oluşturmada lojistik süreçlere kadar eş zamanlı kontrolün sağlandığı dağınık değer ağlarıyla bütünleşmektedir. Aynı zamanda bu sistemler değer zincirini tümüyle etkileyen istikrarlı bir mühendisliği getirmekte ve gerektirmektedir. Geniş kapsamlı olanaklara sahip Endüstri 4.0, “Akıllı fabrika” aracılığıyla kişiye özel taleplere eğilerek bir kereye mahsus dahi üretilebilecek ürünleri kolay ve kazançlı şekilde sağlayabilmektedir. (Kagermann vd., 2013, s.5). Bu gelişmelerin ardından Endüstri 4.0 tüm donanımları ve entegre teknolojik sistemlerin uygulanması ile insansız fabrikaların geliştirilmesini sağlamaktadır. Tam otomasyonlu süreçlerin hâlihazırdaki sistemlere adaptasyonu işletmenin iç ve dış faaliyet alanlarında muazzam bir çığır açmıştır. Üzerinde

tartışılan ve belirli standartları karşılaması beklenen Endüstri 4.0'ın kendi dinamikleri ile mevcut sistemleri değiştirebilecek güce sahip olduğu düşünülmektedir. Güncel gelişmeler kapsamında organizasyonların altyapı, örgütsel kültür ve vizyon hedeflerinde paradigma değişimine gitmeleri zorunlu hâle gelmektedir. Bu aşamada Endüstri 4.0'ı harekete geçiren itici gücün etkilerine değindikten sonra sosyo-teknik ve sosyo-ekonomik önemi üzerine değerlendirmelere yer verilecektir.

3.3 Sosyo-Teknik ve Sosyo-Ekonomik Açıdan Endüstri 4.0

İlk sanayi devrimleri daha küçük yaş gruplarının manipüle edildiği işçi gruplarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bunların sonuçları çeşitli olmakla beraber sosyal ve toplumsal yönden olumsuz etkileri uzun yıllar hissedilmiştir. Sosyal güvencenin sağlanmasına ilişkin aksaklıklar, uygulamaların gereği ölçüde yerine getirilmemesi, sosyal haksızlıkların yaşanması ile sonuçlanmıştır. Bunun neticesinde sosyal eşitliğin ve güvenliğin sağlanmadığı toplumsal gelişmeler kaçınılmaz olmuştur.

Yeni sanayi devriminin ortaya çıkması ile dijitalleşmenin ekonomik ve toplumsal boyutlarının dikkate alınması gerekmektedir. Dijitalleşmeye yönelik araçların ve ilgili tarafların tümüyle ağ bağlantısı oluşturmalarının ne ölçüde kritik sonuçlara sebep olacağını şimdiden öngörmek mümkün değildir. Şüphesiz kendine özgü nedenleri olan girişimciler teknolojinin gelişim şiddetine ayak uydurmaya çabalarken sosyal zafiyetin yaşanması ise tamamıyla ilgili oyuncuların toplumsal gereksinimlere yönelik düzenlemelere verdikleri öneme bağlıdır. (Sendler, 2016, s.7). Teknik, sosyal ve toplumsal politikalar eşliğinde ilerleyen teknoloji gelişim süreci, uygulayıcıların olumsuz sosyal etkileri minimize etme duyarlılığıyla ilerlemektedir. Tarafların memnuniyetini sağlamak amacıyla tarihsel çıkarımlar bağlamında sosyal faktörlerin değerlendirilmesi, genel huzur ve refahın yükseltilmesi ve tedbirlerin alınması açısından önemlidir.

Sanayileşen ülkeler kapsamında kamu ve özel kuruluşların teşviki, ileri imalat sistemlerinin entegrasyonu sosyo-teknik değişimi desteklemektedir. Bunu takiben ilgili çevre, planların ve teşebbüslerin düzenlenmesi ile yeni yapıyı yaygın hâle getirmeyi hedefleyen firmalar, aracı kuruluşlar ve hükümetlerin el birliği ile modern araştırma ağlarının birleştirilmesini sağlamaktadır. Endüstri 4.0'ın doğuşu dijital ve ekolojik alanlara yönelik yürütme ve uygulama sorunlarının çözümlenmesinde önemli bir araç olarak

görülmektedir. Sosyal ağların ağırlıklı kullanımı nedeniyle karar vericilere verilen önem giderek artmaktadır. Bu bağlamda iş birliğinin yaygın olduğu çevrelerde uzmanlığa öncelik verilmesi gerektiği gibi platformlar üzerinden fikir üretilmesi gerekliliği konusunda da farklı perspektifler getirilmiştir. (Casalet ve Stezano, 2020, s.691). Endüstri 4.0'ın ekonomik ve sosyal bağlamda sonuçları incelendiğinde iş birliğine dayalı paylaşımların verimliliğe ve kuruluşlar arası iletişimde yarattığı etkiye önemli düzeyde katkı sağladığı görülmektedir. Diğer taraftan ise Endüstri 4.0'ın sağladığı yararlar üzerine çalışanlar arasındaki bilgi alışverişi ve kontrol süreçlerinin verimliliği gibi konularda da önemli bir konuma sahip olduğu açıkça ifade edilmektedir. (Silva vd., 2020, s.337).

Endüstri 4.0 ekseninde yatay düzlemde katma değer sağlayan ağ bağlantılarına olan ihtiyaç net bir şekilde ortaya koyulmaktadır. Bunun nedenleri ise üretimde, planlamada ve fonksiyonel alanlarda mühendislik ve lojistik süreçlere ivme kazandırılması gerekliliğidir. Bunun yanı sıra kaliteyi yükseltmeye ilişkin beklentiler de belirleyici olmaktadır. Bu durum fabrikaların, teknolojilerin ve ürünlerin yaşam döngüsünde üretime katılan aktörler, kaynaklar ve verilerin sosyo-teknik ağırlığı olarak ifade edilmektedir. Nihai olarak bu da siparişe başlayan yaşam döngüleri içinde cereyan etmektedir. Bunun için de tüm yaşam döngüsünü kapsayan hizmet sağlayıcılara ve birleştirme yetisine sahip dijital olanaklara gereksinim olmaktadır. (Diemer, 2014, s.370) Sosyo-teknik boyutun başka açılardan da incelendiği araştırma örnekleri farklı açılara da dikkat çekmektedir. Bu açıdan ele alınan organizasyonel yapıların sosyo-teknik bağlamda konumu değerlendirilecektir.

Bu konuyla ilgili kimi zaman işletmeler dijital olabildiği gibi analog olarak da kategorize edilmekte ve bu ayrımın var olduğu izlenimi verilmeye çalışılmaktadır. Genel olarak işletme terimi işletme yönetimi temelinde sosyal ve teknik sistemler olarak açıklanmaktadır. Bu düşünce dünden bugüne varlığını sürdürmekte ve bu tanımlamanın değişme ihtimalinin söz konusu olmadığı ileri sürülmektedir. Bütünüyle dijital iş anlayışının varlığı mevcut değildir. Öyle ki her bir işletmenin ortakları en küçük ihtimalle bireyleri ya da kuruluşları temsil etmektedir. Bundan ötürü bütün işletmelerin sosyal ve teknik sistem unsurlarını içinde barındırdığını söylemek mümkündür. Burada birincil düzeyde muhtemel her bir işletmenin dijital bir işletme olması için teknik yeterlilikte sistem öğelerinden sadece birinin teknik niteliğe sahip olması yeterlidir. İkincil olarak ise işletme dijital faktörleri içermiyorsa şüphesiz bu işletmenin de diğer işletmeler gibi sosyal bir sistem olduğunu söylemek mümkündür. (Schütte ve Vetter, 2017, s.75). Birden fazla kaynakta yeni sanayi devrimi yüksek dijitalleşmeyle özdeşleştirilmektedir. Bu sebeple

işletmelerin Endüstri 4.0'ın herhangi bir unsurunu entegre etme düşüncesi, işletmeler tarafından dijitalleşmenin hedeflenmesi ile açıklanmaktadır. Dijitalleşme derecesine dair işletmelerin sistem unsurlarının teknik özelliklerden en az birini yansıtması dijitalleşmenin varlığına işaret etmektedir. Bütün işletmeler farklı derecelerde dijitalleşme eğilimi göstermektedir. Endüstri 4.0 açısından dijitalleşme derecesinin belirlenmesi ile ilgili belirli standartlar evrensel düzeyde belirlenmediğinden bu düzeyin tespiti de güçleşmektedir. Dijitalleşme kavramı geçmişten günümüze kullanılan eski bir kavram olup Endüstri 4.0'ı benimsemenin belirleyicisi olarak da dijitalleşme düzeyinin ele alınacağı tahmin edilmektedir. Genel anlamda her işletmenin dijital bir işletme olduğunu söylemek teknik unsurların az ya da çok sistem unsurlarını etkilemesiyle ilgili olmaktadır. Dolayısıyla yeni sanayi devrimi daha çok mühendislik alanındaki gelişmeler ışığında yüksek otomasyonlu dijital süreçlerin entegre edilmesi üzerine kurulduğundan burada yüksek ya da ileri bir dijitalleşmeden bahsedebilmek mümkündür. Bu sebeple ileri dijitalleşmeyi konu edinen herhangi bir Endüstri 4.0 bileşenini bugünün ya da yarının planlarına yönelik benimseme Endüstri 4.0'ın kabulü için yeterlidir. Dijitalleşmenin evrimsel gelişimine bakıldığında bu kanıyı destekler niteliktedir. Dolayısıyla dijital yeterliliğe ve gereksinimlere bir ölçüde bağlı ya da değil, işletme faaliyetlerinin her yönden özellikle sosyo-teknik anlamda değerlendirilmesi gerekliliği ortaya koyulmaktadır. Bununla dijitalleşmeye doğru önceliklerini belirleyen işletmelerin sosyo-teknik açıdan irdelenmesinin önemi açık bir şekilde vurgulanmaktadır.

Endüstri 4.0 donanımı, bir sistem olarak ele alındığında pazarın gereksinimlerine yönelmek amacıyla potansiyeli yüksek ürünleri meydana getiren sosyal ve teknik bir olgu olarak nitelendirilmektedir. Bu amacın gerçekleştirilmesi yazılımların birleştirilmesini gerektirmektedir. Ayrıca mekanizmalar, sensörler ve ağ bağlantısı sağlayıcılarını içine alan bir sistem yordamıyla makineler ve bilgi teknolojileri aktifleştirilmektedir. Dördüncü endüstriyel devrimin öngördüğü donanım, dünya çapında ilişkisel ağların oluşturulmasını desteklemektedir. Nitekim ilgili ağ kapsamında veri ve hizmetler erişilebilir düzeye gelmektedir. Bu yaygınlaşma sonucunda üretim ve lojistik sistemlerinin ademimerkeziyetçi yapılar aracılığıyla yürütülmesine ve koşullara binaen denetim ve kontrolün sağlandığına işaret edilmektedir. Bu sayede sensörlerden sağlanan verilerin her yönüyle yerinden yönetilmesi mümkün olmakta sanal gerçeklikle oluşturulan modeller yardımıyla farklı seçenekler odağında verilen kararlar güvenceye alınmaktadır. Etkili bir sonuca ulaşmak makineler, yetenekler ve bilgi sistemlerinin bağımsız hareketi ile mümkün

olmaktadır. Bununla kalınmayıp insan kaynağının ve çıktıların bir ölçüde de olsa kendi kendini düzenlediği bir sistemi gerektirmektedir. Dolayısıyla beşerî kaynaklara yüklenilen sorumluluklar değişime uğrayarak, değişen durum yeniden değerlendirilip farklı kabiliyetlerin önü açılmaktadır. Yeni teknolojiler uygulanmasına rağmen başarıyı simgeleyen bir faktör olarak “çalışanlar” varlığını sürdüreceğinden üstlenecekleri her bir yükümlülük kritik öneme sahip olacaktır. Üretimde aktif olarak yeni roller üstlenen her bir çalışanın teknolojilerin getirdiği yeni yükümlülüklerle adapte olabilmesi öncelikle tercih edilmektedir. Değişen iş süreçleri ve gereklilikler sayesinde esnek bir organizasyonun sağlanacağı düşünülmekte öğrenmeyi ve yaratıcılığı odağına alan bir motivasyonun oluşması beklenmektedir. (Ullrich vd., 2016, s.293). Dördüncü endüstriyel gelişimi hedefleyen, sosyal ve teknik bir olgu olarak nitelenen sistem unsurlarının birbiri ile entegre işlediği, çalışan değerinin yeni rollerle yeniden tanımlandığı sistem içindeki konumunun ciddi yükümlülükleri beraberinde getirdiği üzerinde durulmaktadır. Burada birbirine bağlı sistem unsurlarının kendi kendini yönetebildiği ve bağımsız kontrol mekanizmalarının işlediği bir sosyo-teknik yapıya işaret edilmektedir. Sosyo-teknik bağlamda değerlendirilen Endüstri 4.0 odağındaki işletmelerin sosyo-ekonomik yönden incelenmesinin farklı bir içgörü sağlayacağı beklenmektedir. Bu kapsamda modern endüstriyel süreçlerin hedeflediği dijital dönüşümlerin sosyo-teknik ve ekonomik etkileri; insanlar, faaliyetler ve süreçler üzerinde derinden hissedilerek bu yöndeki belirsizliğin uzun yıllar süreceği tahmin edilmektedir. Yeni sanayi reformlarının çıkışıyla dijital dönüşümlerin etkilediği kurumsal kültürler ne ölçüde değişime uğrayabilir ya da ekolojik yansımaları neler olabilir gibi soruların gündeme gelmesi tahmin edilen sonuçlardır. Bunların araştırılması ve aydınlatılması konusunda atılan adımlar proaktif yaklaşım bilincinin gelişmesi için proaktif önlemlerin alınmasında yol gösterici olacaktır.

Küreselleşmenin itici gücüyle ele alınan Endüstri 4.0, ekonomik etkileşimlerin yoğunluğuna bağlı olarak sosyo-ekonomik çevrenin de değişmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla burada ekonomik küreselleşmenin yeri ve önemine vurgu yapılması önem arz etmektedir. Bu konuya istinaden küresel boyutta ekonomik ilişkilerin yaygınlaşması, ekonomik küreselleşmeye neden olmaktadır. Dikkat çekici şekilde sermaye hareketleri ve teknolojinin yaygın şekilde kullanımı, ürün ve hizmet değiş tokuşunu önemli düzeyde etkilemektedir. Bu durum ulusal ekonomileri yeni iş birliklerine teşvik etmekte bunun ise ulusal sınırları aşan sağlam ekonomik yapıların ve ticaret sistemlerinin gelişmesine neden olduğu görülmektedir. (Göngen, 2013, s.122-123). Teknolojinin ve küreselleşmenin ivme

sağladığı sosyo-ekonomik düzlemdeki ticari etkileşimin küresel liderlerin ekonomik yapılanmasında yönlendirici bir unsur olduğu ifade edilmektedir. Dayanıklı bir ekonomik yapının oluşması esaslı bir sürdürülebilirlik stratejisine dayanmaktadır. Bu bakış açısı ise beklenen sosyo-ekonomik potansiyelin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Burada etkin modeller ve ilgili aktif süreçler belirleyici olacaktır. Özgün sürdürülebilirlik anlayışı ise tarif edilen modellerin ve ilgili süreçlerinin ekonomik anlamda değer sağlaması ya da çalışması ile ölçülmektedir. Ekonomik yapının sürekliliği kaynaklarda olduğu gibi malzeme akışında da iyileşmeye gidilmesini gerektirmektedir. Buna ek olarak yenilikçi bakış ve üretkenlik ekonomik devamlılığın önemli bir ayağını temsil etmektedir. Bu sürecin bir sonucu olarak yeniden düzenlemeye gidilen faaliyet alanları ve yapılan iyileştirmeler öne çıkmaktadır. Sürdürülebilirlik etrafında yapılan fikir alışverişleri verimliliği odağına alan stratejik planlamaların önemli olduğuna işaret etmektedir. Dolayısıyla küreselleşme ve ardından gelişen uzmanlaşmanın yarattığı sonuçlar sosyo-ekonomik sistemlerin giderek karmaşıklaşmasına neden olmaktadır. İşletme faaliyetlerini harekete geçiren karar mekanizmaları için bilgiyi üretme ve kullanma zamanla daha kritik bir konu hâline gelmiştir. (Weissenberger-Eibl ve Braun, 2019, s.264-265). Güçlü bir sosyo-ekonomik yapının sağlanabilmesi için sürdürülebilirliğin önemine vurgu yapılmaktadır. Burada sadece sürdürülebilirliğe yönelmenin eksik bir tarif olduğu sinyalleri verilirken bundan ziyade, verimliliği sağlayan ve yenilikçi bir anlayışla yeni yaklaşımların geliştirilmesi ve kullanılmasını hedefleyen bir bakış açısının önemine vurgu yapılmaktadır. Bu sayede küreselleşmenin yarattığı sosyo-ekonomik sürdürülebilirliği örseleyen kaygıların ve karışıklığın azaltılabileceği ifade edilmektedir. Küresel gelişmeler ve beraberinde gelen dijitalleşme ve uzmanlaşma sosyo-ekonomik sürdürülebilirlik ile belirlenmektedir. Daha öncede ifade edildiği gibi küresel düzeyde ekonomik faaliyetler arasındaki etkileşim ve yaygınlaşma ticari ve teknolojik gelişmeleri tetiklemektedir. Nitekim teknolojinin sağladığı dijital süreçlerin sistemlere hızlı şekilde adaptasyonu ve yüksek verimlilik sosyo-ekonomik sistemleri desteklemektedir.

Geçmişte işletme başarısının belirleyicisi olan büyüme potansiyeli artık yerini dinamik ve çevreye hızla uyum sağlayan çevik kuruluşlara bırakmıştır. Şirketlerin uzun vadede dayanıklılığı küresel ve ekonomik dinamizmin etkileri sebebiyle merkezî bir değere sahip olmuştur. Ekonomik aktivitelerin küresel boyutta ilerleme kaydetmesi genel dinamiklerin bir uzantısı olarak kendini göstermektedir. Bunun neticesinde oluşan sosyo-ekonomik sistemler ekolojik faaliyetlerin sürdürülebilirliğini de yansıtmaktadır. Buradan anlaşıldığı

üzere çevresel ve sosyo-politik koşullar sosyo-ekonomik hareketliliği desteklemektedir. Ekonomik stratejiler; değişen enerji tedariği, iklim koşulları, kaynak yoğunluğu, hava kirliliği üzerine küresel boyutta değerlendirilmektedir. Uzun vadede sürdürülebilirliği hedefleyen işletmeler ekonominin yeni kavramsal çerçevesini benimseyerek iş birliği odağında yeni modeller tasarlamaları zaruri hâle gelmiştir. Bu düşünceyle değişen sürdürülebilirlik anlayışı, işletmelerin ilk olarak ekonomik anlamda mevcudiyetini koruyabilmesi, ekolojik ve sosyal sistemleri etkileyen eylemlerini bu doğrultuda belirlemeleri gerektiği yönünde olmalıdır. Buna ilaveten sürdürülebilirlik, kendi dinamikleri ile sistem içinde kolaylıkla uyum sağlayabilme ve çevresel gelişmelere yönelik bir motivasyon aracı olarak tanımlanmaktadır. Genel tutum, özgün ve bütünleşik sürdürülebilirlik yaklaşımının konumlandırılması ile ilgilidir. İşletmenin genel karar mekanizmasının bütünleşik organizasyonel sürdürülebilirliği hedeflemesinin yanı sıra, bu mekanizmalar için kapsamlı bir sosyo-ekonomik sürdürülebilirliğin temin edilmesi de büyük önem arz etmektedir. (Weissenberger-Eibl ve Braun, 2019, s.259-260). Sosyo-ekonomik sistemlerin varlığı ve sürdürülmesi özgün sürdürülebilirlik planlarını gündeme getirmektedir. Değişen başarı faktörleri nedeniyle bugünün organizasyonları daha uzun vadede varlığını sürdürebilecek ekonomik ve yapısal dayanıklılığı sağlamak amacıyla sanayi devrimleri ile gelen üstün teknolojik donanımları hayata geçirmekle yükümlüdür. Daha çevik davranılmasıyla ekonomik faaliyetleri destekleyen ticari ilişkilerin devamlılığını sağlamak, dünyada gerçekleşen teknoloji açılımına dahil olmakla mümkün olmaktadır. Bundan hareketle daha uzun bir yaşam diliminde varlığını sürdüren işletmelerin kendi değer zincirlerine sağladığı katma değer büyük ölçüde bütünleşik sürdürülebilirlik anlayışına ve belirlenen ekonomik önlemlere bağlı olarak sağlanabilecektir. Uygun ekonomik, ekolojik ve sosyal koşulların sağlanması adına yapılan ekonomik uygulamalar genişleyen ticari etkileşimle beraber küreselleşmekte, küreselleşen ekonomi ile faaliyet alanı genişleyen işletmelerin teknolojiye ve uygulanmasına artan talebi yeni oluşumlara ve sistemlere uyum süreçlerini kolaylaştırmaktadır. Nihayetinde Endüstri 4.0'ın getirdiği olanaklar sebebiyle sosyo-ekonomik sistemlere ve süreçlere sağlanacak değer bu yöndedir.

3.4 Endüstri 4.0 Enstrümanları

Literatürdeki araştırmalara göre dokuz ana teknolojiyi temsil eden Endüstri 4.0 üzerine büyük veri ve analitiği, bağımsız robotlar, simülasyon, yatay ve dikey entegrasyon,

nesnelerin interneti, siber güvenlik, bulut bilişim, eklemeli üretim ve bunun yanı sıra artırılmış gerçeklik gibi bir dizi temel teknolojik yapılar ele alınmaktadır. (Strange ve Zucchella, 2017, s.181). Yeni çağın günümüzdeki çıkarlarını ve ihtiyaçlarını gözeten ileri teknolojiler irdelendiğinde bununla ilgili literatür örnekleri farklı alansal katkılar sağlamaktadır. Buna karşın var olan literatür boşlukları birçok araştırmanın akademik ve pratik düzeyde incelenmesi gerekliliğine ve teorik temelli bilimsel çalışmaların önemine vurgu yapmaktadır. Bu noktada akademisyenler, uygulayıcılar ve karar organları için interaktif bir etkiye sahip olduğu düşünülen teknolojik bileşenlerin verilerin potansiyel etkilerini görebilmek adına bütüncül değerlendirilmesi yerinde olacaktır. Birden fazla sanayi kolunun Endüstri 4.0'a olan ilgisi bu devrimin bileşenleri arasında yaratılan sinerjik etkiden kaynaklanmakta olup dijital üstünlükten sağlanacak fayda beklentisi ise bu yöndeki girişimi teşvik etmektedir. Bu sebeple atılan her adımın farklı tarafların beklentilerini en iyi düzeyde karşılayabilecek sonuçların elde edilmesinde öncülük edeceği düşünülmektedir. Bu bağlamdan hareketle ilgili teknolojilerin kendi dinamikleri ile değerlendirilmesi getireceği avantajlar üzerine tartışmayı kolaylaştıracaktır. Aşağıda Endüstri 4.0 kapsamında incelenen bir dizi teknoloji tanımlanmaktadır.

Bu bağlamda değerlendirilen *RFID sistemlerinin* (Radyo Frekansı ile Tanımlama) yararları incelendiğinde bu sistemler ışığında nesnelerin hata payının azalması ve hızının artması önemli karakteristik özelliklerinden sayılmaktadır. İleri izlenebilirlik özelliğine sahip RFID sistemleri ürünlerin tasarlanma sürecinde dikkate alınabildiği gibi kalitenin sürdürülmesinde de fayda sağlamaktadır. Diğer bir teknoloji olarak ifade edilen *Büyük Veri Analizleri* ise derlenen veriler sayesinde bilgi kullanımını ve karar verme sürecini tesis etmektedir. Bu analizler çoklu tedarik zincirinde rol oynayan insanlar ve organizasyonlar arasında iş birliğine dayalı etkileşime katkı sağlamaktadır. Diğer bir teknolojik bileşen olarak tedarik zincirine getirdiği olanaklar ile tanınan *Bulut Bilişim* ise bilgiye erişimi kolaylaştırmakta ve akabinde karar mekanizmalarını harekete geçirmektedir. Bunları gerçekleştirmek amacıyla gerekli verileri tespit ederek düzenlemekte ve bilgilerin bir araya getirilmesi ile depolanmasını temin etmektedir. Bilgi akışının sürdürülmesine dair ise siber güvenlik çarelerinin kaçınılmaz olduğu da ileri sürülmektedir. Gerçek nesneleri kapsayan *Nesnelerin İnterneti* (IoT) sensörler, aktüatörler, taşınabilir araçlar ve akıllı uygulamalar ile ilk aşamada iç entegrasyonu gerçekleştirmektedir. Tedarik zincirinin görevi ise genellikle tedarikçiler ile müşteri bağlantısında dışsal bir bütünleşmeye odaklanmaktır. Burada IoT'nin iç entegrasyonla birlikte tedarikçiler ve müşteriler arasında sağlayacağı uyuma

ilişkin önemi vurgulanmaktadır. (Silva vd., 2020, s.334-335). Ağırlıklı olarak otomasyonu amaçlayan Endüstri 4.0'ın dijital uygulamaları, ekonomik açıdan değerler dizisinin yeniden şekillenmesinde üstlendiği rol ile çeşitli ortamlarda etkili bir değişime neden olmaktadır. Dijitalleşme temelinde Endüstri 4.0'ın endüstri ve zanaat alanlarının dönüştürülmesinde sağladığı katkı endüstriyel ve politik prosesler açısından düşünülmelidir. (Spöttle ve Windelband, 2020, s.1). Çoğunlukla imalatla zorunlu teknolojiler ve prosesler dikkate alındığında Endüstri 4.0'ın otomasyon ve veri alışverişine ilişkin yatkınlığı gözlenmektedir. Bunu kapsayan yanı sıra siber fiziksel sistemler (CPS), nesnelerin internetini (IoT), endüstriyel nesnelerin internetini (IIoT), bulut bilişimi (Cloud), yapay zekâyı ve veri işlemeyi bilişsel açıdan ele almaktadır. Bu kavram ise “Akıllı fabrika” olarak bilinen olguyu desteklemektedir. Bu olgu, 4.0 stratejilerinin bütünleşik uygulanmasını, projelerin standartlaştırılmasını ön plandaki sektörlerle yönelik programların dijital hâle getirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sebeple Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelerin (KOBİ) yenilikçi aksiyon planlarını hayata geçirme isteklerinden ötürü ilgili kuruluşlara mümkün olduğunca devlet desteğinin sağlanması gerekmektedir. Bu gerekliliklerin yanı sıra kamu yararına çalışan kurumlar için de iletişim ve koordinasyonun gerçek manada gerçekleşmesi, özel girişimlerin 4.0 stratejilerini uygulamasına yönelik motivasyonları açısından önem arz etmektedir. (Osborne ve Chen, 2019, s.213). Diğer taraftan nesnelerin interneti, gömülü sistemler, siber fiziksel sistemler, bulut bilişim ve uzaktan erişim gibi yeni teknolojiler; bilgilerin otomatik düzenlediği bir avantajı beraberinde getirmektedir. Tanımlanan temel avantajları ile öne çıkan teknolojiler, bazı görüşlere göre şimdiki Alman stratejik aksiyon planının genel geçer standartları adına yarının endüstrisi için tasarlanan yıkıcı teknolojiler olarak görülmektedir. Nitekim Endüstri 4.0'ın başarısı, işbirlikçi robotların artırılmış gerçekliğe yatkın olduğu alanlarda çalışanlarla iş birliği sayesinde gerçekleşen istihdamı ile doğrudan doğruya çıkabilecek zorlukların üstesinden gelme becerilerine bağlıdır. (Tamas ve Murar, 2019, s.504). Endüstri 4.0, üretim ve tedarik sistemlerini otonom nitelikleri sayesinde yeniden düzenlemekte tasarlanan modern teknolojik uygulamaları ve kolaylaştırıcı fonksiyonları ile ilgiyi çekmektedir. Bu çerçevede süreçlerde görünürlüğü temin etmesi temel aranılan yetenekler arasında sayılmaktadır. Bu minvalde değer sağlama fonksiyonuyla fark yaratan ve Endüstri 4.0 yaklaşımlarından biri olarak ele alınan blok zinciri üzerine literatür incelenecektir. Bu inceleme, diğer teknolojileri tanımak ve uyarılma sürecinde bileşenlerin karşılıklı etkilerini saptamak amacıyla faydalı olacağı varsayılmaktadır.

Blok zinciri kendine özgü yapısal tasarımı ile uygulayıcıların yarar sağlayacağı birtakım kazanımları beraberinde getirmektedir. Burada blok zincirinin getirdiği kazanımlardan biri olan süreklilik kavramına dikkat çekilmektedir. Bu kavramın destekleyicisi olarak sistemin ademimerkeziyetçi yapısı, olası hataların tek bir noktada bulunabilmesi ihtimalini ortadan kaldırmaktadır. Bu şekilde ağlar arasında risklerin paylaşılmasını konu edinen blok zinciri, geleneksel sistemlerden daha sürdürülebilir olmaktadır. Bu yol, suistimal içerikli dış müdahalelerin giderilmesi için elverişlidir. Değer sağladığı diğer konu ise “şeffaflık” konusudur. Burada blok zincirinin yoğunluğu ağ düğümleri aracılığıyla saklanarak toplu verilerin eş zamanlı kontrolüne ve gözden geçirilmesine imkân verilmektedir. İlgili teknolojinin getirdiği şeffaflık düzeyi ağ içerisindeki uygulamalara ve işleyişe görünürlük kazandırdığı için güvene olan ihtiyaç azalmaktadır. Blok zincirinin sunduğu başka bir beceri ise “istikrarlılık”tır. Belirli ve dağınık verilerin blok zincirinde stoklanması ile başka ağ bağlantıları tarafından onaylanması ve yapılan yeniliklerin görünür hâle gelmesi kolaylaşmaktadır. Bu hâliyle uygulamada verilerin değişmeyeceğine işaret edilerek tarafların tam güveniyle veri zincirinin değişmezliği ve kusursuz işletilmesi garanti altına alınmaktadır. Süreç bütünlüğünü sağlayan bu teknoloji, taraflara belirli kaynak ve iletişim kuralları gereği belirtilen işlemlerin herhangi biri devreye girmeksizin hatasız ve gerektiğinde oluşmasını temin etmektedir. (Abeyratne ve Monfared, 2016, s.3). Endüstriyel gelişime öncülük eden gelişmiş ülkeler, dijital uygulamaların üretim süreçlerine uyarlanmasıyla ilgili faaliyetlere kılavuzluk ederek yeni stratejileri tanımlamaktadırlar. Dijital uygulamalara rehberlik eden ülkeler, tasarım sürecini ihtiva etmekle beraber üretim, kullanım ve müşteri odaklı hizmetleri de içeren bir interaktif etkileşimi önemsemektedir. Sürecin her aşaması bilgiyi kullanırken gerekli ağ bağlantılarının oluşturulması, *eklemeli üretim* gibi teknolojilerin kullanılmasına olanak vererek ürünlerin tasarlanmasında kişiselleştirilmeye gidilebilmektedir. Bu ve benzeri üretim tipleri daha çok Endüstri 4.0 ile ilişkilendirilmektedir. Almanya’da ilk örneği görülen bunun gibi modeller Avrupa Birliği aracılığıyla benimsenerek onaylanmıştır. Birleşmiş Milletler tarafından gelişmiş bir üretim tekniği olarak kabul gören eklemeli üretim, akıllı fabrikaların gündeme gelmesine neden olmaktadır. Almanların geliştirdiği ve stratejik bir konu olarak telaffuz edilen Endüstri 4.0’ın temel dayanağı ve altyapısı siber fiziksel sistemlere dayanmakta ve bu da akıllı fabrikalar ve unsurları ile ilişkilendirilmektedir. Siber fiziksel sistemlerin çerçevesini karakterize eden temel prensiplere göz atıldığında akıllı sistemlere ve mobil hizmetlere ağırlık verdiği görülmektedir. Giderek yaygınlaşan bilgi teknolojilerinin geçerli olduğu bu sistemler, iş ve lojistik faaliyetlerin ağ bağlantıları ile işletilmesinde çoğunlukla *bulut*

bilişim uygulamalarını tercih etmektedir. Bireye özgü biçimlendirilen iş kalıpları, ürünler ya da hizmetler dijitalleşme sayesinde farklı bir perspektife yön vermektedir. Esasen tanımlanan bu modern teknolojiler araştırma ve geliştirme faaliyetlerine hız verilmesiyle yeni bir oluşumdan ziyade var olan yöntemlerin yeni bir anlayışla daha komplike bir yapıya dönüşmesini ifade etmektedir. İş faaliyetlerinin bu yönde yapılabilirliği ve gerçekleşmesi iş birliğine dayalı iş prensiplerinin disiplini önceliğine alması ile mümkün olmaktadır. Bu sebeple ilgili unsurların ara birimlerinin belirli standartları ve kuralları içermesi gerekmektedir. Kişiyeye özel tasarlanan ürünleri ve modern iş kalıplarını gerçekleştirme yalnızca üretime değil hizmet süreçlerine de *büyük veriyi* ve *bulut bilişimi* dâhil etmeyi zorunlu hâle getirmektedir. Entegre ürün ve hizmetlerin kullanım değerini artırmak amacıyla hizmet ve becerilerin yeni baştan tanımlanması ve gereği şekilde düzenlenmesi farklı stratejileri öngören bir işleyişi gerekli kılmaktadır. Bu da verilerin değerlendirilmesiyle sağlanan kestirimci bakım gibi uygulamalara işaret etmektedir. Buradaki amaç üretimi geliştirmek ve bilinenin dışında modern iş kollarının meydana gelmesine destek vermektir. Tanınan endüstriyel uygulamaların şekil değiştirmesi ile değer kavramının yeniden tanımlanması etrafında veri ve bilgiye talep önemli ölçüde artmaktadır. Gerekli teknolojiler yardımıyla veri miktarının artması, bir yandan kuruluşlar açısından zorlu bir sürece girilmesine neden olurken diğer yandan bunun rekabet avantajını getiren üstünlüğü de göz ardı edilmemelidir. Akıllı fabrikalar, bağlantılı olduğu platformlar yardımıyla ürün ya da üretim yöntemlerini yeni baştan düzenleyerek üretim süreçlerini daha verimli hâle getirmeyi amaçlamaktadır. Modern üretim tekniklerini önemseyen Endüstri 4.0'ın esnek organizasyonel yapılara yön vermesinin ve uyumu kolaylaştırmasının karmaşıklığı azalttığı da iddia edilmektedir. Ağ bağlantıları yardımıyla yatay olarak birleşen işbirlikçi organizasyonlar, üretim merkezlerini akıllı hale getirerek artan değer oluşturulmasında örnek teşkil etmektedir. Diğer bir açıdan ise ürün ve süreçlerin birbirine geçmesi sebebiyle belirsizliğin arttığı ve bu nedenle katma değer de bir o kadar azaldığı yönünde görüşler de ileri sürülmektedir. Nihayetinde gömülü sistemler, esnek ağ bağlantıları yardımıyla işletmelerin değer zincirlerine entegre ettiği sistemler olup dağınık üretimi gerçekleştirebilmek amacıyla iş birliği yapılmasını teşvik etmekte rekabetin sürdürülmesini sağlayan yeni organizasyonel yöntemleri özendirilmektedir. (Casalet ve Stezano, 2020, s.692). Dolayısıyla kuruluşların iş planlarını ve süreçlerini yeniden gözden geçirme amacıyla çıktığı yolda gelişmiş ülke deneyimlerinin işaret ettiği teknolojik standartlar ve stratejiler çerçevesinde yeni dönemin modern teknik ve yöntemlerini takip etmesiyle idealleri hayata geçebilecektir. Ancak bu amaç doğrultusunda yapılan

operasyonel faaliyetler, esnek ve dönüştürülebilen yapıların oluşmasında etkili olmaktadır. Sistemlerin ve süreçlerin entegrasyonu birden fazla endüstriyel teknolojinin birleşimini gerektirmektedir. Üretim, tüketim ve hizmetleri dönüştürecek nitelikli uygulamalar; bireysel, kurumsal ve toplumsal beklentileri önceliğine alarak rekabet ortamının gelişmesinde ve yeni normalin avantaja evrilmesinde etkili olacaktır. Geleneksel uygulamaların yeniden yapılandırılmasında etkili olacağı düşünülen verinin değeri gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır. Bu sebeple artan veriye olan talebi karşılama ihtiyacı, gelişen Endüstri 4.0 uygulamalarına olan ilgiyi de bir o kadar artıracaktır. Sadece bu sebeple yeni iş kollarının ortaya çıkması değil yeni becerilere olan talep de endüstriyel gelişimin bir gereği olarak beklenti kapsamını genişletmekte bu da bu yöndeki tartışmalara yön veren bir gündem konusu hâline gelmektedir.

3.5 Organizasyonlarda Bilişim Teknolojileri, Dijital Dönüşüm ve İnovasyon

Endüstri 4.0 yaklaşımı, nesnelerin internetinin üretim alanlarına uyarlanması ile kavramsal bir nitelik kazanmış ve yeni bir dönemin habercisi olarak dördüncü sanayi devrimini tanımlamak için geliştirilmiştir. Bağımsız çalışma yetisi ve bilgi değişimini sağlama özelliği ile kategorize edilen nesnelerin interneti, akıllı fabrika ortamında işlevselleştirilmektedir. Endüstri 4.0'ın hayata geçirilmesi tedarik zinciri süreçlerinin kapsamca dijitalleşmesi ve otomatik hâle getirilmesi koşuluyla mümkün olabilmektedir. Tedarik zinciri yönetimi siber fiziksel dünyadaki gelişmeleri takip ederken döngüsel ekonomi ekseninde sürdürülebilirliği yakalamaya çalışmaktadır. Dijital olma yolunda ilerleyen tedarik zinciri yönetimi birtakım kısıtlarla mücadele etmek zorunda kalmıştır. Pazarın genişleyen beklentileri mevcut dijital yetenekler tarafından karşılanamamaktadır. Bu sebeple işletmeler Endüstri 4.0'ın esasını teşkil eden ve bunu harekete geçirme gayesiyle ele alınan nesnelerin internetine ve sunduğu yeteneklere yoğunlaşmakta böylelikle yeteneklerin geliştirilmesi için çaba sarf etmektedir. (Vass vd., 2020, s.1). Dijital yeteneklere etraflıca bakıldığında yenilikçilik ve değişim yönetiminin önceliği diğer adımlara kıyasla daha kritiktir. Endüstri 4.0'ın çıkış noktasını olabildiğince şeffaflaştırmak gerekirse mevcut talebi korumak ve potansiyel talebi canlandırmak için yenilik temelinde endüstriyel ilerlemenin önemi vurgulanmaktadır. İşaret edilen konu sadece var olan yapıların, prensiplerin, uygulamaların yeterli olup olmaması ile ilgili değildir. Özellikle uygulamada öncü organizasyonların ve yenilikçi girişimlerin ulusal ve uluslararası

faaliyetlerini takip etmenin de büyük yarar sağlayacağına dikkat çekmek gerekmektedir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin sunduğu yenilikçi ve reformsal çıktılar, akıllı sistemlerin ortaya çıkmasını desteklediği kadar uygulamaların yaygınlaşmasında ve gelişiminin sürdürülmesinde de her zaman önemli bir hareket noktası olacaktır. Yeniliği evrensel boyutta değerlendirdiğimizde bilgi ve iletişim teknolojilerinin ilgili endüstriyel süreçlere katkı sağladığı açıkça görülmektedir. Yenilikçi bakış açısından doğan çok yönlü etkinin hesaba katılması ile çağın gerekliliklerine göre entegre organizasyonel ilişkilerin güçlendiğini söylemek mümkündür. Bu düşüncenin taraflara sağlayacağı ayrıcalıklı imkânlar göz önüne alındığında bu sayede güçlenen iş birliğinin kolektif değer in oluşmasında etkili olduğunu tahmin etmek zor değildir.

3.5.1 Endüstri 4.0 Çerçevesinde Yeni İş Modelleri

Tedarik zinciri sürecinde Endüstri 4.0 üzerine farklı fikirler ortaya koyulmaktadır. Ortaya atılan fikirler genellikle orijinal tanımlamayı karşılayacak bir olgunun tarifine ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Tartışmalar genelde belli bir tanımlı gerektiren Endüstri 4.0 olgusunun standardizasyonları getirmesi gerektiği üzerine yapılmaktadır. Endüstri 4.0 olgusu üzerine ilgili iş sahalarındaki pratik uygulamalardan norma uygun bir tarifi n çıkabileceği tahmin edilmektedir. Endüstri 4.0, iş alanlarına ne ölçüde dokunabilmektedir? Bu soruların ardında yatan şüpheler, örneğin Endüstri 4.0, yaşamı daha konforlu hale getirebilecek mi ve daha iktisadi bir yaşamı sunmak için yeterli donanım a sahip midir? gibi sorular istikametinde gelişmektedir. Dolayısıyla, ekonomik ve üretken süreçler kimler tarafından sağlanacak? gibi birtakım soru ve sorgulamalar devam etmektedir. Bu süreçte ağ iletişiminin müşteriler tarafından tercih edilmesi üzerine acaba elektronik üreticiler bakımından hangi iş modelleri gündeme gelecektir? sorusu etrafında endişeler sürmektedir. İş insanlarına göre birçok fırsatı içinde barındıran Endüstri 4.0'ın kontrol ve sürücü teknolojileri dâhil akıllı faaliyetleri ve gömülü sistemleri ağ bağlantısı yordamıyla harekete geçirerek daha önce tarif edilmemiş iş potansiyellerine aracılık edeceği tahmin edilmektedir. Endüstri 4.0 ve nesnelerin interneti gibi teknolojiler; akıllı uygulamalar ve geliştirilen elektronik sistemler sayesinde elektronik sağlayıcılarının gündeminde bir fayda faktörü olarak yer almaktadır. Tedarik zincirinde ağ bağlantısına yoğun talep müşteri gereksinimlerinden ileri gelmektedir. Bu yönüyle üretim tarafını etkilediği varsayılmaktadır. Çalışanın bu geçiş sürecinde nereye konumlandırılacağı üzerine

tartışmalar sürerken işçinin pasif bir fonksiyonumu üstleneceği yönünde tahminler yürütülmektedir. Süreç, mevcut iş modellerinin aleyhine mi işleyecek? denmesindeki temel dayanak ise üretimin otomatikleşerek akıllı hâle gelmesiyle verimliliğin sağlanacağıdır. Buna rağmen insan faktörünün karar verme merci olarak önemini koruyacağı düşünülmektedir. Diğer görüşlere göre gelişmiş ülkelerde mevcut iş modellerinin kısmen manuel işlemeden dolayı bu işlerin yok olacağı düşüncesinin yersiz olduğu düşünülmektedir. Bunun nedeni ise ilgili işletmelerin iş süreçlerinde ileri entegrasyon düzeyine sahip oldukları ve çalışan için konfor alanını yükseltme ve daha fazla getiri hedeflendiğinden el yordamıyla işleyen süreçlerin kolaylıkla değiştirilemeyeceği varsayılmaktadır. Bu düşüncenin ise Endüstri 4.0'ın yüksek kaliteyi öngörmesiyle ilgili olduğu ifade edilmektedir. Dijitalleşme ve otomasyon sistemlerinin yerini almaya başladığı günümüzde çalışanlardan daha aktif olmaları istenecektir. Yıllarca aynı işleri yürüten çalışanların esnek olmaları beklendiğinden işler arasında yer değiştirmeye hazır olmaları beklenmektedir. Bu sebeple Endüstri 4.0'ın avantajlarını göz önünde tutarak çalışanlara yönelik teşvik ve motivasyon ile devamlı eğitimlere de önem verilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Şöyle ki otomasyon var olan istihdamla yürütülemediği takdirde sürecin çalışanların aleyhine gelişebileceği tahmin edilmekte bu da çalışanların tedirginliğinin yersiz olmadığını göstermektedir. Orta kademe çalışanlar için tahmini risk faktörü, katma değer sağlamayan süreçlerin diğer akıllı süreçlerle ve uygulamalarla yer değiştirilmesi söz konusu olduğunda ortaya çıkmaktadır. (Kaiser ve Stahl, 2015, s.34-35). Endüstri 4.0'ın sağladığı dijitalleşme sayesinde her hâlükârda var olan iş modellerine katma değerli otomasyon uygulamalarının getirilmesi ve yarar sağlamayan süreçlerin devre dışı bırakılması beklenen bir gelişmedir. Bu sebeple çalışanların rutin eğitimleri, geliştirilme faaliyetleri ve hedefe odaklı angajmanı Endüstri 4.0 için beklenen kalitenin ve refahın yükselmesinde teşvik edici unsurlar olarak önemini koruyacaktır. Yeni uyarlanan sistem içinde daha çok alt ve orta kademe çalışanların aktifleştirilmesi ve rutin işlerde kalmayıp yer değiştirmeye hazır olmaları gerekmektedir. Dolayısıyla sahip oldukları ya da olacakları geleceğe yönelik kaygılar ve beklenen olumsuzluklar değişime ve eğitime hazır olma koşuluyla bertaraf edilebilecektir. Böylelikle çalışanların yeni dijital uygulamalara ve iş modellerine adaptasyonu kolaylaşacağı gibi bu oranda kendilerini geliştirebilme ve sahalarında etkin olabilme fırsatlarını yakalayabileceklerdir. Yeni iş modellerinin kaçınılmaz olduğu yeni endüstriyel dönemde değişim ve adaptasyon sistem içindeki süreçlerin ve iş modellerinin yenilenmesini gerektirdiği kadar yeni duruma alışmayı ve adaptasyonu kolaylaştırmak için çalışanlara ve kurumsal yönetime de önemli görevler

düşmektedir. Bireyler ya da kuruluşların teknolojik değişime ayak uydurabilmesi stratejik kararlara bağlıdır. Bu kararlar doğrultusunda stratejik yönetim ise teknolojik altyapıya yönelik yatırımları tetikleyerek kuruluş içi eğitimleri ve gerekli önlemlerin alınmasını zaruri hâle getirmektedir. Kuruluşlar, teknoloji yoğun yeni iş modelleri kapsamında gerekli eğitimi daha çok mevcut çalışanlar açısından değerlendirse de yeni geliştirilen iş modellerini yönetebilecek kalifiye personele de talep artacaktır. Bu doğrultuda Endüstri 4.0 devrimine öncülük eden uygulayıcıların iş süreçleri ve yenilik perspektifinden değerlendirilerek gelişen sosyal iş ortamlarındaki değişmelere göz atılmasının yararlı olacağına inanılmaktadır.

İşleri yeniden tasarlamayı ve düzenlemeyi göze almanın bir koşulu olarak dijital endüstriyel döneme ilişkin Endüstri 4.0'ın iş sahasına etkilerinin neler olabileceği üzerine tartışmalar sürmektedir. Bu belirsizlik ile ekonomik yapıların siber fiziksel sistemlerin etkisiyle ademimerkeziyetçi bir yapıya bürüneceği öngörülmektedir. Yüksek teknolojileri uygulayan faaliyet alanlarının firmalara ve toplum üyelerine hangi görevleri yükleyeceği, yüzleşmesi gereken konular arasındadır. Tartışmalara konu olan beklentilere ilişkin eş zamanlı kontrol sistemlerinin ya da gelişmiş otomasyon uygulamalarının ne düzeyde tercih edilmesi gerektiği ve buna benzer ne tür sistemlerin elverişli olduğu konusundaki belirsizlikler kendisini göstermektedir. Bu uygulanan sistemlerin iş gücüne etkilerinin gözetilmesi beklenirken devreye alınmasında işin niteliği, güvenliği ve hakkaniyet esasında hangi tür planlamaların yapılması gerektiği üzerine de düşünülmesi gerekmektedir. Böylesi beklentilerin karşılanma ihtimali uygulamalar gereği yenilikçi ve üretken kaynakların işletilmesine bağlı olmaktadır. Gerçek etkilerin ise rekabet üstünlüğü odağında otonom kontrolün gerçekleşmesi, bilgi ve sensöre dayalı üretim biçimlerinin tercih edilmesi ile anlaşılacağı öngörülmektedir. Dahası yenilikçiliğe dayalı hareket, işlerin düzenlenmesi ve iş gücü yeterliliklerinden beslenmeyi istikrarlı biçimde yaygınlaştırmalı ama bunun aksine sadece teknik güçlüklerin karşılanmasına katıyetle yönelmemelidir. Böylesi bir yaklaşımın yeniliği özendirme faaliyetlerinde ve benimsenmesinde kritik bir görevi söz konusudur. Fakat insan-makine ve insan-sistem bağlantısında gerçekleşebilecek karşılıklı etkiler ya da açık ve sanal iş platformlarının oluşturulması gibi faktörler düşünüldüğünde belirli rollerin dikkate değer şekilde buna bağlı değişebileceği öngörülmektedir. Değişen iş modellerinin niteliği, süreçleri ve çevresinin etkileri göz önüne alındığında bu değişimin sağlık, demografik, esneklik ve çalışma zamanlarının belirlenmesi dâhil iş yaşamının birtakım unsurlarına kadar birçok alana nüfuz etmesiyle muazzam bir dönüşüme neden olacağı

tahmin edilmektedir. Bu öngörülen etkiler, gelecekte var olacak teknolojilerin en iyi şekilde entegre edilmesinin zekânın yenilikçi (kurumsal) bir sosyal örgüte yerleştirilmesine bağlı olduğuna işaret etmektedir. (Kagermann vd., 2013, s.56). Yeni iş modelleri ve olanaklarının yaratılması sistem içi tarafların ve süreçlerin tanımlanan modern teknolojiler aracılığıyla birbirine bağlanması ile mümkün olacaktır. Tespit edildiği kadarıyla akıllı sistemler yenilikçi bakış açısıyla organizasyonları dönüştürmektedir. Bu değişim ve dönüşümün yaşanması ise sistem içindeki üyelere yeni rollerin verilmesi ihtiyacını doğurduğu gibi yeni iş gücü yeterliliklerinin saptanmasını da zaruri hâle getirmektedir. İşletmeler kendi değerlendirme kriterleri odağında hangi teknolojilere ve iş gücü yeterliliklerine sahip olmaları gerektiği konusunda net bir tavır ortaya koymalıdır. Buna istinaden rekabette ve endüstriyel gelişimin gerisinde kalmamak adına tarafların alınan stratejik kararları eylemlere dönüştürebilmesi için teknolojik gelişimle eş zamanlı harekete geçmeleri gerekmektedir. Endüstri 4.0 ve sunduğu olanakları, kaçırmanın yarın “var olma” tehlikesiyle karşı karşıya oldukları her daim üzerinde tartışılan bir konudur. Akıllı organizasyonların yeniden tanımlanan iş modelleri, kendi kendini yöneten veriye dayalı teknolojik bileşenlere ve sensöre dayalı süreçlere bağlı olmasının yanında karar mekanizmalarının hızlı ve doğru işlemesi ile etkin olabilmektedir. Neticede bu sistemlerin yenilikçi bir kurumsal perspektif ile geliştirilebileceği ve kurumsal dinamiklerin temelinde özgün ölçütlerle mümkün olacağı açıkça ifade edilmektedir.

İmalat sanayinin gündeminde karmaşıklığın ve ihtiyaçların giderek artış gösterdiği gözlenmektedir. Bununla ilgili ulusal sınırları aşan rekabetin varlığı ve piyasalardaki istikrarsızlığın büyümesi örnek gösterilmektedir. Diğer taraftan kritik konular arasında bireysel gereksinimleri karşılama beklenen talebin giderek artması ve ürün yaşam sürelerinin belirgin düzeyde daraldığından bahsedilmektedir. Görüldüğü kadarıyla esneklik, verimlilik, adaptasyon, sürdürülebilirlik ve güvenirlilik gibi konularda artan beklentileri şimdiki yöntemlerle ele almaya çalışmak gereksiz bir çaba olmaktan öteye geçmemektedir. Bu mücadele değer üretme konusunda yetersiz kalmaktadır. Bir yandan üretim endüstrisinde gereksinimler artmaya devam ederken diğer yandan yakın tarihin teknolojik gelişmelerinde yaşanan canlılığın bir sonucu olarak iş sahalarında olanakların ve elverişli koşulların genişlemesi de dikkat çekici gündem konuları olarak öne çıkmaktadır. Kagermann ve arkadaşlarının tahminlerine göre, Almanya gibi ülkelerin potansiyellerini koruyabilmesi ve etkin bir endüstriye sahip olabilmesi için en iyi yolun Endüstri 4.0 üzerine inisiyatif almaları gerektiğidir. Tahmini beklentiler kavramsal boyutta

değerlendirildiğinde bunun gerçekleşmesi bilgiye ve sensöre dayalı otonom faaliyetlerin yürütülmesine, kendi kendini koordine eden üretim sistemlerinin devreye sokulmasına ve böylelikle bu sistemlerin ticari faaliyetlere dönüşerek işletilmesine dayanmaktadır. Endüstri 4.0'ın doğuşuyla öngörülen olanaklar ve avantajlar çeşitlilik arz etmektedir. Endüstri 4.0'ın modern iş kalıpları ve hizmetleri getirmesi tümüyle beklenen avantajlardır. Dahası ise değer zincirinin eş zamanlı düzenlenmesi ve iyileştirilmesi ile karmaşaya neden olan maliyetleri düşürerek yoğun biçimde kitle üretimini desteklemesidir. (Hofmann ve Rüsch, 2017, s.23). Küresel hareketliliğin her alanda farklı etkilerinin görüldüğü günümüzde üretimde yaşanan değişim kapsamında talebin giderek bireyselleştiği ve uzun vadede fayda sağlamayan ürün yaşam döngülerinin sürdürülebilirliği için harekete geçildiği fark edilmektedir. Geleneksel ve doğrusal metotların cevap veremediği, modern ve küresel beklentilerin ortak bir arayışı olan çevikliğe, yeniliğe ve daha esnek bir yapıya kavuşma arzusu, Endüstri 4.0'ın sağladığı potansiyellere ilgiyi artırmıştır. Endüstri 4.0'ın bir alanla sınırlı kalmayıp farklı iş kollarına ve özellikle üretime ve değer zincirine sunduğu fırsatlar tartışılmaz niteliktedir. Karmaşık teknolojik bağlantıların kurulmasını gerektirmesine rağmen bu bilişim sistemlerinin verimli ve güvenilir iş süreçlerini kolaylıkla tasarlayabilmesi ve yeni organizasyonlara esnek şekilde uyarlanabilmesi yüksek mühendislik ve teknik donanımlara sahip olmayı gerektirmektedir. Endüstri 4.0'ın sağladığı otonom sistemler, verinin daha etkili kullanımı ile değer zincirinin her bir üyesine gerçek zamanlı veri üreterek ortak değerın çoğaltılmasında ve süreçlerin iyileştirilmesinde önemli bir rolü üstlenmektedir. Çoklu üretim ve tedarik süreçlerindeki karmaşa ve verimsizlik, otonom ve çevik niteliklere haiz teknik süreçler yardımıyla giderilmeye çalışılmakta böylece mevcut ekonomik değer kayıpları bertaraf edilerek gerçek üretim potansiyeli açığa çıkarılmaya çalışılmaktadır.

Endüstri 4.0, dinamik iş ve mühendislik süreçleri ile son anda üretimde oluşabilecek muhtemel sorunlara müdahale edebilecek ve bunu çözümleyebilecek bir konuma ve yeterliliğe sahiptir. Örnek verilecek olursa tedarikçi tarafında oluşabilecek aksamalara ve bozulmalara çevik şekilde nüfuz edebilmektedir. Endüstri 4.0, üretim sürecini başından sonuna şeffaflaştırarak etkin sonuca varılmasını desteklemekte değer odaklı oluşumları besleyen modern iş kollarına ve yöntemlerine aracılık etmektedir. Bilhassa “start up” denilen yeni girişimlere ve küçük çaplı firmalara satışa dönük hizmetlerin çeşitlendirilmesinde imkânlar sunmaktadır. (Kagermann vd., 2013, s.9). Endüstri 4.0'ı belki de diğer sanayi devrimlerinden bir nebze ayırtıran yönü, iş süreçlerinin ve

operasyonel süreçlerin görünebilirliğini artırmasıdır. Modern iş modelleri ve süreçlerinin şeffaf hâle getirilmesi paydaşlara aksamaların ve sorunların eş zamanlı takibini, düzeltilmesini dahası bunların ortaya çıkma olasılıklarını tespit ederek hata paylarını minimize etmeyi sağlayan bir dizi teknik yeteneği sunmaktadır. Endüstri 4.0'ın avantajlarından payını almak isteyen kuruluşların kurumsal olarak ortak değer üretme amacıyla bu devrimin sunduğu teknik yöntemleri içeren iş modellerine ve ilgili teşviklere taleplerini artırmaları gerektiği açıkken potansiyel kapasiteyi yaratacak teknolojik yatırımlara odaklanmaları da zaruri gözükmektedir. Talep yalnızca bu dijital sistemlerin kurulumuna yönelik değil, müşteriye bakan yönüyle yaratılacak müşteri faydaları için de izlenmesi gereken bir olgudur.

Bu bağlamda müşteri talebini oluşturma, yarının beklentilerini öngörebilme, dağıtılan nihai ürünlerin performansına yönelik gereksinimi yaratabilme şüphesiz firmanın başarısını belirleyen öncü yetenekler olarak görülmektedir. Büyük veri analitiği ve nesnelerin internetinin kullanılması bu yeteneklerle yakından ilişkilidir. Üstün vasıflı iş gücünü yerleştirmeye gönüllü olan ve yeni bir oluşumla gelen dijital teknolojilere yatırım yapmayı göze alan firmalar ortaya çıkacaktır. Bu da 21. yüzyılın yaklaşan on yıllarında çok uluslu işletmelerin geleceği olarak hayal edilmektedir. (Strange ve Zucchella, 2017, s.180-181). Yeni teknolojik düzenlemelerle müşteri talebinin daha da genişlediği gözlenmektedir. Uygulanan teknolojik unsurların bir yansıması olarak iş süreçlerinin dönüştürülmesi esnasında mevcut iş gücü yeteneklerinin sistemin yönetilmesi ve yürütülmesi adına yetersiz kalacağı öngörülmektedir. Bu sebeple daha fazla uzmana ve sistem yöneticisine ihtiyacın doğacağı tahmin edilmektedir. Daha fazla veriyi derleyebilen ve ayrıştırabilen teknik unsurlar ile sensör bağlantıları aracılığıyla akıllı hâle getirilen nesneler ve cihazlar yardımıyla üretimde ve çıktılarda kalitenin yükseltileceğine işaret edilmektedir. Bu akışta, iş modelleri ve süreçlerinin yeniden düzenlenmesiyle müşteri beklentilerinin en iyi şekilde karşılanması ya da üretim süreçlerinde ve çıktılarda sağlanan yüksek verim ilgili kuruluşların rekabette öne çıkaracak başarıyı elde etmelerini sağlayacaktır.

Diğer taraftan Covid-19' un yarattığı sonuçlar dikkate alındığında bunun artan bir dijitalleşmeye neden olduğu belirtilmektedir. Bunun sonuçları bilinen iş yapış şekillerinin yeniden ele alınması gerekliliğini de ortaya koymaktadır. Yapay zekâ, bulut bilişim, blok zinciri, büyük veri ve nesnelerin interneti gibi modern kuşak teknolojilerini geliştiren sektörler iş dünyasını dijital yönden etkileyerek öne çıkmışlardır. Bu teknolojiler aynı zamanda verimli süreçleri, artan yenilikçiliği ve katma değeri uzlaşma açısından

desteklemektedir. Dijital teknolojilerin verimli adaptasyonu ile geleneksel iş yapış şekillerinin yeniden ele alınması benzer meselelere farklı çözüm önerileri getirilmesini sağlamıştır. Dolayısıyla oyunun prensiplerinden ziyade bilakis özü değişime uğramıştır. (Kaslowski ve Sevim, 2022, s.49). Yeni iş modelleri tasarlanmasına aracılık eden Endüstri 4.0 bileşenlerinden büyük veri, yeni ürün ve hizmetlerin geliştirilmesine olanak sağlarken var olanlara ilave edilen ek faydalarla bunların iyileştirilmesine imkân vermektedir. Ayrıca ürünlerden sağlanan veriler ile üreticilerin hayatını kolaylaştıran büyük veri, yeni kuşağın beklentilerini karşılayan ürün gamını oluşturabilmekte ve yenilikçi tekliflerin sunulmasında etkili olmaktadır. Dahası merkezine yenilikçi düşünceyi yerleştiren satış sonrası hizmet önerilerinin gerçekleşmesinde önemli bir rol oynamaktadır. (Manyika vd. 2011, s.5). Bu konuyu destekler nitelikte diğer alanlara önemli yansımaları göz ardı edilemeyecek düzeyde büyük olan Endüstri 4.0 uygulamalarının yeni iş modellerinin gelişiminde belirgin bir etkisinin olacağı ve bu öngörü ile yeni girişimlerin filizleneceği tahmin edilmektedir. Bu sebeple iş dünyasında yaşanan yeni oluşumla modern iş sahalarından ve mesleklerinden bahsedilmekte bunun da ancak var olan iş yapış şekillerini besleyen yenilikçi faaliyetlerin meydana gelmesi ile mümkün olacağı vurgulanmaktadır. Bu alanla ilgili literatürdeki boşluklar dikkatleri çekmektedir. (Soylu, 2018, s.44). Genel değerlendirmek gerekirse sosyal, ekonomik ve ekolojik yönden değere sahip yeni ürünler ve iş kalıpları akıllı sistemler aracılığıyla geliştirilerek yeni bir dönemin mesajı verilmektedir. Bilindiği üzere bu yeni dönem ekonomik koşullara uygun sensör ve aktüatörler yardımıyla haberleşmeye dayalı unsurların akıllı hâle getirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Daha akıllı hâle gelen sistem unsurlarının sürdürülebilirliği yeni ağ bağlantılarının kurulumuyla mümkün olmaktadır. Buradaki kilit faktörler sensör ve aktüatör teknolojileri, donanımın akıllı hâle getirilmesi, gömülü sistemler ile beraber iletişim teknolojilerinin mevcudiyetidir. Bunlar sebebiyle internete dayalı hizmet ortamı ve yapılar düzenlenmektedir. Bu entegre yapı, bütünleştirme ve değerlendirmenin akıllıca yürütülmesini desteklemektedir. Aynı zamanda bu sistemler kontrole olanak sağladığı gibi düzenlemeleri ve biçimsel olarak görselleştirmeyi kolaylaştırmaktadır. Bu aşamada yazılım teknolojisi altında bulut bilişim, büyük veri, bağlantı sistemleri, iş analitiği gibi güvenlik ve emniyet kavramları yanında sistem teorisi, matematiksel tasarımlar ve görselleştirme süreçleri de yer almaktadır. Bu yeni koşullar nedeniyle hizmete dayalı yeni iş modelleri ortaya çıkacağı gibi işlevsel iyileştirmeye de (hizmetlerin interneti) katkı sağlanacaktır. Özellikle de paydaşların, ilişkili öğelere (iş zekâsı) dayalı ağ bağlantılarının oluşturulmasına öncülük edeceği düşünülmektedir. Dolayısıyla bu aşamalar bilgi

teknolojilerine dayanan modern mühendislik sistemlerini ve süreçlerini her disiplinin dâhil olduğu müşterek bir bakışla ele almaktadır. (Eigner, 2016, s.142-143). Yeni dönemin farklılaşan iş modelleri akıllı tasarımıyla ön plana çıkmaktadır. Bu geliştirme faaliyetleri sürerken sistemin kurulması ve koşulların sağlanması mühendislik alanının geliştirdiği süreçlerin uyarlanması anlamına gelmektedir. Yeni iş modellerinde yapılan yeni düzenlemelerin yürütülmesi ve bilakis sürdürülmesi yeni ağ bağlantılarının geliştirilmesi ve takibiyle gerçekleşebilmektedir. Sistemin entegre bir yapıdan oluştuğunu varsaydığımızda uzman bir elin desteğiyle sistemin bütüncül işleyişi entegre diğer teknolojik unsurların tam anlamıyla faal hâle getirilmesi ile sağlanabilmektedir. Kontrol mekanizmalarının aktif hâle gelmesiyle işleyen ağ bağlantılı iş süreçleri, farklı alanlardan sağlanan katkılarla yeni bir bakış açısı kazanmıştır. Bunların dışında, çalışanlara düşen sorumlulukların iş modellerinin şekillenmesi ile farklılaştığı da gözlenmektedir. Bunu daha sistematik değerlendiren kaynaklara eğilimin konunun anlaşılabilirliği açısından değer sağlayacağı düşünülmektedir.

Geleceğin Fabrikası Araştırma Derneği (EFFRA) bir araştırmasında, fabrikalarda aktif çalışanlar etrafında çalışma atmosferinin yeniden tanımlanması üzerine üç önemli noktaya dikkatleri çekmektedir. Beşerî çalışma ve öğrenme, insan makine bağlantısı ve beşerî çalışmayla katma değer oluşturma bunlar arasındadır. Bunun gibi, üretimde insan faktörüne odaklanan ve insanı merkezine alan bilgi ve iletişim teknolojilerine dayalı yöntemlerin nitelikli çalışanların ilgisini toplamak amacıyla hayata geçirilmesi hızlandırılmalıdır. Burada dünden bugüne emeğin varlığı ve önemine dair yapılan değerlendirmelerin serilere dayalı küçük çaplı üretimlerin otomatik hâle getirilmesiyle dahi azalmayacağıdır. Fakat yarının standartlaşma ile ilgili düzenlemeleri ve işlerin otomatik hâle getirilmesi sebebiyle işin muhtevasının devamlı değişkenlik göstereceği varsayılmaktadır. Bundan ötürü yarının iş basamaklarının tahmin edilmesinin giderek zorlaşacağı düşünülmektedir. Daha doğrusu beşerî üretimi sağlayan insan faktörü gittikçe esnekleşen iş alanlarındaki aksamaların giderilmesinde ve sonuca varılmasında etkili olmaya devam edecektir. Buna rağmen ileri bilgi ve iletişim teknolojilerinin kazandırdığı esneklik ve karar verme yükümlülüğü sayesinde üretimde istihdam edilecek ve cesaretlendirilecek çalışanların daha önce tanımlanmamış yeni bir görevi üstlenecekleri tahmin edilmektedir. Sonuç olarak bu yeni görevin uygulanması ve kavranması zor olabileceği gibi net uygulama pratiklerini vermek de o denli güçlük yaratacaktır. Bunların yenilikçiliğe dayalı projeler kapsamında değerlendirilmesi de belirli bir çaba

gerektirecektir. (Richter vd., 2017, s.119). Yeni üretim tarzı ve sistemleri ile işler giderek karmaşıklılaşsa dahi karar mercinde insanın yer alması dünden bugüne önemini koruyacaktır. Daha önceleri öngörölmesi muhtemel teknolojiler vasıtasıyla geliştirilen bu sistemlerin ilişkili tüm unsurları arasında kurulan etkileşimli bağ sayesinde insana yüklenen sorumluluk çerçevesinin daha nitelikli ve esnek bir hâle geleceğı kesindir. Ağ bağlantıları arasındaki etkileşimin verimine ve gücüne dayalı karmaşık iş adımlarının çözölmesi ve desteklenmesi; öğrenmeye ve motivasyona dayalı kültürün geliştirilmesine ve bir o kadar da yeniliğe açık bir misyonla iş ve personel geliştirmeye dayanmaktadır. Bu koşulların yaratılması şüphesiz ilgili platformlarla iş birliğine, gerekli projelere ve yatırımlara yönelmek için yapılan çabaya bağlıdır. Devamında ise Endüstri 4.0'ı temel alan iş süreçlerinin organize edilmesinde öğrenmenin gücü ve yerini değerdendirmenin yerinde olacağı tahmin edilmektedir.

Endüstri 4.0'ın ilk andan itibaren üzerinde durduğu temel konu, işlerin düzenlenmesinin ne derece önemli olduğu üzerinedir. Alman endüstrisini ve çalışma prensibini yansıtan Endüstri 4.0 projesinin yenilikçi, politik kararları ile geleceğı tasarlayacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda üzerinde ciddiyle durulan işlerin organize edilmesi, siber fiziksel sistemlerin olanakları ile beraber zorluklarının da göz önünde tutulması gerekliliğı ortaya koyulmaktadır. Öğrenmeyi tetikleyen bir yaklaşımla yeniden düzenlenen iş akışları ve süreçleri demografik yenilenmeye odaklanarak işlerin bu yönde tasarlanmasını önemsemektedir. Bu bakış açısı, işlerin organize edilmesinde yaş kriterinin de dikkate değerdüzeyde olduğunu göstermektedir. Uzun yıllara dayanan çalışma kariyerleri düşünüldüğünde bunun önemi azımsanmayacak şekilde yüksek görölmektedir. Endüstri 4.0, sistem yaklaşımı altında iş organizasyonlarını tamamlayan siber fiziksel sistemlerin entegrasyonunu ikincil düzeyde üstesinden gelinmesi gereken bir unsur olarak ifade etmektedir. Elverişli platformlar üzerinden aktif üyelerin ürettiğı veri sayesinde talep gereğı bilgilerin depolanması, ihtiyaca göre işlenmek üzere yönlendirilmesi ve bu işleyişin görsel hâle getirilmesi için siber fiziksel sistemlerin sunduğı fırsatları değerdendirmek gerekmektedir. Tasarlanan yeni iş organizasyonlarının mümkün olduğunca öğrenmeyi teşvik etmesi beklenmektedir. İşlerin öğrenmeyi teşvik edici yönüyle tasarlanması esasen bilgi ve becerileri geliştirmeyi ve çoğaltmayı ifade etmesine rağmen uzun vadede bunun sürdürülebilir olduğunu tespit etmek iş psikolojisi alanının uzun yıllardır araştırdığı bir konudur. (Botthof ve Hartmann, 2015, s.9-10). Endüstri 4.0, işlerin düzenlenmesinde öğrenmeyi bu sistem yaklaşımının merkezine yerleştirmiştir. Öğrenme, yalın öğrenmeden

ibaret olmayıp sistemin tüm katılımcılarının bilgi ve yeteneklerini geliştiren siber fiziksel sistem yaklaşımının entegre edildiği bu yeni iş organizasyonlarında sürdürülebilirliğin uzun yıllar sağlanması amaçlanmaktadır. Yenilikçi perspektife ve öğrenmeye dayanan yeni iş organizasyonları, sürdürülebilir bir iş çerçevesi sağlayarak çalışanların bilgi ve potansiyellerini ortaya çıkarmayı ve yeni dijital iş modellerinin devamlılığını sağlamayı hedeflemektedir.

Teknik faaliyetlerde yaşanan gelişmeler sonucunda meydana gelen dördüncü endüstriyel devrim, işletmelerin öncelik vermesini gerektiren temel ihtiyaçları yansıtmaktadır. McKinsey'in yürüttüğü, diğer ülkeleri de kapsayan araştırmaların birinde ABD işletmelerinin %83 oranında yeni endüstriyel dönemi karşılayacak düzeyde olduğu iddia edilmektedir. Bu endüstriyel geçişi sağlayabilecek işletmelerin verimliliğinde beklenen artış ise %26 olarak tespit edilmiştir. Bu tahminleri sağlaması beklenen verimli iş modelleri, daha çevik karar almayı sağlayan süreçleri inşa etmek amacıyla alışılmış hiyerarşik düzenin etkilerini azaltma, yeni işlevleri sisteme dahil etme gibi bir misyonu üstlenmektedir. Bu bakış açısı bireye özgü gelişimi yeni iş çerçevesinin önemli bir unsuru hâline getirirken etkili iş süreçlerinin oluşumunda bunun etkileri hissedilmektedir. Bilimsel yönetim prensipleri çerçevesinde bu husus, uzun yıllardır üzerinde tartışılan bir konu olarak bilinmektedir. (Niebauer ve Riemath, 2017, s.216). Yeni iş modellerinde öne çıktığı görülen bireysel gelişim, potansiyel verimliliğin artışı için büyük önem teşkil etmektedir. Bu yeni tanımlanan iş tasarımlarında iş platformlarının fiziksel yapısından ziyade kimler tarafından hangi operasyonel görevlerin yürütüldüğü daha çok dikkat çekmektedir. Yeni iş süreçlerinin merceğine alınan ve yeni zorluklara uyumu beklenen insan faktörünün donanımı, yetkinlikleri ve işleyişe sağlayacağı değerin önemi üzerinde açıkça durulmaktadır.

3.5.2 Endüstri 4.0'ın Uzmanlaşmaya ve İş Sahasına Etkileri

Gittikçe artan oranda dijitalleşen dünyamızda birbirine geçmiş olan iş ekosistemlerinde faaliyet gösteren firmalar, dijital iş stratejisi etrafında konuyu iş ekosistemlerinden ayrı tutamayacağı gibi anlaşmalar, ortaklıklar ve çekişmelerden de tarafsız olarak hareket edememektedir. Hatta firmaların klasik endüstriyel faaliyet çizgisini aşan operasyonları, dijital olanaklar yoluyla adlandırılan “niş” gibi modern faaliyet alanlarında aksiyon olarak dijital platformlar yardımıyla sağlanmaktadır. Aslında burada bilgi teknolojileri ile iş

taktiklerinin birbirinden ayrı düşünölemeyeceği vurgulanmaktadır. Girişimcilerin odağında yer alan ve bugönkü endüstrilerin tarafları ile yoğun bir etkileşim içinde olan tedarik zincirlerinin dijital yolla iş planlarını yayma ve erişimi yaygın hâle getirme hedefleri görece düşük düzeydedir. Nitelikli bir dijital akışa sahip olmayan bu tür eylemler esnek, bağımlı ve aynı zamanda değişken ekosistemlerin harekete geçirilmesini daha komplike bir hâle getirmektedir. Bu bağlamda, hızlandırılan dijitalleştirme eylemleri hızla değişen ekosistem koşullarına uyum gösterebilmektedir. Dolayısıyla bilgi teknolojilerini yapılandırma sürecinde gerekli altyapı faaliyetlerini düzenleme ve iş süreçlerinin standardizasyonuna odaklanma zaruri hâle gelmektedir. Dijital uygulamaların komplike yapısı itibarıyla daha fazla veriyi kullanabilme kapasitesinden ve değişkenliğinden ötürü stratejik düşünmek gerekmektedir. Dijital sistemler bağlayıcı bir etkiye sahiptir. Dijitalleşme süreci, dijital sistemlerin işlevsel hâle gelmesinde birincil derecede öneme sahip paydaşların yanı sıra rakiplerini de göz ardı etmeyen niteliği ile iş ekosisteminin diğer üyelerini de sürece dâhil etmektedir. Çok yönlü katılımıla oluşturulan iş odaklı stratejilerin diğer üyelere aktarılması önemli bir koşulu temsil etmektedir. (Bharadwaj vd. 2013, s.474-475). Endüstri 4.0 ekseninde ileri düzeyde dijitalleşme faaliyetleri iş çevresini ve bağlantılarını dinamik iş ekosisteminin değişkenliğine adapte edebilecek düzeydedir. İş çevresinin dijital adaptasyonu, zaman kaybetmeden yapılan planlamalara ve hızlandırılan uygulamalara bağılı olarak gerçektecektir. Sanayi kuruluşlarının ve tedarik zincirlerinin dijital uygulamalar konusunda zayıf davranması, dijital altyapı sorunlarının ve standart dijital iş süreçlerinin gerekliliğinin yeterince kavranamadığını yansıtmaktadır. Nihayetinde eş zamanlı alınan dijital önlemler, iş ekosisteminin haricî ve dâhilî tüm taraflarının beraber alacağı anlamlı stratejik kararları destekleyecektir. Bunun sonucunda ilgili iş çevresinin bağlayıcı koşulları ile dijitalleşme yolunda sağlanan dijital adaptasyon nispi olarak hafifleyecektir.

Çoğu zaman vurgulanan Endüstri 4.0'ın inanılmaz potansiyelinin bir kereye mahsus kullanılabilecek ürünleri dahi avantajlara dönüştürmesi, kullanıcıların kişisel beklentilerine verilen öneme bağılı olmaktadır. Üretim merkezli oluşturulan ağ bağlantıları, araçları, süreçleri ve elde edilen çıktıları düne kıyasla daha esnek ve çevik bir yapıya kavuşturmaktadır. Ağ bağlantılarına verilen önem ile müşteri faydası genişletilebildiği gibi artan verimlilik ise kaynak tüketimini de görece azaltmaktadır. Endüstri 4.0'ın ilgi çeken entegre dijital ürünlerinden sağlanan yararlar, dijital bileşenlerinin metot ve süreçlerinden ileri gelmemektedir. Daha doğrusu elde edilecek fayda, diğer dijital öğelerin de devreye

alınmasıyla ilgili olup ve bu sistemlerin üretim katmanlarına da uyarlanabilmesiyle ilgilidir. Böylece dijital yolla elde edilen çıktıların müşteri ya da tüketici açısından oluşturduğu katma değer ile beraber üretici firmanın da dâhil olduğu bir değer ortaya çıkmaktadır. Endüstri 4.0, modern ve katma değerli iş kalıplarının geliştirilmesini teşvik etmekte, modern konseptlere yüklediği yıkıcı tabiatıyla yola çıkmaktadır. Endüstri 4.0, geniş perspektife dayalı bir görüşe öncülük etmekle kalmayıp geleceğin teknolojilerini kullanarak mevcut teknolojileri ve üretim tarafını ilgilendiren meseleleri iyileştirme çabası içindedir. Yarının işletmeleri yetkinliklerini kullanarak mevcut yöntemleri değiştirecektir. Evrensel düzlemde tedarikçi, iş gücü ve müşterileri de kapsayan sosyo-teknik sistemlerin ağ bağlantıları kurulacaktır. Bu çizgide girişimciler üretimi tüm fonksiyonları ile değerlendirip siber fiziksel sistemler yardımıyla makineleri, süreçleri, depolama yöntemlerini ve donanımı da içeren ağ bağlantılarının kurulmasına aracılık edeceklerdir. Teknoloji temasının ağır bastığı insan faktörü çevresinde yapılan değerlendirmeler, ademimerkeziyetçi ve otonom sistemleri sağlayan Endüstri 4.0 açısından insan olgusunun dünden bugüne önemini koruyacağı yönündedir. Bu motivasyon nedeniyle ilgili oyuncuların özgül eylem ve sorumluluk sahası çeşitli platformlarda farklılık arz edecektir. Sorumluluk alanlarının belirlenmesinde belirsizlik yaşanması kaçınılmaz olduğu kadar değer üreten ağların zamanla daha da dinamik bir hâl alacağı tahmin edilmektedir. Daha doğrusu bu doğrultuda uzmanlaşma elverişli niteliklere sahip iş gücü potansiyeli ile ileri seviyede esnekliği sağlayan koşullara bağlı olacaktır. (Hartlieb vd., 2018, s.3-4). Burada dijital ağ bağlantıları sayesinde karmaşılaşan iş süreçlerinin verimli şekilde işleyebilmesi, sorumluluk alanları genişleyen iş gücünün daha nitelikli olması ile bağdaştırılmaktadır. Ağ bağlantılı sistemlerin daha da aktifleşeceği düşünüldüğünde, sürdürülebilirliğin sağlanmasında esneklik kavramının ön plana çıkacağı tahmin edilmektedir. Yeni yaklaşımları sergilemesi beklenen Endüstri 4.0 araçlarının diğer bileşenleri ile sistemlere uyarlanabilmesi bu paralelde müşteriler için yeni avantajlar getireceği dinamik ve esnek koşulların yaratılmasıyla da uyumlu kaynak verimliliğinin artacağı tahmin edilmektedir. Dinamik koşullara neden olan Endüstri 4.0 uygulamalarının iş çevresinde yarattığı etkileri tolere edebilmek tüm tarafların katılımını gerektiren bir anlayışı gerektirmekte, bu yaklaşımın gerekli bileşenlerinin elverişli şekilde hesaba katılması gerekliliği ortaya koyulmaktadır. Şüphesiz sürecin yönetilmesi ve sürdürülebilirliği konusunda uzmanların ilave yetkinliklere sahip olması gerektiği üzerine fikir birliği söz konusudur. Bunun da yeni uzmanlık alanlarına fırsat vereceği açıkça görülmektedir. Bu gelişmelerin bir sonucu

olarak mevcut yeteneklerin gözden geçirilmesine, yeni ve ilave yeterliliklerin edinimiyle uzmanlık kapsamının genişletilmesine olan ihtiyacın artacağını söylemek mümkündür.

3.6 Endüstri 4.0 Üzerine Kritik

Geleneksel iş çerçevesinin dördüncü sanayi devriminin etkisiyle büyük bir değişime uğrayacağı kesindir. Bu devrimsel sanayi devriminin odağında çoğunlukla çalışanlar ve ilgili altyapı sorunları yer almaktadır. Bu yöndeki tartışmalar, işletmelerin yeniden organize olmasıyla ilgili altyapısal düzenlemeleri içermekte ve bu doğrultudaki başarıyı belirleyen kritik konuların önemi üzerinde durulmaktadır. Bunun üzerine nasıl bir yol izlenmesi gerektiği de araştırılan konular içerisinde. Geleneksel iş çevresinde süregelen faaliyetlerin bundan sonraki aşamalarda ne düzeyde gerekli olacağı da merak konusudur. Burada büyük olasılıkla, düzenli işleyen rutin iş süreçleri daha çok etkiye maruz kalacaktır. Endüstri 4.0 için önerilen altyapı çalışmaları, muhtemelen daha fazla bireyselliğe ve esnekliğe odaklanarak yaratıcılığı teşvik eden değerlere de önem verilmesi üzerine olacaktır. (Niebauer ve Riemath, 2017, s.215). Bu kritik değerlerin önemi, esasında güçlü bir endüstriyel altyapının oluşması gerekliliğine dayanmaktadır. Bu sebeple tanımlanan başarı faktörlerinin oluşmasında organizasyonel ve altyapısal sorunların üzerine eğilmenin önemi vurgulanırken bu sorunlar çözümlendiğinde ise bunların işletmelerin gerekli temel faktörleri olarak öne çıkacağını söylemek mümkündür. Rutin iş akış süreçlerinin değişmesi ya da bertaraf edilmesi işletmenin organizasyon kültürü açısından kolaylıkla benimsenebilecek bir değişim ya da yenilenme olarak gözükmemektedir. Daha fazla vasıflı iş gücü ve yeni becerileri gerektiren bu reformsal dönüşümün yerleşik iş gücü tarafında işletme içi çatışmaları ve memnuniyetsizliği de beraberinde getireceğini tahmin etmek zor değildir. İşletmelerin sürece uyumu ve sürdürülebilirliği, öğrenme ve eğitime önem veren organizasyonlar aracılığıyla yenilenen iş gücü çevresi ile değişime hızla uyum sayesinde mümkün olacaktır. Dolayısıyla iş gücü, hizmetler ve iş süreçlerinin esnekliğine dayandırılan yeniden yapılanma dönemi, potansiyel yeteneklerin tetiklenmesinde destekleyici olacaktır. Bunların dışında kritik olarak gündeme gelen konular arasında organizasyon içi ve dışı etkenlerin dijitalleştirilmesi yer alırken bunun üzerine ne tür tartışmaların olduğu da önem arz etmektedir.

İmalat tarafına bakıldığında, üretimin dağıtım sistemleri ile etkileşiminde insansız bir koordinasyondan bahsedilmektedir. Kendi kendini düzenleyen bunun gibi sistemlerin

kaynakların iyileştirmesi ile rekabet avantajını yaratacağı söylenmektedir. Sadece ürünler ya da üretim faaliyetleri değil bunların da ötesinde diğer birimleri de kapsayan bir dijitalleştirme faaliyeti gerekli olmaktadır. Bunun sonucunda dijitalleşmenin sağlayacağı yararlardan söz etmek mümkündür. Dijitalleşme, organizasyonların kendine yönelik bir geliştirme faaliyeti değildir. Bu faaliyet, işletmelerin diğer eş değer işletmeler arasında sürdürülen derin iş bağlantılarına dayanmaktadır. Tarif edilen işletmelerin siber-fiziksel altyapılarının tamamlanarak akıllı ve kestirimci bir yaklaşımı kolaylaştıran ağ bağlantılarını kullanması gerekmektedir. İşletmelerin bu ağ bağlantıları yardımıyla IoT ve büyük veri analitiği gibi teknolojilerin yönlendirdiği üretim sistemlerine sahip diğer işletmeler ile gerçekleştirdikleri faaliyetlerini akıllıca ve uyumlu şekilde yürütebilmesi mümkün olacaktır. Fakat değer zincirini tümüyle kapsayan uyum süreci ve sistemlerin birlikte çalışabilirliğini kolaylaştıran siber fiziksel tabanlı uygulamalar tahmin edildiği kadar kolay olmayacaktır. Değer üreten sistemlerin birbirinden bağımsız tarafları sistemlerini revize ederken bu yönde farklılaşmaları o denli güç olacaktır. Değer zinciri içinde dijitalleşme adına verilen stratejik kararlar ve yapılan tartışmalar dijitalleşmeyi hedefleyen işletmelerin etkili olmasında önemli bir olguyu temsil etmektedir. Bu akışta değer zincirine katılan üyeler arasında siber fiziksel sistemlerini geliştirenler, önemli düzeyde veriyi görselleştirerek verimliliklerini artıracaklardır. Kritik olan konu, kapsamlı verilerin eş zamanlı aktarımını ve değerlendirilmesini olanaklı hâle getiren ve aynı zamanda bu sürecin hızlandırılmasında ve kapsamının genişletilmesinde etkili ve güvenli teknolojilere sahip kuruluşların varlığıdır. Bilakis, tek yönlü değerlendirmeye ifade ettiğimiz otomatikleştirilen üretim sistemleri beklenen üretim başarısını getirmeyecektir. İlgili sanayi devriminin başarısı, diğer yapısal işlevlerin de otonom hâle gelmesine ihtiyaç duymaktadır. (Sony ve Naik 2020, s.808). Endüstri 4.0'ın bütünüyle gerçekleştirilmesi, organizasyonların sadece kendi birimleri arasında sağlanan otonom süreçlerine bağlı olmaması ile yakından ilintilidir. Bunlar bir ölçüde bağlayıcı olsa dahi işletmelerin ilişkili oldukları organizasyonların Endüstri 4.0'a yönelik hazırlıkları, planları ve ilgili projeleri diğer etkileşimde olduğu bağlantıları ve endüstrileri de derinden etkileyecektir. İşletmeler arası dijital ağ bağlantıları yardımıyla yaratılan ortak değer ve sinerji Endüstri 4.0'ın potansiyellerini kullanma ve başarısını elde etme yolunda atılan önemli bir adım olarak görülmektedir. Aksi takdirde endüstrilerde faaliyet gösteren işletmelerin verdiği stratejik kararlar ve uyarladıkları teknolojilerden sağlayacakları yararlar birbiri ile örtüşmeyecektir. Bunların da ötesinde değer zincirinde olan tüm üyelerin endüstriyel gelişimin gerisinde kalmamak ve operasyonel ilişkilerden doğacak faydayı

sağlayabilmek adına, dijital olma stratejisini benimsemesi işletmenin varlığını koruması ve sürdürülebilirliği için önemli bir rol oynamaktadır. Bundan başka yeni teknolojilerin tüm iş birlikçi taraflarca uyarlanması tek çözüm yolu olarak görülmemektedir. Öyle ki dördüncü endüstriyel devrimin bir sonucu olarak hedeflenen kolaylaştırıcı teknolojiler aracılığıyla birimleri, süreçleri ve operasyonları kısmen dijital yönden dönüştürmek maksimum faydayı da getirmeyecektir. Dolayısıyla bu dijital adaptasyon sürecinde organizasyonların dâhilî ve haricî belirsizliklerle baş edebilme yolları, ortaya çıkabilecek risklere karşı alınan proaktif kararlar, süreçten beklenen verime ulaşmayı hızlandıracaktır. Bununla ilgili bazı tartışmalara değinmekte yarar görülmektedir.

Endüstri 4.0'ın önemli bir unsuru olan blok zincir teknolojisi üzerine tartışmalar devam etmektedir. Blok zincirin devreye alınması düşünüldüğünde çevresel faktörler dâhil, diğer bağlayıcı hususların da dikkate alınması gerektiği üzerine vurgu yapılmaktadır. Firma stratejisiyle uyumlu blok zinciri uygulamalarının tercih edilmesinden önce fizibilitesinin yapılması gerekmektedir. Firmanın beklentilerine göre farklılık gösteren uygulamalar her bir firma için ortak bir yöntemin olmadığına işaret etmektedir. Bu bağlamda maliyet-fayda analizinin itina ile yapılması önemlidir. Blok zincirin sağladığı kazanımlara rağmen küresel anlamda birtakım endişeler de beraberinde gelmektedir. Blok zinciri'nin yaratacağı etki belirgin olduğu kadar etrafında dönen belirsizlik varlığını korumaktadır. Dünya bankasının bildirisi ışığında finansal bütünlük ile ilgili kararsızlıklar, tüketici gözetim meselesi, ekolojik ayak izi, işlem hız düzeyi, hukuksal düzenlemeler ve teknoloji ile ilgili belirsizliklerin çözülmesi gerekliliği böylesi modern teknolojilerin doğuşuyla ortaya çıkmaktadır. (Koç, 2020, s.432-433). Yeni geliştirilen teknolojilerin etkinleştirilmesiyle kurumsal ya da bireysel anlamda dikkate alınan dijital olma yolundaki riskler azımsanmayacak derecede önem teşkil etmektedir. Örneği verilen blok zinciri gibi uygulamalar, çözülmesi gereken belirsizlik faktörlerini beraberinde getirebilirken belirtilen teknolojiden elde edilecek yararların maksimize edilmesi de bu belirsizliğin ortadan kaldırılmasına bağlı olacaktır. Hukuki düzenlemelerin bu gelişime ayak uydurması zaruri gözükmektedir. Bu teknolojik kalkınma bilincinin oluşması hayati önemdeyken endüstriyel alanda olduğu kadar siyasi düzlemde de kavranması kritik olarak algılanmaktadır. Bunun neticesinde eylem planları daha istikrarlı şekilde harekete geçirilebilecektir. Dijital olma çizgisinde takip edilen yol ve yöntemlerin ne denli fayda sağlayacağı, uygulamadaki örnekler incelendiğinde daha da net kavranacaktır.

Dijitalleşmeye gönüllü bir kültürün oluşmasında, üretim sistemlerinde süregelen esneklik, entegrasyon ve uzman kadro gibi unsurlar ciddi anlamda farklılık göstermektedir. Arz ve talep karşılaşmasında zorunlu yeterliliklerin mevcut olmaması mesafeleri tarifsiz derecede açabilme yetisine sahiptir. Bu riski taşıyan Meksikalı mühendislerin çalışmalarına dikkat kesildiğimizde dijital uygulamaları ve yeni donanım birimlerini geliştirmekte yetersiz kaldıkları gözlenmektedir. Örneğin; elektronik, mekanik ve kimya branşlarında üretime yön veren belirli çalışmalara yer verilmesine rağmen büyük veri, bulut bilişim, robotik uygulamalar gibi dijital teknolojilerin konumlandırılmasına ilişkin faaliyetlerin göz ardı edildiği tespit edilmiştir. (Casalet ve Stezano, 2020, s.697). Kanaatimize göre bir dizi teknolojinin etkinleştirilmesi, destekleyici bir kurumsal kültürün varlığını gerektirmektedir. Aksi bir durumda ise yeni çağın normali kapsamında yeniden tarif edilen esneklik, çeviklik ve verimlilik, istenilen ve beklenen dijital dönüşümü gerçekleştirmeyecek olup kalifiye ve etkin olmayan kadronun genişlemesine neden olacaktır. Bu konu etrafında dijital yönüyle değerlendirilen gelişmiş teknolojiler, dijitalleşmeyi teşvik eden bir kültürün oluşması nedeniyle etkin şekilde konumlandırılabilir. Burada kurumsal kültürün önemi açık bir şekilde vurgulanmaktadır. Bağlamsal açıdan Endüstri 4.0 hamlelerinin kurumsal kültür temelinde verilen stratejik kararlar yardımıyla ilerleme kaydedeceği tahmin edilmektedir. Bunlardan ziyade, dördüncü endüstriyel devrimin başarı göstergesi olarak tarif edilen ilgili işletmelerin israfı yok etmeyi amaçlayan yalın yönetimi ne açıdan değerlendirip uyguladıkları da ayrı bir tartışma konusudur. Endüstri 4.0'ın kendiliğinden ortaya çıkmış bir yaklaşım olmadığı temelinde yalın yönetim gibi politikalara dayandırıldığına işaret eden yaklaşımlar da söz konusudur.

Endüstri 4.0 uygulanmadan ya da tümüyle sistemlere uyarlanmadan önce yalın sistemler için alınan önlemler önem teşkil etmektedir. İsrafı ortadan kaldırmayı hedefleyen bu yalın politikalar Endüstri 4.0'ı gerçekleştirmeden önce ele alınması gereken tedbirler olarak açıklanmaktadır. Devamında ise üzerinde önemle durulan sürdürülebilirlik kavramı, Endüstri 4.0 çerçevesinde acaba nereye konumlandırılması gerekmektedir? Endüstri 4.0'ın sadece bugünkü kuşağın gereksinimlerini değil yarının ekonomik koşullarını da ekolojik ve sosyal çerçevede düşünen parametreler yardımıyla dengeyi sağlayarak başarılı olacağı ileri sürülmektedir. Bu yöntem, Endüstri 4.0'ın uzun vadede kazanımlarını görebilmek için sürdürülebilirlik adına izleyeceği bir yol olarak gösterilmektedir. Araştırmalar kapsamında geniş veri seti ve tam otomasyonlu sistemlerin yardımıyla Endüstri 4.0'ın sosyo-teknik bağlamdaki toplumsal etkilerini tespit edebilmek mümkün olacaktır. Gerçek değer

yaratmayı amaç edinen Endüstri 4.0, üretim sistemlerini gözetmeksizin tedarik zincirini ve müşterileri de tümüyle sürece dâhil eden bir otomasyon başarısına odaklanmaktadır. Kurulan akıllı sistemler yardımıyla üretilen akıllı ürün ve hizmetler, stratejik öneme sahip olsa da mevcut düzeni dönüştürebilmek kolay bir süreç olarak tasvir edilmemektedir. Endüstri 4.0'ın sürdürülebilirliğe sağlayacağı katkıyı belirleyecek olan ekonomik, ekolojik ve sosyal boyutların tam manasıyla değerlendirilmesini zorunlu kılacak faktörler öne çıkacaktır. Bu alanlarda yaratılması hedeflenen faydaların tespitindeki boşluğun sürdürülebilirlik çerçevesinde edinilecek faydaları kesintiye uğratacağı düşünülmektedir. Bundan dolayı tam olarak bir sürdürülebilirliğin gerçekleşmeyeceği iddia edilmektedir. (Sony ve Naik, 2020, s.810-811)

Sosyo-teknik anlamda birey ya da toplum açısından Endüstri 4.0'ın etkilerini tespit edebilmek kullanılan genel otomasyon sistemleri ve yoğun veri sayesinde kısa vadede değerlendirilebilecek gibi gözükmemektedir. Üretim sistemleri ve süreçlerinin dijitalleşmesini hedef alan bir Endüstri 4.0 hamlesi, toplam faydaya ulaştırması beklenen diğer kriterlere eğilme imkânını bulamadığı takdirde gerekli bütüncül başarıyı sağlayamayacaktır. Sürdürülebilirlik odağında Endüstri 4.0 eylemleri, ekonomik ve sosyal beklentileri karşılamadığı ya da ekolojik duyarlılığı göstermediği sürece faaliyetlerin yarattığı toplam faydaya ulaşılmasında sürdürülebilirlik açısından eksik kalacaktır. Günümüzde kuruluşlar tarafından kısa vadede etraflıca ele alınması mümkün olmayan sürdürülebilirlik kriterleri dördüncü sanayi devriminden beklenen etkiyi yaratamayacaktır. Dolayısıyla sürdürülebilirlik süreçlerinin tamamlanması ve Endüstri 4.0'ı gerçeğe dönüştüren aşamaların zaman kaybetmeden devreye alınmasıyla bu interaktif sürecin potansiyel etkilerine şahitlik etmek mümkün olacaktır.

3.6.1 Endüstri 4.0 Zorlukları ve Sınırlılıkları

Endüstriyel gelişmelere cevap verebilmek için geliştirilen dijital ürünler, sektör ve müşteri çevresi talepleri ile paralel olarak ilerleyen bir yapıdadır. Bilhassa farklılaşan beklentilere bir reaksiyon olarak bunların gelişim döngüsü, yenilikçi yaklaşımların ve teknolojik hızın etkisiyle kısalmakta ve beklenen ekonomik refahın inşası ve devamlılığı için yatırımları üstlenmeyi gerektirmektedir. Bütün bu gelişmeleri gerektiren köklü yatırımlar teknolojik riskleri öngörmeyi ve finansal açıkların oluşmasını engellemek amacıyla doğru stratejilerin oluşturulmasını sağlayan çözüm planları üzerine odaklanılmasını gerektirmektedir.

Teknolojinin ilerlemesi görece iyi bir gelişme olarak görülürken bu paralelde endüstriyel teknolojilerin sunduğu imkânlar potansiyel beklentilerin gerisinde kalma ihtimalini de doğurabilmektedir. Bu noktada verilecek örnekler hesabına ilgi çekici uygulamalara göz atmanın yararlı olacağına inanılmaktadır. Endüstri 4.0'ın bel kemiği diye adlandırabileceğimiz nesnelerin interneti, diğer endüstriyel teknolojilere kıyasla temel oluştururken bunun etkileri ise koşulların bağlamına göre farklılık gösterebilmekte ve belirsizliklere de yol açabilmektedir. Bu bağlamda gelişmeyi sekteye uğratan diğer kısıtlara değinilmesi ve bunların farklı yönleriyle incelenmesinde konunun etraflıca değerlendirilmesi açısından faydalı olacağı tahmin edilmektedir. İlk aşamada, ürün ya da hizmetlerin ürün yaşam döngülerinin kapsamca genişlemesi yaratacağı değer açısından önemli görülse de sistem ve süreçlerin uyarlanması döngüselliğin içselleştirilmesi ciddi bir adım olarak tarif edilmektedir.

Ürün Yaşam Süresinin ve Döngülerin Kısaldması: Bu konuyla ilgili teknolojinin hızla ilerlemesi nedeniyle teknik kullanım olanakları zayıflayan ürünlerin piyasada göreceği ilginin giderek azalması ve yüksek ihtimalle ürün yaşam döngüleri tamamlanmadan modasının geçmesiyle sonuçlanacaktır. Daha doğrusu, ürünün tekrar kullanıma uygun bir alternatifi temsil etmesinde tasarruf döngüsü sona eren ürün için oluşabilecek risk pazardaki ilginin kaybolması şeklinde kendini gösterebilmektedir. Bazı teknolojik gelişmelerin etkisiyle tekrar faydalanılması düşünülen ürünlerin değerinin yeniden belirlenmesi konusunda belirsizlik yaşanabileceği ileri sürülmektedir. Döngüselliğin hesaba katıldığı stratejik kararlar doğrultusunda uygulanan nesnelerin interneti ve bu yönde yapılandırılan süreçler sayesinde verilerin kalitesini belirleyen kontrol mekanizmalarının doğru işlemesi gerekmektedir. Aksi takdirde süreçlerde yaşanacak yapılanma sorununu çözebilecek yolları bulmanın güçlüğüne işaret edilmektedir. Şöyle ki sorunlar kritik yönüyle ele alındığında koşulların birbirinden ayrı seyretmesi, olası zorlukların derecesini de o ölçüde belirleyecektir. (Ingemarsdotter vd., 2020 s.7-8). Üstesinden gelinmesi beklenen zorluklar arasında daha çok teknolojiyi üreten tarafı ilgilendiren yanı sıra makinelerden beklentilerin artması, süregelen tutumların değişme zorunluluğunu gerektirmektedir. Ürün, araç ve gereçlerin kısa vadeli kullanımını öngören tasarımlar, kısa zaman öncesine kadar dikkatleri üzerine çekmekteydi. Burada baş edilmesi gereken önemli hususlar ise yarının ürün yaşam döngüsüne güvenebileceğimiz araç ve gereçlerin olabildiğince dönüştürülebilir ve esnek bir yapıya sahip olmasıdır. Bu da sensör bağlantıları olan makineleri ve araçları bağlamaktadır. (Ernst ve Frische, 2015, s.25).

Endüstri 4.0 reformunun koşullarını sağlayan ve bu geçişi hayata geçirip daha uygulanabilir hâle getiren birtakım kısıtların ortadan kaldırılması tahminî beklentiler arasındadır. Bu kısıtları tespit ettikten sonra bunların ne tür zorluklar olduğuna ilişkin değerlendirmelerin sınırlılıklar düzeyinde açıklığa kavuşturulması önem arz etmektedir. Bununla ilişkili standartlaşma süreci, kavramsal belirsizlik ve uygulama eksikliğinden kaynaklı tahminî zorluklar aşağıda belirtilmektedir.

Standartlar Oluşturma Yolunda Olası Tehditler/Zorluklar: Birçok disiplinin farklı teknolojik alanlarını içine alan Endüstri 4.0, genelde komplike bir yapıya sahip olduğu için ilgili teknolojilerin uyarlanmasında zorluklara yol açarken ilgili teknolojilerin çalışmalarda da ortak bir değeri yansıtmadığı tespit edilmiştir. Bunun üzerine çeşitli terimsel önerilerin ve perspektiflerin gündeme gelmesiyle kavram kargaşası yaşanmakta ve bu sebeple stratejik bir kavramın geliştirilmesi ve net olarak ortaya koyulması güçleşmektedir. Geniş bir yelpazeye sahip teknolojik alternatiflerin ilgili tarafları, bilgi alışverişinde birtakım sorunlar yaşamaktadır. Bu sorunların kaynağı bilgi yoksunluğundan ileri gelmekte ve bu oluşan handikaplar nedeniyle taraflar endişeye sürüklenmektedir. Bu durum teknolojik alanların standartlaşmasında sorunları beraberinde getirmektedir. Dahası uygulamalar üzerine ekonomik değerin tespitinde ya da maliyetlerin açıkça belirlenmesinde tahmini şüpheler sürecin ilerlemesini sekteye uğratmaktadır. Endüstri 4.0 bakımından literatürde yer alan uygulama önerilerinin pratiğe dönüştürülmesi ile ilgili zorluklar üzerine yeterince araştırma mevcut değildir. Tanımlanması beklenen zorluklar ve handikaplar nedeniyle reform hareketlerinde bir gerilemenin olduğundan söz etmek mümkündür. (Lindén ve Persson, 2021, s.9). Modern teknolojilerle ilgili adım atılması farklı endüstri alanlarının gerekliliklerini önemli düzeyde bağlamaktadır. Sunulan endüstriyel uygulamaların çeşitliliği ve endüstriyel ihtiyaçların farklılığından dolayı doğru hamlelerin yapılmasında güçlükler yaşanmaktadır. Bu farklılaşan endüstriyel teknolojik araçlar ve talepler nedeniyle müşterek kullanılabilecek standart ölçütlerin oluşturulmasındaki zorluklar dikkatleri çekmektedir.

Standartlar konusunda öne çıkan önemli faktörlerden bir diğeri ise birbiri ile entegre geliştirilen teknolojilerin ortak bir dili yansıtmaya gerekliliğidir. Bu şekilde bağlantıları sağlamanın mümkün olacağı savunulmaktadır. Bu; makinelerin, robotların ve ilgili araçların kombinasyonu ile başarıldığı takdirde endüstriyel gelişim daha ileri noktaya taşınacaktır. Bunların yapılabilirliği ancak akıllı hâle getirilen makine ve teknolojilerin kanıtlanabilirliğine ve uygulamaya yönelik kararsızlıkların giderilmesine bağlı olmaktadır.

İleri teknolojilerin gerçek potansiyellerinin ortaya çıkarılmasında örnek çalışmalara verilecek önem kadar mevcut handikapların aşılmasında da öne çıkan pratiklerin aktarılması yararlı olacaktır. (Ernst ve Frische, 2015, s.25-26). Standardizasyon uluslararası arenada Endüstri 4.0 üzerine tartışılan ciddi bir konu olarak öne çıkmaktadır. Teknik bağlamda endüstriyel araçların birbiri ile entegrasyonundan kurgulanan müşterek dil, yeterli görülse de her bir endüstriyel faaliyetin kendi süreçleri ve teknik donanımları ayrı seyrettiğinden ortak bir standardizasyona gidilmesi bu sebeple zorlaşacaktır. Buna karşın belirli endüstrilerin gereklilikleri ve faaliyetleri kapsamında standartlaşma sürecinin değerlendirilmesi ciddiyetle ele alınması gereken bir konudur. Standartlar konusunda net bir tavrın ortaya konulması, şüphesiz ispatı mümkün olan etkinleştirici teknolojik araçların faydaları noktasında tereddütlerin giderilmesine göre değişkenlik gösterecektir. Buna göre, uygulama örneklerinde katedilen yolun ilgili sürecin hızlandırılmasını tetikleyici bir unsur olduğu düşünülmektedir.

Ekonomik Değerin Tespiti: Sanayide yaşanan bu yeni reform hareketinde faaliyetlere ilişkin ekonomik değer belirlenmesi önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yeni dönemin uygulama örneklerindeki yetersizlik, çalışmalarla ilgili teknik ve mühendislik potansiyelinin tespit edilmesinde olduğu kadar mali katkıların saptanmasını da zorlaştırmaktadır. Bu gelişmelerin dışında kalmak imkânsız olduğundan her bir gelişim süreci için gerekli finansal yükümlülüğü üstlenmekte büyük yararlar olduğu öngörülmektedir. Bu bağlamda işletmelerin yatırım dönüşünü hesaplaması finansal getiriler açısından kolay olmamakta ve önemli bir yatırımı gerektiren bu oluşumlar zorlukları beraberinde getirmektedir. Yüksek mali sorumlulukların yüklenilmesini gerektiren akıllı fabrika, siber fiziksel sistemler sayesinde oluşturulan tedarik ve değer zinciri ile donatılmış olup mali değer tespit edilememesinden ötürü işletmelere zorluklar doğurmaktadır. Bu sebeple Endüstri 4.0 kazanımları olarak tarif ettiğimiz artan verimlilik ve esneklik ile ileri bir üretkenlikten beklenen yararın da tespiti zorlaşacaktır. **Veri Toplama ve Değerlendirme Zorluğu:** Bilindiği üzere faaliyetler, tedarik ve değer zinciri içinde konumlandırılmış sensör destekli makine, robot ve ürünlerin ürettiği veriler aracılığıyla yönetilmektedir. Özellikle işletmelerin burada birbirinden farklı yükümlülükleri üstlenen sistemlerin ve kademelerin dâhil olduğu veri havuzunu nasıl oluşturması gerektiği konusuyla baş etmesi gerekmektedir. **Yeni Beceri ve Kapasiteye Duyulan İhtiyaç:** Bu ihtiyaçlar daha çok, büyük veri analitiğini uygulamakla ilgilidir. Organizasyonlar çeşitli verilerin bir araya getirilmesi ve değerlendirilmesi doğrultusunda

elverişli bir uygulamayı gerçekleştirmede uygun becerilere sahip olmadıklarından başarısız olmaktadırlar. Bu durum olması beklenen yetenek ve deneyimlere sahip çalışan yoksunluğundan oluştuğu gibi ileri teknolojilere ve verimi yüksek ağ bağlantılı yazılım sistemlerine olan ihtiyaç ile de açıklanmaktadır. Siber fiziksel sistemler yardımıyla müşteriden sağlanan faydayı optimize etme gayesi, veriden ilave değer yaratarak avantajlar getirecektir. Üretimin dijitalleşmesi sürecinde ek becerilere olan ihtiyacın belirginleşmesi işletmeleri bununla mücadeleyle sürüklemektedir. Endüstriyel nesnelerin interneti, farklı yeteneklerin kombinasyonu ile kapasite ihtiyacını ortaya çıkararak bilgi ve işlevsel teknolojileri bütünleştiren dijital bir uygulama olarak sistemlere uyarlanması gerekecektir. Üretimin önemli bir ayağı olan bilgisayar yazılım sistemlerini işlevsel hâle getiren mühendislerden bilgi teknolojilerine yatkınlığı beklenmekte, bunun yanı sıra teknik yeterliliklerden daha çok ürünün niteliğine de yoğunlaşmaları istenmektedir. Önemli bir zorluk olarak görülen eğitim ve geliştirme ile ilgili planların yapılması ve karar vericiler aracılığıyla harekete geçirilmesi verimli bir dönüşüm için çalışanlara gerekli becerilerin kazandırılmasına yöneliktir. **Yeni İş Modellerine Uyum Zorluğu:** Siber fiziksel sistemler yardımıyla tedarik ağları ve değer zincirinin dijital hâle getirilmesi üretim süreçlerinin oldukça karmaşıklaşmasına neden olmaktadır. Bu yeni durum tedarikçilerin ve müşterilerin rollerinin birbirine geçmesine sebep olurken yeni iş modellerinin oluşmasında da itici bir güç olarak kendini göstermektedir. Bu koşullara ayak uydurmak tümüyle mevcut iş modellerinin hibrit ürün ve hizmet anlayışından beslenen yeni iş kalıplarına evrilmesi ile mümkün olacaktır. Bunun gerçekleştirilmesi işletmeler için bir güçlük teşkil etmektedir. **Siber Güvenlik Açığı:** Yüksek iletişim ağlarıyla birbirine bağlı katılımcıların tedarik ve değer zinciri entegrasyonunda dijital üretimin önemine vurgu yapılmaktadır. Bu yönde öne çıkan standartlar ve bilgi teknolojilerinin güvence altına alınması kritik bir konu olarak tarif edilmektedir. Yasal organları ve teknoloji sağlayıcıları doğrudan etkileyen standartları oluşturma konusu, çeşitli kademelerin, makinelerin ve organizasyonların etkileşimini mümkün kılmak için amaçlanmaktadır. Akıllı bağlantıların getirmiş olduğu iş fırsatlarındaki artış, beklenmedik şekilde siber manipülasyonların boyutlarını da genişletecektir. Bu nedenle bilgi teknolojilerindeki güvenliğin sağlanması da o oranda önem kazanmaktadır. Güvenceye alınması beklenen kritik verilerin gizliliğini koruma ve veri zayıflığını engelleme rekabeti güçlendirecek bir olgu olarak öne çıkmaktadır. Bu sebeple işletmelerin faaliyetlerini güvenli şekilde yürütebilmesi için elverişli koşulların sağlanması gerekmektedir. İşletmeler açısından müşterilerin veri gizliliğini sağlama konusundaki hassasiyetleri gittikçe derinleşmektedir. (Ernst ve Frische, 2015, s.26). Buna

benzer sistem ve ögelerinin müdahalelere maruz kalmasına bilhassa ağ bağlantılarının kurulması neden olmaktadır. Bunun gibi tüketicilerin beklenmeyen sonuçlarla karşı karşıya kalması, sistemin dış etkilere açık olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun sonucunda bilgilere istemsiz erişim ve bilgilerin yönlendirilme tehlikesi baş edilmesi gereken sorunlar arasında sayılmaktadır. Sadece bunlarla kalınmayıp teknolojiler de devre dışı bırakılabilmektedir. Bu sebeple ürünlerin manipüle edilerek etkisiz hâle getirilmesi büyük memnuniyetsizliğe yol açabilecektir. (Bendel, 2017, s.166). Bilgi güvenliğinin mücadele ettiği siber suç eylemleri, sektörlerin kritik verilerine ulaşabilmek için yeni yollar araştırmaktadır. Devamlı tehditlere yol açan manipülasyon odaklı yöntemlerin geliştirilmesi ve değişimi, teknolojik gelişmelerden ve sistem içerisindeki farklı eğilimlerden beslenmektedir. Bu müdahaleler birçok kuruluşu ve tedarik zincirlerini felce uğratabilecek yıkıcı siber saldırı niteliği taşımakta olup önlemlerin alınması ise hayati öneme sahip olmaya devam edecektir.

Yedekleme, ağ dışı depolama yöntemleri, iyileştirilen ve güncellenen güvenlik sistemleri bu saldırı eğilimlerine karşı bir engel oluşturabilecektir. Bununla birlikte tedarik süreçlerinin tahribatı dâhil, yaşamın genel akışındaki ticari faaliyetleri ve üretkenliği de doğrudan etkileyecektir. Bu sorunun ele alış şeklinin yeniden düşünülmesi gerekmektedir. Burada sorunun çözümüne yönelik açıklanmak istenen; sorunla sadece bilgi teknolojisi ekipleri, bilgi güvenliği ya da siber savunmayı ilgilendiren güvenlik çevresinin mücadele etmesi gerektiği algısının değişmesi gerektiğidir. Bu değişen koşullar nedeniyle uzaktan çalışma ve sanal öğrenme sorunu derinleşerek bireysel olarak saldırıya açık hâle gelmesine kapı aralamaktadır. İşletmenin büyüklüğü fark etmeksizin her bir bireysel kullanıcı dâhil bu anlamda tehdit altında olmaktadır. Bu yüzden, iş birliği temelinde siber suçlarla mücadele siber savunucular ile bireysel ve kurumsal bütün tarafların katılımını ve mücadelesini zorunlu kılmaktadır. (Manky, 2022, s.27). Siber güvenlik konusu, bu yeni endüstriyel eğilimin başarısını tetikleyen güvenli iletişim ağını garanti altına alabileceği gibi bunun yarattığı siber sorunlar nedeniyle endüstriyel kalkınma sürecini yavaşlatacak birtakım sorunlarla karşı karşıya kalmaya da sebebiyet verecektir. Esasında dijital endüstriyel devrimin doğuşu ve yaygınlaşmasıyla siber güvenlik tehditleri de paralelinde büyümeye devam etmektedir. Günümüzde dijital bileşenlerin uyarlandığı mekanizmalar günden güne yeni siber saldırı tehditleriyle mücadele etmek zorunda kaldığı için işletmelerin ve diğer endüstriyel kuruluşların ilk gündem maddesine elverişli siber güvenliğin sağlanması yerleşecektir. Buna binaen, siber güvenlik sistemlerinin her an yeni

siber saldırılara karşı tehdit altında olduğu bilinciyle ilgili güvenlik mekanizmalarının güncellenebilir ve modernize edilebilir bir yapıya kavuşturulması gerekmektedir. Buna zemin hazırlayan tarafların üretim, hizmet ve tedarik süreçlerini de bu eğilimle dijitalleştirmeyi göze almaları gerektiği açıkça görülmektedir.

3.6.2 Endüstri 4.0 Üzerine Eylem Planlarında Gereklilikler

Almanya gibi gelişmiş ülkelerin söz konusu dijital dönüşüm hareketine liderlik ettiği günümüzde eylem planlarında bahsedilen kritik bileşenlerin önemine atıfta bulunulmasının yerinde olacağı tahmin edilmektedir. Bu geçiş sürecinin zeminini hazırlayan etken faktörlere verilen önem, buna yönelik eğilimlerin değer zincirinde yaratacağı etkiyi de belirleyecektir. Nihayetinde bu faktörler bunu izleyen kurum ve kuruluşların kendi endüstriyel platformlarında bu dönüşüme liderlik etmeleri için temel sağlayacaktır. Hâli hazırda endüstriyel faaliyetler kapsamında karşılaşılan pandemi gibi salgınlar, iklim değişikliğinin yarattığı çevresel tahribatlar, değişen eğilim ve koşullar sürdürülebilirlik açısından birçok riski de beraberinde taşımaktadır. Risklerin belirli bir çerçeveye sıkıştırılan ekonomik nedenleri içermediği günümüzde, dijital dönüşümün öncülüğünü yapabilmenin ekolojik çevreyi koruyan ve sürdüren bir anlayış çerçevesini ortaya koyabilmekte yattığı bilinen bir gerçektir. Bu modern endüstriyel dönüşüme sosyo-teknik açıdan bakıldığında ilgili süreç, sosyal yapıyı düzenleyici koşulları sağlayacak nitelikte olması gerekirken ilgili sürecin yeni ekonomik düzeni sekteye uğratmayacak şekilde riskleri artıran faktörlerle birlikte ele alınması zaruri gözükmektedir. Buna göre sürecin güdüleyici mekanizmalarının tesis edilmesinde yön tayin edici olması beklenmektedir. Küresel gelişmelere bakarak ulusal düzeyde değerlendirdiğimiz endüstriyel yenilenme sürecinin sosyo-ekonomik, sosyo-kültürel bağlamda ortak bir amaca hizmet edilen bir çerçevede ele alınmadığı bilimsel olarak uygulamadaki eksiklerden fark edilmektedir. Genel eğilimin bu yönde seyretmesi ülke çıkarları açısından ek risklerin meydana gelmesinde tetikleyici olurken, yarının yaşanabilir koşullarını sağlayan mekanizmaların kurulması ve politikaların oluşturulması konusundaki aciliyeti de öne çıkarmaktadır. Dolayısıyla bu amaca yönelik bir vizyona sahip olmanın önemini açıkça ortaya koymak elzemdir. Eylem planlarını harekete geçireceği varsayılan mekanizmaların ana çerçevesini belirlerken uygulamanın sonuçlarını öngören bir perspektife sahip olmanın yadsınamaz düzeyde önemli olduğu da bir gerçektir. Aşağıda ifade edilen ve stratejik olduğu varsayılan

kararların dördüncü endüstriyel dönüşüm bağlamında ilgili tarafların kararlarına ve faaliyetlerine yön vereceği ve içgörü sağlayacağı düşünülmektedir.

Almanya Endüstri 4.0 için iki yönlü stratejiyi takip etme çabası içerisinde. Bu yöndeki hazırlık, endüstrileri bilgi teknolojilerini geleneksel öncü teknolojik yaklaşımlarla harmanlayarak dünya pazarında önderliği akıllı üretim teknolojilerinin lider sağlayıcısı olarak kazanmaya teşvik etmektedir. Aynı zamanda siber fiziksel sistem tabanlı teknolojileri ve uygulamaları hesaba katan modern pazarların planlanması ve tanıtılmasında liderliği korumakta önemli gözükmektedir. Siber fiziksel sistemlerin belirtilen ikili hedefi düşünüldüğünde işletmelerin yatay entegrasyon (değer üreten ağlar yardımıyla) ve dikey entegrasyon gibi dengeli bir dijital mühendislik doğrultusunda (değer zincirinin tamamını kapsayıcı) üretim sistemlerinin ağ bağlantılarını kullanması öngörülmektedir. Endüstri 4.0'ın gerçekleştirilmesinde öncü stratejiler üzerine yeterli araştırmaların olmadığı ve yapılması gerektiği ileri sürülmektedir. Öte yandan Endüstri 4.0 etrafında çalışmaların yürütülebilmesi siber fiziksel sistemlerin geliştirilmesine dayanmakta, bunun ise modern sosyal altyapıların olgunluğuna göre de değişkenlik göstereceği öne sürülmektedir. Dolayısıyla endüstriyel süreçler kapsamında politikaların oluşturulması ve kararların etkinliği Endüstri 4.0 çalışma grubunun belirlediği sekiz stratejik eyleme önemle bağlıdır. **Standartlaşma ve Referans Mimarisi:** İşletmeler arasında ağ bağlantıları ve bütünleşmenin sağlanabilmesi katma değerli iletişim ağları sayesinde yapılabilmektedir. O yüzden müşterek çalışmanın başarısı, ortaklaşa hazırlanan standartlarla mümkün olmaktadır. Referans mimarisi ise bunun teknik yönden ifadesidir. Öyle ki bu adımlar, uygulamaların yerine getirilebilmesi için gerekli olarak değerlendirilmektedir. **Karmaşık Sistemlerin Yönetilmesi:** Günden güne ürün ve üretim yapılarında meydana gelen karmaşıklık giderek yoğunlaşmaktadır. Üst kademedeki belirgin karmaşanın çözülebilmesinde planlamanın derinlemesine ele alınması gerekliken tanımsal modellerin oluşturulması ise büyük önem teşkil etmektedir. Buna benzer modelleme tekniklerinin yapılandırılması yerleşik diğer mühendislere çözüm üretme konusunda bir destek sağlayıp farklı araçlar noktasında katkıları olacağı düşünülmektedir. **Endüstri Odaklı Çok Yönlü Geniş Bant Altyapısı:** Endüstri 4.0'a temel sağlayan diğer mekanizmaların yardımıyla hata payı gözetmeyen ve daha fazla amaca hizmet etmesi beklenen ağ kurumları, kaliteli bağlantıların oluşturulması için önemli bir koşuldur. Buna göre farklı ülkelerle iş birliği sayesinde yerel yapılanmanın bant altyapısını kapsamlı şekilde genişletmek beklenen bir gelişmedir. **Güvenlik:** İşletme ve saldırı güvenliğinin

karşılanması, akıllı üretim sistemleriyle ilişkili sorunların üstesinden gelinmesinde kritik bir unsuru teşkil etmektedir. Öte yandan üretim işletmeleri ve faaliyetleri sonucunda elde edilen çıktıların olumsuz ekolojik etkileri zayıflatması beklenmektedir. Bununla beraber çalışanlar üzerinde yaratacağı olumsuzluğun hesaba katıldığı bir çerçevenin ele alınması da ayrıca önem arz etmektedir. Veri ve bilgileri oluştururken etkin sistemler ve çıktılarının korunması temelinde yetkisiz bir erişimin engellenmesi ve muhtemel suistimallerin güvence altına alınması da zaruriyet arz etmektedir. Bunu sağlayabilmenin yolu, ilgili kriterler bağlamında bütünleşik tasarlanan güvenlik mimarilerine, kimlik tanımlanması yoluyla yapılan uygulamalara ve eş zamanlı yaygınlaştırılan eğitime işaret etmektedir.

İşlerin Planlanması ve Düzenlenmesi: Akıllı fabrikadaki iş gücünün sorumlulukları da evrimsel sürece dâhil olmuştur. Denetim ve kontrolün eş zamanlı olarak uygulanmasına eğilimin artması, iş çerçevesini, süreçlerini ve bağlı olduğu ortamı farklılaştırmaktadır. Sosyo-teknik planların yürütülmesiyle tesis edilen kararların işgücüne ilişkin önerileri dikkat çekmektedir. Bu kararlar ışığında bugüne değin alınan bireysel sorumluluğun daha da yoğunlaşması gerektiği ve bu şekilde bireysel gelişim şansını kazanma yolunun açılacağı öne sürülmektedir. Yaşam boyunca kazanılması beklenen becerilerin geliştirilmesini amaçlayan iş planları, referans niteliğindeki projelerde yer almakta ve taraflara yol gösterici bir unsur olarak yardımcı olacağı varsayılmaktadır. **Eğitim ve Öğretim:** Bu kapsamda Endüstri 4.0 yaklaşımıyla iş gücü yeteneklerinde belirgin bir farklılaşma yaşanırken işin görselliğinde de çeşitlenmeye gidilecektir. İşlerin yeniden düzenlenmesi kapsamında yaşam boyu öğrenmeyi ve iyi düzeyde eğitimin alınmasını amaçlayan bu iş modelleri uygun becerileri geliştirme niteliğine sahip olacaktır. Bu bakış açısıyla başarılı uygulama ağlarını ve dijitalleşmeyi güdüleyen yöntem ve proje örnekleri derinlemesine incelenmelidir. **Hukuki Yapı:** Endüstri 4.0 temelinde yasal düzenlemelere uygun modern üretim sistemleri ve yatay eksenli aktif iletişim ağları yasalar ve yeni düzenlemeler gereği gelişime açık olması gerekmektedir. Burada tespit edilen güçlükler, verilerin güvenliğini tesis etme, sorumluluk çerçevesinde değişim, ticari faaliyetleri engelleyici hususlar ve kişisel dataların işlenebilirliği üzerine unsurları içermektedir. Yasama organlarının düzenlemeleri kadar ekonomik faktörlere eğilimin de birincil düzeyde önemine vurgu yapılmaktadır. Bu faktörler esasında işletmelerin yaptıkları ittifakları, denetimleri, talimat esasları ve öz denetimi de içeren elverişli etmenleri içermektedir. **Kaynak Etkinliği:** Maliyetleri yükselen enerji ve hammaddenin üretim süreçlerinde kullanılmasıyla olumsuz etkilenen ekolojik çevre ve tedarik süreçleri başka riskleri de beraberinde taşımaktadır. Endüstri 4.0'ın buradaki katkısı, kaynak üretkenliğini

ve verimliliğini inşa edecek mekanizmaları kurmak olacaktır. Akıllı fabrika şeklinde tabir edilen bu yeni oluşumun sağlayacağı ek kaynağın yararı ile beklenen tahminî tasarruflar arasındaki ödünleşmenin tespit edilmesi gerekmektedir. Endüstri 4.0, gelişimsel bir sürecin tasvir edildiği bir çerçeveye işaret etmektedir. Teknoloji ve tecrübelerle dayalı unsurların bugünün üretim sistemlerine adaptasyonunun modern diyebileceğimiz lokasyon ve pazarlara devrimsel çareler türeteceği varsayılmaktadır. Bu sayede Almanya gibi ülkeler Endüstri 4.0'dan aldığı destekle üretim kapasitesini yerinde koruyabilecek ve uluslararası düzeyde rekabet kabiliyetini artıracaktır. (Kagermann vd., 2013, s.6-7). Bildirilen stratejik kriterler, yaşam boyu öğrenmeyi hedefleyen bir görüşe sahip olmayı gerektirirken kaynakların maksimize edilmesini sağlayan koşul ise ilk aşamada değer zincirindeki tedarikçilerin dâhil olduğu ekonomik ve ekolojik süreçleri de düşünen bir dönüşüm mekanizmasının işletilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Üretim sistemlerini ve iletişim ağlarını modernize ederken yasal açıdan elverişli bir dönüşümü sağlayacak mekanizmaların işletilmesi ise anlamlı bir kriter olarak görülmektedir. İyileştirilen üretim birimleri kapsamında ağ bağlantılarının tekrar yenilenme gerekliliği düşünüldüğünde yasal düzenlemelerin destekleyici yönü göz ardı edilmemelidir. Bu yönden uygulayıcıların ve güdüleyen tarafların aynı motivasyona ve amaca yönelmesi devrimsel gelişimi destekleyecektir.

Endüstri 4.0'a giden yolda yasal uygulamalar ve hibe imkânları, üretime odaklanan işletmelerin sürdürülebilir faaliyetlerini kolaylaştıracak ve destekleyecektir. Ekolojik bilincin gelişmesinde bir teşvik unsuru olarak görülen böylesi destekler, işletmelerin Endüstri 4.0'a karşı oluşturduğu intibayı ve inancı kuvvetlendireceği kesindir. Çalışanları, işletmeleri ve tüketicileri bu doğrultuda aydınlatan ve eğitimler verilmesine öncülük eden karar organlarının ilgili eylemler ve düzenlemeler ile sürdürülebilirliği desteklediği ve belirgin bir bilincin oluşmasında aktif bir rolü üstlendiği belirtilmektedir. (Sharma vd., 2021, s.9). Endüstri 4.0 kapsamında yukarıdaki eylem planları birbirini tamamlayıcı nitelikte olup stratejik hedeflerin gerçekleştirilmesi ve yapılandırılmasında zorunlu temel yapı taşlarını yansıtmaktadır. İlgili stratejik unsurlar arasındaki uyumdan hareketle eylem alanlarının yarattığı fonksiyonel etkiler nedeniyle her bir etken faktörün dönüşüm sürecini olabildiğince eşit düzeyde desteklemesi bir gereklilik değil zorunluluk olarak görülmesi gerekmektedir. Bu çerçevede Endüstri 4.0'a geçiş kolaylaşacak ve süreçten beklenen muhtemel yararların sağlanması ve ardından ülke bazında yaygın hâle gelmesi kurumsal ve ulusal katma değer in yükseltilmesi açısından önemli avantajlar getirecektir.

3.7 Endüstri 4.0'ın Sürdürülebilirliğe Katkısı

Gündem konusu sürdürülebilirlik ise genç neslin bir önceki çağın jenerasyonuna göre konuyla daha fazla ilgili olduğunu söylemek mümkündür. Günümüzdeki işletmelerin var olma sebeplerinden başlayarak toplumsal yarar açısından arz edilen ürün ve hizmetlerin katkılarını belirlemeye kadar farklı düzeyde birçok meselenin tartışıldığını görebilmek de söz konusudur. Bu yöndeki çekişmeler, faaliyetlerin ekolojik ekosisteme yansımalarını içselleştirmekte bunun ilgili oyuncular arasında ne ölçüde ciddiye alındığını da araştırmaktadır. Bu ve benzeri sorgulayıcı nedenler etrafında acaba iş gücünün yarısını düşünülüyor mu? Yeni kuşaklara yönelik etkileri sorgulanıyor mu? gibi temalar üzerine tartışmalar sürdürülmeye devam etmektedir. Buna binaen Aytaman gibi girişimciler değer odaklı faaliyetlerin yeniden hareketlenmesinde baskılayan tarafı temsil eden yeni neslin her yönüyle yeniden şekillenmeye ve yapılanmaya değer direnişlerine dikkat çekmektedir. Tahminen 2000'li yıllarda sürdürülebilirliğin önemli bir itici gücü olan genç kuşağın, yeniden tarifini istediği sürdürülebilirlik değeri, bu akımın devamlılığını sağlamakta, uygulayıcı tarafları ise bu konuyu merceklerine almaya ve ilkelerini yeniden gözden geçirmeye zorlamaktadır. Bunu destekler nitelikte bazı araştırmaların verilerine göre sürdürülebilirliği kritik bir konu olarak gören kesimin %82'lik bir dilimin içinde yer aldığı ancak sadece %42'sinin gündemine dâhil ettiği anlaşılmaktadır. Bu noktada harekete geçenler ise bu oranı daha da düşürmektedir. Diğer bir araştırma olan Bain firmasının bulgularına göz atıldığında, firmaların misyonlarının uygulamaları ile ne düzeyde uyumlu olduğunu gösteren 1993 yılı göstergeleri %85 gibi bir orana işaret etmektedir. 2017'de ise bu oranın %30'a doğru gerilediği tespit edilmiştir. Buradan çıkarılan ana fikir, hızla farklılaşan evrensel değerleri takip etmeye çalışan işletmelerin aynı gelişim hızına sahip olmadıkları ve bu gelişimin gerisinde kaldıklarıdır. (Laleli, 2021, s.28). Durumu değerlendirdiğimizde ilginç bir şekilde bilinçli bir sürdürülebilirlik algısına sahip olmanın büyük bir önem teşkil etmediği, bilakis konuya hâkim ve hazırlıklı olmadıktan sonra istenilen hedeflere ulaşamayacağı sonucuna varılmaktadır. Dolayısıyla böylesi bir tutum olumlu bir algının varlığından öteye gidememekte ve hedeflere yönelik iyi niyetli beklentilerin ötesine de geçememektedir. Stratejik planları eyleme dönüştürme, sürdürülebilirliği tüm önemli bileşenleri ile içselleştirerek adım atılması gerektiğini göstermektedir. Genel kanı ise bu doğrultuda ekonomik göstergelere verilen ağırlığın sosyal ve ekolojik etkileri de hesaba katan bir politik altyapının oluşturulması ihtiyacını

doğurduğu yönündedir. Dahası stratejik kararlar yoluyla proaktif önlemleri de içeren politik gerekliliklerin devreye alınmasının birden fazla nedeni hâli hazırda mevcuttur. Çoğu endüstride olduğu gibi otomotivde de Covid-19 pandemisinin etkisiyle yavaşlayan ekonomik faaliyetler toplumsal ve evrensel sağlık bilincinin oluşmasına zemin hazırlamış bu vesileyle ekolojik ekosistemin sürdürülmesinde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Bugüne değin ekonomik değer odaklı bir bilincin yaygınlaşması sürdürülebilirliği aşındıran bir gerekçe olmuş, sosyal ve ekolojik değerler arasındaki farkı genişleterek işletmelerin sağlayacağı toplam faydanın gerisinde kalmalarına neden olmuştur. Bu belirgin ayrım sürdürülebilirliği gerçek manada sağlayabilmek adına giderilmeye çalışılmaktadır. Bu, daha doğrusu çok yönlü bir perspektifle yola çıkmayı zorunlu hâle getirmektedir. Özellikle de otomotivin üretim ve tedarik süreçlerinde yeşil ve dijital olma yolculuğunu sürdürmek amacıyla bu ikili kombinasyonun gerçekleştirilmesini sağlayan önceliklerin belirlenmesi yeterli olmamaktadır. Bu amaçla işleyen karar mekanizmalarının yapıcı işlevi, potansiyel faydaları beklenen teknolojik yeteneklerin ve iş gücü becerilerinin belirlenmesi ve uyarlanması da hayati bir önem teşkil etmektedir.

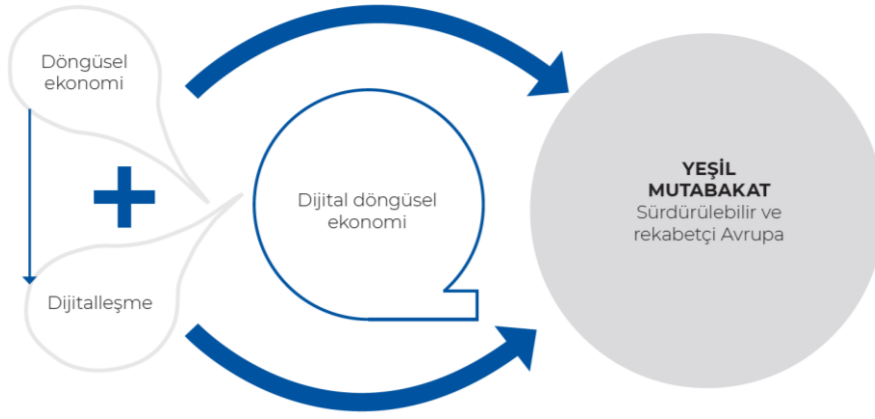
Teknolojik yetenekleri uyarlamayı hedefleyen işletmelerin uzun vadede yatırımın kazanca dönüşeceğini düşünmeleri gerekmektedir. Bu sebeple yatırımın başında birtakım güçlükleri de göze almanın zorunluluğuna dikkat çekilmektedir. Sürdürülebilirlik tek kanalla beslenen uygulamalardan ibaret olmayıp yasal düzenlemeler ve dijital uygulamaların teşviğiyle döngüsel ekonomiye odaklanan bir Endüstri 4.0'ı gerçekleştirmeye yönelmelidir. (Manavalan ve Jayakrishane, 2019, s.484). Dijitalleşme sürdürülebilirlikten uzak bir kavram değildir. Bu iki kavram üretim süreçlerinin her bir değer unsuruna tesir etmesiyle bu ikisinin yollarının kesiştiğine işaret edilmektedir. Esasen dijitalleşme ve sürdürülebilirlik kavramlarının uygulamada buluştuğu noktalara göz atıldığında, tekrar üretim ve dönüşümü gerçekleştirmeye yönelik tasarım ve tersine montaj işlemlerinin yaşam çemberinde yer alması buna bir örnek teşkil etmektedir. Döngüsel ekonomiyi destekleyebilmek adına lojistiğin tersine akışı bağlamında kaynaktan beklenen en yüksek potansiyeli sağlamak için yalın temeline yeşil yönetime öncelik verilmesi gerektiği ifade edilmektedir. Bundan başka sürdürülebilirlik temasının tasarım sürecinde düşünülmesi, üründe olduğu kadar üretim katmanlarında da ortaya çıkabilecek olası zararlı partiküllerin meydana gelmesini engellemektedir. Sürdürülebilirliği en yüksek derece tazmin etmek amacıyla Endüstri 4.0'ın gereklilikleri ancak iyileşen kaynak verimliliği, esneklik ve üretken bir yapıyı destekleyen nitelikte olmak koşuluyla karşılanabilmektedir. Burada tipik

olarak öngörüye dayalı bakım faaliyetleri ile üretim sistemlerinin çevik bir yapıya dönüştürülmesinde büyük veriden yararlanılması örnek verilebilmektedir. Üretim merkezlerinde mevcut yenilenebilir enerji ihtiyacı karşılandıktan sonra düzensiz bir talebin yeniden oluşmasını önlemek gerekmektedir. Bu durumu engelleyebilecek adımlar, artan üretimle beraber atığın ve enerji kullanımının azaltılması şeklinde olabilmektedir. Bundan başka paydaşlar ve hizmetlerin çok yönlü etkileşimini mümkün hâle getirmek amacıyla iş birliğine dayalı makinelerin, ürünlerin ve sistemdeki aktif üyelerin bilişim sistemleri yardımıyla aynı yönde aksiyon alması kritik gözükmektedir. Bu gelişmeler, doğası gereği alışılmış iş düzenini değiştirerek kaliteyi yükseltebilecek, bilgi teknolojilerinin sunduğu temel becerilere yönelen ilgiyle beraber yeni iş kollarını gündeme getirecektir. Endüstriyel gelişim olarak nitelenen Endüstri 4.0, sürdürülebilirliği her yönüyle besleyen değer oluşturulmasında yeni olanakları karakterize etmektedir. Bu karakteristik unsurlar içinde akıllı veriler sayesinde koordine edilen iş modelleri yeniden tasarlanan ürün ve hizmetleri tayin etmektedir. Bu çerçevede tipik olarak endüstriyel simbiyoz aracılığıyla değer sistemleri oluşturulmakta, ürün yaşam döngüleri ise kapalı devre mekanizmalarıyla işletilmektedir. Küçük ve orta ölçekli işletmelere siber fiziksel sistemlerin kurulması dijitalleşme amacıyla atılan belirgin bir adımdır. Bu adım sayesinde oluşturulan siber fiziksel altyapı, bilgi ve iletişim teknolojileri aracılığıyla bir motivasyon oluşturarak çalışanları kapsayıcı senaryoların ve özgün mekanizmaların geliştirilmesine olanak sağlayacaktır. Diğer taraftan kaynak yönetimini iyileştirmeye ilişkin ademimerkeziyetçi düzenlemelere gidilerek sürdürülebilirliğin önü açılmaktadır. Modern teknolojilerden biri olarak tabir edilen eklemeli üretim gibi teknolojiler ise süreçleri yeniden şekillendirmektedir. Tipik özelliklerini sıraladığımız Endüstri 4.0, sürdürülebilirlik prensibiyle beşikten beşiğe sistemlerine ve kapalı devre yaşam döngülerine destek vermektedir. Dolayısıyla sürdürülebilirliği bütün yönleriyle değerlendirebilecek çözüm önerileri, dijital yönden değer sağlayacak nitelikte bir sistemin gelişimine izin verdiği takdirde sürdürülebilirliği tam manasıyla sağlayabileceği öne sürülmektedir. Bu yolda benimsenen çözüm önerileri, sürdürülebilirliği tam manasıyla karşılayamasa da bir ölçüde de olsa sürdürülebilirlik unsurlarının biri üzerinde yaratılan doğrudan etki diğerleri üzerinde de dolaylı şekilde gerçekleşecektir. (Machado vd. 2020, s.1465). İlgili görüşler değerlendirildiğinde, genel endüstriyel sistemlerin dijital mekanizmalarla yenilenmesi ya da yeniden şekillendirilmesinde atılan adımların az ya da çok yeni endüstriyel döneme değer kattığı yönündedir. Mevcut üretim, hizmet ve tedarik süreçlerinin yeni endüstriyel dönemle karşılaşması sebebiyle zorunlu dönüşüm gerçeği ile başa çıkmak isteyenler bu

yöndeki aldıkları önlemleri azımsamayarak ve doğrudan ya da dolaylı etkilerini düşünerek gelişim sürecinde yer almaları anlamlı olacaktır. Esasında Endüstri 4.0'ın sürdürülebilirliği hayata geçirebilmek amacıyla önemli diğer döngüsel yaklaşımlarla bütünleştirilmesi stratejik bir değer ifade etmektedir. Nihayetinde Endüstri 4.0'dan beklentiler yüksek olsa da yapılan planlamalar ve düzenlemeler temelinde asgari düzeydeki uygulamalar dahi kurumsal katkılar ile beraber ulusal değeri de artıracaktır.

3.8 Endüstri 4.0'ın Benimsenmesinin Sürdürülebilir Tedarik Zincirine ve Döngüsel Ekonomiye Etkileri

Endüstri 4.0, endüstriyel düzeyde üretim proseslerine dahil ünitelerin entegre bilgi alışverişine ve elde edilen yüksek katma değerın sağlamasında etkili olan tüm verilere eş zamanlı erişime dayanmaktadır. Endüstri 4.0'ın kapsayıcı ve belirleyici tarifi ise Endüstri 4.0'ın ürünleri ve üretim süreçlerini içeren yaşam döngüsüne ilişkin değer zincirinin tamamının düzenlenmesi ve yönetimi anlamına gelmektedir. Bu kapsamlı yaklaşım ise modern bir düzeyi temsil eden dördüncü sanayi devrimine işaret etmektedir. Kişiselleştirilmiş ürün çeşitliliğine artan ilgiyi ifade eden bu devrimsel dönüşüm, zincirin tüm ögelerini kapsayacak niteliktedir. Düşüncenin doğuşuyla başlayan süreç, ürünün siparişinden geliştirilmesine ve ardından nihai tüketiciye teslimine kadar ürünün geri dönüştürülmesini de içeren hizmetleri göz önünde tutmaktadır. (Pamuk ve Sosyal, 2018, s.4). Döngüsel ekonominin daha çok dijitalleşme ile bağlantıları bulunmaktadır. Döngüsellğe geçişin hızlandırılması büyük ölçüde dijitalleşmeye yapılan yatırımlarla desteklenen uygulamaların hayata geçirilmesine ve alınan önlemlerin yapısal değişikliğe gidebilecek düzeyde olması ile ilgilidir. Söz konusu değişim, bugüne değin alışagelmış tüketim kavramının genel formunu değiştirerek kullanım kavramının anlam kazanmasına yol açarak döngüsel ekonomi ile uyumlu kullanımdan fayda yaratma kavramı değeri kazanmıştır. Tüketim anlayışının değişimi ticari alışkanlıkların bilinen yönüne farklı bir boyut kazandırmaktadır. Döngüsel ekonomiye ivme kazandıracak olan dijitalleşme aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma ile yakından ilintili olup sürdürülebilir hedeflere ulaşılmasında temel yapı taşı olarak görülmektedir.



Şekil 1: “Dijital döngüsel ekonominin yeşil mutabakata etkisi” (TÜSİAD 2021, s. 46)

Diğer yandan döngüsel ekonomi yönüyle dijitalleşme, tasarım, üretim, tüketim, yeniden üretim, atık yönetimi ve geri dönüşüm gibi farklı alanlarda tümüyle yer edindiğinde döngüsel ekonominin ivme kazanacağı varsayılmaktadır. Bu geline nokta, dijital dönüşüm ve döngüsellik kavramının buluştuğu yer olarak da tanımlanmaktadır. Buradaki kesin amaç dijitalleşmeden ziyade sürdürülebilir gelişimi amaçlayan bir dijital dönüşüm odaklanmaktadır. (Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği (TÜSİAD), 2021, s.12). Dijitalleşme, sürdürülebilirliği kendiliğinden gerçekleştirmemekte doğru kullanımı sayesinde döngüsel geçiş için önemli fırsatlar getirmektedir. Dolayısıyla gerçekleştirilmek istenen yalın bir dijitalleştirmeden ibaret olmayıp sürdürülebilir kalkınmaya öncülük eden döngüsel ekonominin bütünsel yönleriyle ele alınan bir düzenleme aracılığıyla döngüsel ekonomiye geçişi hızlandırmaktır. (TÜSİAD, 2021, s.46). Dijitalleşmenin kendi başına bir anlam ifade etmediği açıkça görülmektedir. Diğer bir deyişle bu geçiş sürecinde döngüsellik kavramıyla bütünleştirilmek istenen dijital uygulamaların döngüsel ekonominin tüm ilkeleri ile birlikte düşünülmesi gerektiğidir. Dünden bugüne sürdürülebilirliğin eksik kalan yanlarının tamamlayıcısı olarak tespit edilen döngüsel ekonomi yaklaşımının sosyal ve çevresel katkıları, dijitalleşme çerçevesinde zenginleştirilerek bu sürecin liderlerine rekabet avantajı yaratacağı kesin görülmektedir. Akıllı hâle getirilen ürün, hizmet, üretim ve tedarik süreçleri döngülerini kısaltan bu yaklaşımların etkisi, ortak sinerji ile sağlanan potansiyel getirilerle birlikte kurumsal hedeflere ulaşılmasını kolaylaştırmasıyla ölçülecektir. Dolayısıyla bu gelişim toplum refahının yükseltilmesine de aracılık edecektir.

İlk aşamada Endüstri 4.0'ın doğuşuyla beraber üretim süreçlerini hedef alan bu endüstriyel dönüşüm, akıllı fabrika unsurunun etkinleştiricisi olarak benimsenmektedir. Esasen Endüstri 4.0'ın tasarlanmasındaki gaye, üretim proseslerinin verimliliğini ve etkinliğini artırmaktır. Bu amaçla yürütülen faaliyetleri destekleyen AR-GE çalışmaları tek bir fabrikadan hareketle tedarik zincirinin tamamına uzanan kapsamlı bir vizyona doğru ilerlemektedir. Bu da literatürde bilinen hedeflerin değiştiğini göstermektedir. Dolayısıyla hizmet odaklı olarak algılanan Endüstri 4.0'ın döngüsel ekonomi yaklaşımıyla günden güne biraz daha bağdaştırılma eğilimi fark edilmektedir. Giderek birbiri ile daha çok ilişkilendirilen bu iki akım, Endüstri 4.0'a dayalı literatürde birbirinden bağımsız olarak ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla akıllı fabrika konseptinin akıllı tedarik zinciri konseptine evrildiği sinyalleri verilmektedir. (Zheng vd., 2020, s.22-23). Esasında değişen amaçları temsilen Endüstri 4.0 tabanında oluşturulan akıllı tedarik süreçlerinin hizmete dayalı bir bakış açısını benimsemesi döngüsel ekonomiyi desteklediğinden ileri gelmektedir. Bu reform niteliğindeki endüstriyel dönüşüme odaklanan işletmelerin ilk aşamada müşteri ilişkilerini önemseyen bir yaklaşımla faaliyetlerini yönetmesi, ekolojik sürdürülebilirlikten sağlayacağı çıkarlarla yakından ilişkilidir. Ekolojik ekosisteme sağlanan katkının finansal getirileri değerlendirildiğinde bireylerin taleplere yönelen çözüm önerileri bu misyonla yola çıkanların amaçlarını daha da netleştirmektedir. Döngüsel ekonomi prensipleri ve dördüncü endüstriyel gelişimin ortak hedeflerinden sayılan kaynak verimliliğini sağlama girişimleri, genel finansal düzeyi iyileştireceğinden kurumsal ve toplumsal refaha katkısı ekolojik ve sosyal sürdürülebilirliği de ulusal düzeyde yükseltecektir.

Diğer bir açıdan fabrikaların akıllı ağ bağlantıları üzerinden akıllı, ekonomik ve daha performanslı olabilmesi için sanayi ve internet arasındaki bağlantının ne denli önemli olduğu vurgulanmaktadır. Mevcut iş yapış biçiminin modern teknolojiler vasıtasıyla dönüşüme uğrayacağı açıkça ifade edilmektedir. Dolayısıyla bu dönüşümün sektörel faaliyetleri yansıtan ürün ve malzemelerin dizaynını, ilgili eylemleri ve nakliye gibi operasyonel faaliyetleri değiştirecek nitelikte bir etki yaratacağı ileri sürülmektedir. Diğer taraftan ise Endüstri 4.0'ın üretimde iyileştirmeyi amaçlayan bir misyon vasıtasıyla bütünleşik bir bakış açısına yönelerek teknolojilerin birbirine entegrasyonunu öngördüğü söylenebilmektedir. Siber fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, büyük veri, eklemeli üretim, hizmetlerin internetinin yanı sıra bulut bilişim, artırılmış gerçeklik, sistem entegrasyonu, simülasyon, siber güvenlik ve otonom robotlar Endüstri 4.0'ın diğer gelişmiş teknolojileri arasındadır. Geliştirilen bu modern teknolojik yapılar önemli

teknolojik esasların bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur. Yeni bağlantı teknolojilerinin geliştirilmesi bu dokuz teknolojik esastan kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda dikkate değer perspektifler doğrultusunda bu teknolojiler bağımsız şekilde de uyarlanabilmektedir. Ancak mevcut potansiyellerini belirlemek amacıyla verilerin gerçek zamanlı derlenmesi akıllı üretim operasyonlarını gerçekleştirerek teknoloji tabanlı yeni analizleri gerektirmektedir. Dolayısıyla Endüstri 4.0 ekseninde radyo frekansı tanımlama, siber fiziksel üretim sistemleri, endüstriyel nesnelerin interneti ve veriye dayalı analitiğin üretimde sağladığı üstünlükle beraber farklı avantajları da beraberinde sunduğu ileri sürülmektedir. Üretimdeki artan verimliliğe odaklanan bu teknolojilerin atık oluşturmaya ve çevresel olumsuzluğa neden olan faktörleri de ortadan kaldırma gayreti içerisinde olduğu ve bu sebeple endüstriyel kalkınmayı temiz üretimle harmanlayan yönüne dikkat çekildiği fark edilmektedir. Literatürdeki tespitlere göre sürdürülebilir kalkınma hedeflerini amaç edinen Endüstri 4.0 teknolojilerinin döngüsel ekonomiyi destekleyen tarafıyla birçok soruna çözüm üretebileceği kaydedilmektedir. Daha öncede vurgulanan ve bu kanıyı destekler nitelikte ele alınan Singapur üzerine ilgili araştırmayı incelediğimizde, sıfır atık yönetimini uygulayan ekosistemin büyümesine katkı sağlayan nesnelerin interneti ve iş birliğine dayalı endüstriyel simbiyoz ortamının döngüsel ekonomi ilkelerini kolaylıkla uyarlayabildiği saptanmıştır. Diğer taraftan evrensel anlamda Endüstri 4.0'ın akıllı ağ bağlantılarını ve veri odaklı atık yönetimini harekete geçirmesiyle döngüsel ekonomi faaliyetlerine olan hassasiyetini gösteren örnekler mevcuttur. (Dantas vd., 2021, s.214-222)

Hedeflerine daha az riski üstlenerek hızlı şekilde ulaşmayı amaçlayan işletmeler, stratejik önceliklerini geleceği şekillendiren Endüstri 4.0 ile çevre dostu bir endüstriyel ekosistemin gelişmesini olanaklı hâle getiren döngüsel ekonomiyi bütüncül bir yaklaşımla ele alarak belirlemişlerdir. Akıllı teknolojiler diye tabir ettiğimiz Endüstri 4.0 bileşenlerinin yeri ve önemi, dijitalleştirmeye yapılan yatırımların hız kazanması ile yaygınlaşarak artacaktır. Geleneksel endüstrilerin artan kaynak kullanımı sonucunda üretim faaliyetleri ile büyük maliyetler ortaya çıkmakta, küresel iklim değişikliğinden de anlaşılabileceği üzere ekolojii de olumsuz etkileyen çevresel sonuçları yaşanmaktadır. Endüstriyel ticari faaliyetlerin küresel ölçekte neden olduğu çevresel bozulma artık sürdürülebilir bir ekolojik ekosistemin geleceğe aktarılmasını imkânsız hâle getirmektedir. Mevcut endüstriyel uygulamaların devam etmesiyle küresel ısınmanın yaratacağı genel tahribatın daha da büyük olacağı tahmin edilmektedir. Endüstriyel ve ekolojik çevrede yaşanan bu dönüşüm birçok soruna ortak çözümler getirilmesi gerektiğinin habercisi olmaktadır. Dolayısıyla artan üretim,

hizmet, tedarik maliyetleri ve çevresel riskler, Endüstri 4.0'ın kaynak verimliliği temelinde işlevsel hâle getirdiği dijital ve otonom mekanizmaları harekete geçirmektedir. Bu nedenle dijital ve otonom teknolojiler yardımıyla kaynak üretkenliği ve verimliliği kapsamında işletilen operasyonlar, çevresel etkileri bütünsel olarak değerlendirecek şekilde yürütülmelidir. Bu kapsamda akıllı ürün, hizmet ve süreçleri çevreleyen yaşam döngülerinin planlanması ve uygulanması esasında çevresel etkilerin derinlemesine değerlendirilmesi kaynak tasarrufunu sağlayacağı gibi ekolojik devamlılığa da katkı sağlayacaktır.

Döngüsel uygulamalar ile Endüstri 4.0 girişimlerinin bütünsel ele alınmasıyla oluşacak olası etkileri ürün tasarımından üretim ve tedarik sürecinin tüm aşamalarına kadar çok yönlü görebilmek mümkündür. Bu anlamda verilecek diğer örneklerde ortak kavramsal etkinin tespitinde yararlı olacaktır. İlaç sanayisi modern teknolojileri kullanarak devreye aldığı seri üretim aracılığıyla sera gazı emisyonlarını, enerji ve su tüketimini büyük ölçüde önleyerek yan ürün ve hammaddeyi daha da iyi yönetebildiğine işaret etmektedir. Bu sektörün üreticileri uyarlanan teknolojiler yardımıyla çevresel faaliyetlere duyarlı tedarikçileri belirleyerek yaptığı ölçümlerle ürün yaşam döngüsünü kaynağından izleyebilmektedir. (Ding, 2018, s.123-124). Dijital uygulamalar üzerine Kaslowski ise ülkelerin dijitalleşmeye verdiği önemin rekabet düzeyinin belirlenmesinde önemli bir etken olduğunu vurgulamaktadır. İçinde yüksek bir potansiyeli barındıran bu teknolojilerin işletilmesi için eğitimde ayrıcalığı sağlama, gerekli insan kaynağının sürdürülmesi ve geniş altyapının desteklenmesi gibi faktörler üzerinde durulmaktadır. Bununla birlikte teknolojik uygulamaların güçlendirilmesinin ise büyük ölçüde KOBİ'lerin sübvans edilmesine bağlı olduğu ileri sürülmektedir. Bilhassa üretim süreçlerinde verimliliğin iyileştirilmesi ve bununla beraber iklimde yaşanan bozulmalara karşı koyma çabalarının yeni nesil teknolojilerin değerini ortaya koyduğu ileri sürülmektedir. Burada Avrupa Birliği'nin sıfır karbon uygulayan kıta olma sürecinde öncelik verdiği Yeşil Mutabakat İkiz Dönüşümü stratejik kalkınma hedefi olarak belirlemiştir. Dijital teknolojilerin global karbon salınımını %15'e kadar azalttığı Dünya Ekonomik Forumu'nun araştırmalarında yer almaktadır. (Kaslowski ve Sevim, 2022, s.48). Dijital ve yeşil uygulamaların kombinasyonuna olan ilgi esasında finansal olmayan risklerin ne kadar iyi yönetilmesi gerektiği konusuna dikkatleri çekmektedir. Bu ikili yaklaşımın kısa, orta ya da uzun vadeli çıkarlara ulaşılmasında etkin olabilmesi için mevcut üretim ve tedarik mekanizmalarının yeniden tarif edilmesini kolaylaştıran özgün planlamaların yapılmasını gerektirdiği açıktır. İklim değişikliği ile

mücadele çerçevesinde sürdürülebilirliği hedefleyen endüstriyel sektörlerin yatırımcıları, çevresel ve sosyal faydayı yaratan tedbirlere eğilirken bu yararın elde edilmesinde otonom teknolojilerin geliştirildiği ve devreye alınmasını olanaklı hâle getiren AR-GE çalışmalarına ya da dış hizmet alımına önem vermeleri gerektiği ayrıca ciddiylet üzerinde durulması gereken diğer bir konudur.

3.9 Otomotiv Sektörü ve Bilgi Teknolojileri ile İlişkisi

Otomotiv sanayinde iş birliğini geliştiren küresel etkenler, rekabet koşullarının etkisiyle birleşerek tedarik ağlarındaki bağlantıların güçlenmesine neden olmaktadır. Küresel faaliyet gösteren otomotiv sektörü, değer zinciri boyunca tedarik ağı ile oluşturduğu iş birlikleri sayesinde planlama aşamasından üretime kadar ilgili paydaşlarla faaliyetlerini sürdürmektedir. Otomotiv sektörünün zamanla daha popüler hâle gelen bilgi teknolojisi sağlayıcılarıyla yapılan iş birliklerine bilhassa daha fazla eğilmesi gerekmektedir. Teknolojik gelişmelerden ötürü araçlarda kullanılan yeni uygulamalar sebebiyle otomotiv sektörünün ilgili kapasiteyi genişletmesi teşvik edilmekte aksi takdirde gerekli koşulları sağlayamamanın yarattığı gerileme ise ithalata olan talebi artırarak bir risk teşkil edeceği tahmin edilmektedir. Uluslararası faaliyet gösteren otomotiv sanayisinin üyeleri, küresel düzlemde oluşturduğu iş birlikleri aracılığıyla muhtemelen en gelişmiş teknolojik imkânlarla erişme olanağını kolaylıkla bulabilmektedir. (On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023), s.44)

3.9.1 Otomotiv Sektöründe Bilgi, İletişim Teknolojileri ve İnovasyon ile Dijital Dönüşüm

Pandemi, dijitalleşmeye olan gereksinimi bir kez daha ön plana çıkarmaktadır. Bu sürecin doğal bir sonucu olarak pek çok sektörde olduğu gibi otomotiv sektöründe de dijitalleşmenin devreye alınması, önlemlerin alınması noktasında gündem konusu haline gelmiştir. KPMG (Klynveld Peat Marwick Goerdeler) Akademi'nin bildirimine göre, mobil olma gereksiniminden kaynaklı proseslerde beklenen değişimin gerçekleşmesi, bilgi ve iletişim teknolojileri ile otomotiv sektörünün yakın iş birliğine bağlı olduğu yönündedir. Bilhassa blok zinciri, nesnelerin interneti, mikro şebekeler gibi önemli teknolojik

gelişmeler otomotiv sektörünün faaliyet alanında hızlı bir değişim yaratırken bu gelişmelerin enerji alanında da yeni bir reformun habercisi olacağı öngörülmektedir. (Alkış, 2021, s.169). Salgınların etkisi ile yaşanan ekonomik kayıplar ve belirsizlik içinde ilerleyen süreç, lokomotif sektörlerin ileriye dönük dijital olma planlarını daha da hızlandırmaları gerektiği yönünde teşvik edicidir. Ekonomik yönden yıkıcı sonuçları olan pandemi sebebiyle faaliyetlerin ve süreçlerin ağ bağlantıları üzerinden yönetilmesi ve yürütülmesi gerekliliği, dijital olma yolunda oluşturulmak istenen iş birlikçi ağların güçlendirilmesine zemin hazırlamıştır. Dolayısıyla endüstriyel faaliyetleri destekleyici teknolojik inovasyon ile bilişim teknolojilerinin geliştirdiği dijital uygulamalar, Endüstri 4.0'ın işletme ve tedarik süreçlerine adaptasyonunu kolaylaştırarak organizasyonların daha çevik ve uyarlanabilir bir yapıya kavuşmasına neden olmaktadır. Otomotiv endüstrisinin her değişen bireysel ya da kurumsal gereksinimi en optimal düzeyde içselleştirerek gerekli koşulları sağlayabilmesi ve bu doğrultuda alınan tedbirleri uygulayıp kendi bünyesine ve ilişkili olduğu süreçlere uyarlayabilmesi bütünüyle daha kolay dönüştürülebilir esnek bir yapıya sahip olmasına dayanmaktadır.

Ana konsept çerçevesinde modern bilgi ve iletişim teknolojilerinin bugün bir değişime neden olabileceği gibi zaman içinde gösterdiği teknolojik gelişimle beraber yarının üretim sistemlerine de uygulanabileceğine işaret edilmektedir. Teknolojik gelişmeler nezdinde bilgi ve iletişim teknolojilerinin geldiği düzeyi tarif eden dayanıklı ve elverişli sensörler ve aktüatörler, sistem içerisinde şimdiden yerini almaya başlamıştır. Verilerin gerçek zamanlı tespit edilerek derlenmesi sayesinde yoğun kullanımı öngörülmektedir. Akıllı hâle gelen ürünlerin sistemlere uyarlanması ve ikili strateji diye tabir edilen şekliyle üretimde konumlandırılmasıyla muhtemel yansımalarının açığa çıkacağı umulmaktadır. Ağ bağlantısı aracılığıyla birbirine bağlanan makinelerin, ürünlerin ve konteynerlerin ekonomik yararının yanında sürenin etkin kullanımıyla da yapıcı sonuçlarının olacağı varsayılmaktadır. Şüphesiz bu çerçevede dijital faktörler ve bilgi teknolojilerinden sağlanan güç sayesinde yarının ürünlerinden elde edilecek potansiyel faydalar ve ekonomik kazanımların mümkün olacağı vurgulanmaktadır. Günümüzde bilgi teknolojileri etrafında değerlendirilen bulut bilişim gibi teknolojiler akıllı ağ bağlantıları şeklinde tarif edilmektedir. Bağımsız şekilde işlemesi olanaklı hâle gelen nesneler ise ağ kurulumu aracılığıyla birbirine dengeli şekilde bağlanmaktadır. Bunun kapsamı ise gömülü sistemler içinde değerlendirilmektedir. Siber fiziksel sistemleri de içine alan bu gelişim, fiziksel ve sanal dünyanın buluşmasını konu edinen bir bütünleşmeye dikkati çekmektedir. Bu bakış

açısı, sipariş gibi işlemlerin dahi otonom şekilde işlediği değer zincirinin tamamını etkileyen bir süreci tasvir etmektedir. Bu yönde ikili strateji olarak tanımlanan ögeler arasında yatay entegrasyon belirtilirken bu kapsamda ağ bağlantısı yoluyla firmalar arasındaki bağın ve değer zincirlerinin güçlendirilmesi söz konusudur. Diğerleri ise uçtan uca mühendisliğin gerçekleştiği dijital süreçlerin tüm değer zinciri nezdinde ürünü ve üretim döngüsünü etkilediğinden bahsedilmektedir. Bununla beraber bu stratejiler, dikey entegrasyonu da merkezine dâhil ederek yeniden tasarlanmaya elverişli esnek üretim düzeneğinin hazırlanmasını ve uyarlanmasını ele almaktadır. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin üretim sistemleri dışındaki süreçlere elverişli bir entegrasyonu ise arıza ve bilgi güvenliğini sağlayabilmekte dayanıklılık ve gerçek zamanlı olma yetisiyle de ek faydalar getirebilmektedir. Gömülü sistemlerin uygulama çevresi, daha çok aracısız etkisini görebileceğimiz bütün mekânlar için geçerli olmaktadır. Otomotiv endüstrisinin faaliyet alanının kapsamını düşündüğümüzde, bu ve buna benzer sistemlerin yaygın kullanımını tahmin etmek güç değildir. Özellikle şimdiki araçların 100'e yakın veri kullanımını baz alan karşılıklı olarak iletişim sağladığı gömülü ağ sistemleri mevcuttur. Bunlar aracılığıyla söz konusu veriler değerlendirilerek harekete geçilmekte ve gerekli işlemler gerçekleştirilmektedir. (Hung Vo, 2016, s.29-33). Endüstriyel sistemler, takibi giderek zorlaşan güçlükler nedeniyle devamlı olarak yinelenen bir değişim içindedir. Bu yöndeki trend, yüksek katma değerli stratejileriyle öne çıkan otomotiv sektöründe yaşanmaktadır. Artık inovasyonun giderek kısalan döngülere sahip olması sebebiyle ürün yaşam döngülerinde belirgin bir gerileme mevcut olduğundan geliştirme ve planlama faaliyetlerinin daha iyi yönetilmesi önemli bir çabayı gerektirmektedir. Bundan dolayı üretim sistemlerini içine dâhil eden tesislerin ve fabrikaların operasyon sürelerini kısaltmak ve taleplere cevap verebilmek amacıyla dengeli ve hızlı üretim süreçlerini sağlamak gerekmektedir. Bu sebeple dinamik bir dönüşüme ayak uydurması beklenen malzeme ve bilgi alışverişi dâhil olmak üzere üretim ve tesis düzeneğine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun gibi çok yönlü ihtiyaçlara binaen, planlama ayağının süreçleri şeffaflaştırması önemliyken iş hareketini düzenleyen ağ bağlantılarının dışsal bir destekle temin edilmesi de ayrıca kritik düzeyde görülmektedir. Modern fabrikaların doğru şekilde planlanması ve yarına hazırlanması için üretim merkezlerini esnek bir düzeye getirme ve kurulan ağ bağlantıları sayesinde gerçek entegrasyonu hayata geçirebilme önemli sayılmaktadır. Devamlı gelişim içinde olan dijital fabrikalar, farklı endüstri kollarında ve projelerde başarılı uygulama örneklerine tanıklık etmektedir. Dijital fabrika çerçevesinde mevzu yeni yöntemleri tanımlamak değil, var olan süreçlerin ve aynı değerde görülen kaynakların verimli

bağlantılarının kurulması esas teşkil etmektedir. Dijital yolla çareler üreten ağ bağlantıları nedeniyle dijital fabrika bakımından tarif edilen metotlar ve unsurlar şu andakinden daha fazla onaylanarak etki kapsamının zamanla daha geniş bir alana yayılacağı tahmin edilmektedir. Bu gelişim, yüksek potansiyele gebe diyebileceğimiz ağ bağlantıları ekseninde işlerken, güçlükleriyle gelen istikrarlı bir planlamanın yürütülmesi ise değerlendirilmesi gereken diğer bir kritik konu olarak öne çıkmaktadır. (Dombrowski vd., 2017, s.169). Ülkemizde lokomotif bir sektör olarak algılanan otomotiv sektörü, sağladığı katma değer açısından Endüstri 4.0 gerçeği ile daha hızlı yüzleşmesi gerekmektedir. Bu arka planda, dinamik talep yapısı ise kendisini hızla yineleyen endüstriyel süreçler sayesinde karşılanabilecektir. İnovatif çözümlerin hızla aşınması sebebiyle AR-GE yatırımlarına yapılan artı bir yatırım inovasyon döngüsü içerisinde yerini kaybetmeden faaliyetlerin etkin sürdürülmesine yol açacaktır. İşletmeler, ürün ve hizmet etrafındaki inovasyon döngülerinin kısalması sebebiyle faaliyet sürelerini azaltmak amacıyla daha esnek ve çevik ağ bağlantılı üretim sistemlerini kurmayı önemli bir adım olarak algılamaktadır. Esnek ve daha şeffaf bir sistemin inşası üzerine yapılan planlamadan malzeme ve bilgi akışını optimize eden dijital süreç akışına kadar mevcut sistemin daha verimli işlenmesini olanaklı hâle getiren ağ bağlantılarının yapılandırılması, bu dijital hareketin bel kemiği olarak tarif edilmektedir.

Günümüzde en çok tartışılan konular arasında, akıllı fabrika ve dijitalleşme yer almaktadır. Bildiriler, genellikle otomotiv endüstrisi ve makine mühendisliği alanında faaliyet gösteren işletmeleri kapsadığı gibi yazılım sektöründekileri ve hızla yükselen yeni girişimleri de içine dahil etmektedir. Modern işletme kalıplarının uyarlanmasıyla iş yaşamının yeni bir boyut kazanması akıllara teknoloji yoğun uygulamalarla robotik sistemlerin devreye alınmasını getirmektedir. Bu gelişimle bağlantılı iş birliğine dayalı ortak iş modelleri de tarif edilmektedir. Bunlar bu sürecin başlangıcında gözlemlenen gelişmelerdir. Yarın için tasarlanan dijital öneriler, ürünler ya da hizmetler şu an itibarıyla her ortamda karşılaşılabilecek düzeyde olup bunların tahminen iki ya da üç yılı alacak bir zaman zarfı içerisinde pazara sunulacağı varsayılmaktadır. Tam da bu zamanda, en iyi hizmeti sunanlar tarafından piyasanın pay edileceğini söylemek yanlış olmayacaktır. Büyük çaplı yapılan bir çalışmaya göre otomotiv ve makine mühendisliği sektörlerini köklü bir değişime sürükleyecek faaliyetlerden bahsedilmektedir. Bu çalışma doğrultusunda ilgili sektörlerin üretim merkezlerinin birçoğunun ağ bağlantıları aracılığıyla birbirine entegre edileceği ileri sürülmektedir. Bu yöndeki çabanın ise mühendislik firmalarının platformlar oluşturması

vasıtasıyla gerçekleşeceği öne sürülmektedir. Buna göre makine düzeneklerinde kurulan ağ bağlantıları yordamıyla bilgi teknolojileri ile iletişim sağlanması ve bulut teknolojileri sayesinde kestirimci bakıma benzer sistemlerin birleştirilmesi zorunlu tutulmaktadır. Bu çerçevede bugüne değin makine olgusuna verilen önem değerini yitirerek bunun yerine dijital fabrika olgusu önemli bir ürün olarak öne çıkmıştır. Dijital olma yetisi kendi başına oluşan bir değer olmanın ötesinde ortaklık neticesinde de oluşan bir beceridir. Buradan çıkarılacak temel içgörü, ilk aşamada dijital olgunluğun sağlanması gerektiği gerçeğidir. Bununla ilgili, seçenekleri geniş birçok yolun olduğu da ifade edilmektedir. Dijital olarak kendini daha güçlü bir konuma getirmek isteyen firmalar dijital işletmeleri kendi bünyelerine katmalarının yanı sıra ortak girişimler sayesinde de bu yetkinlikleri kazanabilmektedirler. Organizasyon yapısı ve kültürünün bir değişime uğrayarak yeniden düzenlenmesi bu dönüşümün önemli bir koşulu olarak tarif edilmektedir. Birimler arası uyum ve bütünleşmenin ise ilgili dönüşüm projelerinin yönünü belirleyeceği açıktır. Genel bir dijital dönüşüm planlaması çerçevesinde tasarım ve uygulamanın gerçekleşmesi, dijital dönüşümün başarısı için gerekli tüm unsurları içermesine bağlıdır. Bu unsurlar arasında Endüstri 4.0 stratejilerini belirleme ne kadar önemliyse işbirlikçi ağların oluşturulması da yenilikçi dijital çözümlerin hayata geçirilmesinde o denli etkili olacaktır. (Paxian, 2017, s.30-31). Tek başına çıkılan bir dijital dönüşüm yolculuğunda ilgili projenin hedefine ulaşmasının imkânsız ya da başarısız olacağı varsayımları ileri sürülmektedir. Bu yönde başarıyı belirleyecek etmene işaret edilerek dijital şirketlerin deneyimleri ve yetkinliklerine ulaşılmasını kolaylaştıran satın alımlara ya da ortaklık gibi birleşmelere yönelmenin önemi üzerinde durulmaktadır. Alternatif yollardan biri olarak dijital uzmanlığa başvurulması önemli bir seçenek olarak süreci hızlandırırken, buna karşın dijital dönüşüm sürecinde yalnız atılan adımlarla yol alınamayacağına işaret edilmektedir. Dijital dönüşüm projesi kapsamında bilgi ve iletişim teknolojilerinin sunduğu yetkinlikler, organizasyon üyeleri tarafından içselleştirildiğinde ya da organizasyon kültüründe köklü bir değişime neden olduğunda başarılı olacağı varsayılmaktadır. Dolayısıyla ulaşılan temel içgörü, dâhilî üyelerin sisteme entegrasyonu ve dönüşüm projesine uyumu neticesinde dışsal yolla dijital yetkinlikler edinilebilmekte ya da bütünleşme ile yol alınabilmektedir. Dijital dönüşüm için elverişli faktörler, planlama sürecinden tasarım ve uygulamaya değin birçok aşamaya nüfuz etmektedir. Bu faktörler, dijital dönüşüm stratejisine bağlı olarak geliştirilmekte, ortak ağ bağlantılarının belirlenmesiyle de dijital yetkinlikleri şekillendirmektedir.

3.9.2 Otomotiv Sektöründe Lojistik 4.0 ile İletişim Ağında Yeniden Yapılanma Süreci

Avantajları ile gelen dijital teknolojiler, planlamanın ve yaklaşımların ihtiyaçlara yönelik daha iyi yönetilmesi için devreye alınmakta, müşteri gereksinimlerinin net şekilde saptanmasıyla da daha başarılı süreçlerin oluşturulmasına dayanmaktadır. Büyük veri analitiği gibi uygulamalar, üretici için gerçek zamanlı verileri derleyerek yeni bilginin tanımlanmasına zemin hazırlarken zaman kavramının gözetilmediği bu akış karar süreçlerinin işleyişini de hızlandırmaktadır. Bilakis nesnelerin interneti ve büyük veri kullanımı tedarik zinciri süreçlerinin verimli yönetimine katkı sağlamaktadır. Bu akışı açıklamak gerekirse, parça gereksinimi ile ilgili üretim merkezlerinde ya da hâlihazırda bir depoda bulunması gereken bileşen miktarı bakımından doğru öngörülerde bulunmak daha da kolaylaşmaktadır. Konu, sadece üretim tarafını bağlayan lojistik faaliyetlerini kapsamayarak müşteri tercihlerine bağlı araç modelleri ya da ilave bileşen ihtiyacı da beraberinde açıklanabilmektedir. Bu artı avantajların getirisi sayesinde tedarik süreçlerinde sağlanacak fayda bir yana lojistik faaliyetler ile gelecek olan tasarruf da temin edilecektir. Esasında bu faydaların temel dayanağı, üretim planlamasının verimli şekilde gerçekleşmesiyle birden fazla alanda etkinliğin sağlanması anlamına gelmektedir. Dijital imkânlarla olabildiğince şeffaflaşan tedarik süreçleri, üreticilerin müdahalesini kolaylaştıran erken uyarı mekanizmaları ile risklerin öncesinden saptanmasını olanaklı hâle getirmektedir. Otomobil üreticileri açısından çok kanallı bir anlayışı getiren dijital olanaklar, artan müşteri etkileşimini sağlayarak geniş veri yelpazesi sayesinde bireysel müşteri bilgisine ulaşılmasıyla ilgili sektörün daha odaklı bir yaklaşım geliştirmesine imkân verecektir. Bu bağlamda müşteriler tercih ettiği önerilere ulaşırken, ürün sahipleri ise markaya bağlı uzun vadeli ilişkileri pekiştirmektedir. (Wallmüller, 2017, s.85-86). Dijitalleşme otomotiv sektöründe üretim tercihlerinin müşteri yönlü gelişmesine olanak vermektedir. Ürünleri sunanlarla bunu satın alanları anlık buluşturan dijital platformlar, karşılıklı bir kazanımı da öngörmektedir. Otomotiv sektörünün tercih odaklı önerileri, müşteri ilişkilerini daha da güçlendirmektedir. Veri yığınlarını anlamlı bilgilere dönüştüren büyük veri ya da verilerin anlık kaydedilmesini ve aktarılmasını olanaklı hâle getiren nesnelerin interneti gibi teknolojik ürünler, tedarik zinciri boyunca bütün lojistik sistemlerin aşamalarını da içerebilecek dijital yetkinliğe sahip olmaktadır. Otomotiv sektörünün altyapısını kurduğu dijital olanaklar sebebiyle ilgili sektör, tedarik zincirini tedarik ağına dönüştürdüğü takdirde tedarik zinciri yönetiminin sürdürülebilirliğini sağlayacaktır.

Endüstri 4.0 çerçevesinde lojistiğin rolü, endüstriyel gelişimine bağlı olarak önemini korumaya devam etmektedir. Lojistik faaliyetleri içerdiği fonksiyonel katkı sebebiyle dünden bugüne aynı değerde varlığını sürdürmektedir. Lojistik, kendisini kapsayan temel işlevler bağlamında herhangi bir emtianın uygun miktar, kalite ve maliyette doğru kişiye elverişli kabul edilen süre içerisinde hedeflenen konuma ulaştırılması sorumluluğunu yüklenmektedir. Bu kavramsal arka planda lojistik 4.0'ın yeni geliştirilen modern teknolojilere yöneldiğini söylemek mümkündür. Bu odaklanmanın temel lojistik fonksiyonların esnekliğe dayalı dağıtım güvenilirliğinin temin edilmesinde kalite, hizmet düzeyinin iyileştirilmesinde ve yeteneklerin geliştirilmesinde faydalı olacağı öngörülmektedir. Bunun gerçekleşmesi ise lojistiğe dair malzeme ve bilgi değış tokuşunu düzenleyen stratejilerin geliştirilmesine ve yönetilmesine dayanmaktadır. Lojistik faaliyetlerin tüm aşamalarını bütünüyle iyileştirmeyi hedefleyen doğru dijital uygulamaların saptanması da ayrıca önem arz etmektedir. Buna yönelik çözümler dâhili olmamakla birlikte endüstri kolları arasındaki süreçleri de kapsaması gerekmektedir. Şüphesiz hammaddeyi temin eden firmaların malzeme ve bilgi değış tokuşunu daha iyi bir düzeye getirip koordine edebilmesi yeni yaklaşımlara bağlı olmaktadır. Esasında bu motivasyon, değır zincirinin zamanla içine sürüklendiğı karmaşıklık nedeniyle ve de değır ağlarının günden güne daha fazla küreselleşmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Mekanikleşme ve otomasyon üzerine uygulamaları içeren lojistiğin bugüne kadarki faaliyetleri, 4.0 çerçevesinde teknik yönden tekrar tanımlanmaktadır. Dijital ve sanal olmayı amaçlayan bu yapı, malzeme transferini gerçekleştiren araç ve gereçleri içerdiği gibi akış sistemlerini de dönüştürmeyi hedeflemektedir. Sonuç itibarıyla “Lojistik 4.0”, bilişsel lojistik adımları etkin hâle getirmeyi hedefleme ve akla dayalı öğrenmeyi güdüleyen lojistik sistemlerin geliştirilmesi ile karar süreçlerini etkileme amacıyla kurulmalıdır. (Lieberoth-Leden vd., 2017, s.451-452). Görüldüğü kadarıyla Endüstri 4.0 üzerine gelişim gösterme arzusu, aynı doğrultuda lojistik sistemlerini de hesaba katmayı gerektirmektedir. İşletme fonksiyonları içinde önemli bir yere sahip olan lojistik uygulamalar, küresel düzeydeki dijital olanakları, lojistik süreçleri optimize etmek amacıyla değırlendirmesi gerekmektedir. Endüstriyel faaliyetler içinde kritik bir öneme sahip olan lojistik çabalar, dijitalleşmenin getireceğı avantajları sağlayabilmek adına bu süreci etkinleştirebilmenin yollarını araması lazımdır. Küreselleşmenin bir itici gücü olarak lojistik sistemlerin daha verimli olması değır zincirine bağlı tüm ağların dijitalleşmesi ile mümkün olacağı gibi gerekli Endüstri 4.0 bileşenlerinin belirlenerek hayata geçirilmesi ise Lojistik 4.0'ın başarısını da tetikleyecektir.

Endüstri çevreleri tarafından sürdürülebilirlik temel alındığında sosyal ve ekolojik etkileri önemseyen bir yönetimin geliştiğini ve yeni bir trendin oluştuğunu söylemek mümkündür. İşletmeler, kendi inisiyatiflerinin bir gereği olarak ekonomik boyutu sosyal ve çevresel faktörlerle bütünleştirdiği takdirde yaşamını sürdürebilmektedir. İşletme faaliyetlerine ilişkin sürdürülebilirlik odağında lojistik süreçlerinin yeniden inşa edilmesi beklenmektedir. Lojistik sistemlerin daha sürdürülebilir olmasını sağlayan dijital uygulamalar ise ayrıca hedeflenen bütüncül başarının sağlanmasına da değer sağlayacaktır. Bu dijital bileşenler arasında büyük veri ve nesnelerin interneti gibi çeşitli teknolojiler yer almaktadır. Bunun yanı sıra, akıllı fabrika olarak nitelenen dijital yapı farklı dijital değer yaklaşımlarına öncülük etmektedir. Lojistik 4.0 kavramı, daha çok lojistik sistemlerini merkezine alan Endüstri 4.0 bileşenlerine yönelmektedir. Bu kavram, ihtiyaca binaen özelleştirilen müşteri gereksinimlerinin artı bir çabayı gerektirmeden karşılanmasına olanak veren sürdürülebilir lojistik sistemlerini ifade etmektedir. Dolayısıyla bilinen yöntemleri yeniden tanımlayan Lojistik 4.0, ağ bağlantılı depo sistemlerini, otomatik işleyen lojistik sistemleri ve ademimerkeziyetçi bir denetimin gerçekleştiği siber fiziksel altyapıyı kullanmaktadır. Nesnelerin internetinin buradaki rolü, talep kapsamına konu olan malzemelerin değerlendirilmesi adına otonom lojistik sistemlerin anlık veriyi görünür hâle getirmesi için nesnelerin entegrasyonunu gerçekleştirmektir. Diğer taraftan lojistiğin operasyon alanlarında kullanılan büyük veri, aynı zamanda küresel nitelik kazanan tedarik süreçlerine de uyarlanarak bu sayede değişken talep ve maliyet yapısı daha da iyi denetlenebilmektedir. Bu görünür katkı, ilgili süreçlerin şeffaf hâle gelmesi ve daha da esnekleşen süreçlerle açıklanırken yüksek entegrasyona da ışık tutmaktadır. Bu gelişmelere karşın, Endüstri 4.0 üzerine süregelen tereddütler sebebiyle iş kapsamında yapılan planların faaliyete dönüştürülmesine ilişkin istikrarın sağlanması amacıyla destekleyici araçlar geliştirilmeye çalışılmaktadır. Öyle ki Endüstri 4.0'ı hayata geçirmeye gönüllü işletmeler yararlanca, lojistik başta olmak üzere üretimden tedarik süreçlerinin yönetimine kadar birçok alanı kapsayan yaklaşımları tanımlama gerekliliği mevcut olan teori ve ampirik temelli araştırmalara daha fazla ağırlık verilmesi ile karşılanabilecektir. (Facchini vd., 2020, s.1-3) İlgili makale doğrultusunda lojistik süreçlerinde dijitalleşmeyi amaçlayan iki firma belirlenmiştir. Bunların tercih edilmesinin sebebi lojistiği dijital anlamda dönüştürebilen Endüstri 4.0 bileşenlerini kullanmalarıdır. Firmalardan birisi, bir otomotiv firması olarak yıllık 100.000 aracı piyasa sürebilen yetkinlikte bir üretim hacmine sahiptir. Uluslararası faaliyet gösteren bu şirket iki farklı alana bulut sistemlerini entegre ederek araç ve dijital hizmetler birincil düzeyde olmak üzere üretim ve lojistik sistemlerini bu

dijital gelişime dâhil etmektedir. (Facchini vd., 2020, s.7). Sürdürülebilirlik, kilit bir faktör niteliğinde her yeni gelişim ve dönüşüm sürecinde yüzleşilmesi gereken temel bir potansiyel olarak öne çıkmaktadır. Lojistik sistemlerin dijitalleştirme etkinliği sayesinde yaratılacak değer, işletmeyi temelden etkileyecek bir katkının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Dinamik küresel koşullar nedeniyle gelişen belirsizlik yeni üretim yöntemlerini geliştirme çabalarını tetiklemektedir. Üretim süreçlerini iyileştirme gayreti ile başlayan süreç, lojistik sistemlerini kapsayan tedarik süreçlerini de içine dâhil ederek geniş bir alana yayılmaktadır. Tedarik zincirinin dijital tedarik ağına dönüştürülmesinde etkin olan teknolojik ürünler, lojistik sistemlerin iyileştirilmesinde de öncü uygulamalar olarak tercih konusu olmaktadır. Bu tespit Lojistik 4.0'ın elverişli Endüstri 4.0 bileşenlerine eğilmesi gerekliliği ile açıklanmaktadır. Tedarik ağının lojistik süreçleri, dijital teknolojiler ile şeffaflaşarak tutarlı bir güncellemeye imkân vermesi, esnek tabanlı lojistik ağların oluşumuna değer katarken her daim iyileştirilmesine ve yeniden yapılanmasına fırsat verecektir.

Bu konu kapsamında otomobil üreticilerine yön veren eylem önerilerinin lojistik bağlamda değerlendirilmesi gerekliliği açıktır. Bu bağlamda, lojistiği kapsayan verilerin kalitesi incelendiğinde, verilerin tutarlılığına ilişkin aşırı veriyi ortadan kaldırarak iyileştirilme çabasına girilmesi gerekmektedir. Malzeme akışının koordine edilmesi amacıyla simülasyon yöntemleri kullanılabilir. Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0 üzerine yenilikleri izleyerek değer zincirindeki paydaşları simgeleyen müşteri, tedarikçi ve hizmeti sunanlar ile ortak bir paydada hareket ederek radyo frekans tanımlama gibi uygulamalara ilişkin yön tayin edici olmakta yarar vardır. Bu çatı altında bireysel yazılımlara ağırlık vermek yerine bulut uygulamalarına yönelmeyi teşvik etmek de ayrıca önem arz etmektedir. Lojistik faaliyetler temelinde 3D yazıcıların kullanım çerçevesini inceleyerek prototip gibi uygulamalar kapsamında yedek parça ya da yük taşımacılığına ilişkin yararlı odaklanılabilmektedir. Otomotivin endüstriyel faaliyetleri nezdinde bilgi teknolojilerindeki gelişmelerin lojistiğe yansımalarının belirgin şekilde kendini göstereceği tahmin edilmektedir. Devrimsel bir gelişme olarak görülen bu yeniliklerin etki çerçevesinin büyük çapta olmayarak bireysel anlamda ilerleyen küçük girişimlerle ilerleyeceği varsayılmaktadır. Zorluğun temel sebepleri, tedarik zinciri üyelerinin dâhil olduğu ağ bloklarının ve ilgili paydaşların bu gelişmelerin bir parçası olma konusunda teşebbüsleri ile ilgilidir. Bu durum, farklı kültürel olguları belirleyen hudutların aşılması gerektiği gerçeği ile tanımlanmaktadır. Yenilikçi bir çıkış olarak tarif edilen bu eğilim, farklı teknolojilerin

ifade edilmesini önemsemek bir tarafa bununla ilgili müşteri ve tedarikçi ağırlıklı hizmet sağlayıcılarla ortak girişimlere yönelerek temel konseptlerin oluşturulmasını tercih etmektedir. Bu kapsamda yüksek teknolojiyi taşımanın yalnız başına bir anlam ifade etmeyeceği, bilakis işletmeler arası iş birliğini ve bilgi değiş tokuşunu önemseyen net bir tavrın ortaya koyulması ile başarının elde edileceği vurgulanmaktadır. Dünden bugüne yenilikçi bir çıkışın ürünü olarak lojistik konseptleri, yenilikçiliği teşvik ettiği ya da buna öncülük ettikleri için değil bilgiyi paylaşma nitelikleriyle kritik öneme sahip oldukları için devamlılık arz etmektedir. (Zsifkovits vd., 2015, s.26-27). Lojistiğin dijital gelişim trendine bağlı olarak yeni uygulamalar ve düzenlemeler gereği, sektörün ilgili taraflarının yeni kavram ve yaklaşımların oluşması için bir araya geleceği kesin gözükmemektedir. Bu yolda ilerlemeyi hedefleyen lojistik kuruluşları, daha fazla verimlilik için dijital destekle sağlanan dijital platformlar yardımıyla ortak girişimlere özenmektedir. Lojistik 4.0 öncüleri, kurumsal fayda yaratma beklentisinin temeli olan geleneksel anlayışı yeni gelişen dijital kültürle değiştirerek dijital olanakların bulunduğu, örneğin bulut uygulamaları gibi platformlar yardımıyla çoklu katılımın bir gereği olarak bütünsel faydaya odaklanmaktadır. Lojistik çatı altında yenilikçi dijital yaklaşımların kılavuzluğunu yapmak fazla değer ifade etmezken bu yöndeki ayrıcalık bilgi alışverişine konu olan diğer paydaşların da dijital donanımını teşvik eden ve eş değerde yetkinliğe kavuşmasını sağlayan dijital öncüllere verilen öneme bağlıdır.

3.9.3 Otomotiv Sektörünü Yeniden Şekillendiren Endüstri 4.0 Teknolojileri

Alman otomotiv sektöründeki üretim liderleri, rekabetin yarattığı ortamı değerlendirmek amacıyla kurumsal düzeyde bütünsel bir dijitalleşmeye kendilerini adanmışlardır. Audi temsilcileri bu süreci akıllı fabrika eylemleri olarak tarif etmektedir. BMW ise nesnelerin interneti ve dijital fabrika kavramları üzerine yoğunlaşmaktadır. Mercedes Benz ise Daimlerin dijital dönüşümü üzerine rapor vermektedir. Bu ilgi, mevcut ölçütler olarak değerlendirilen üretim, maliyet, zaman kavramlarına belirgin şekilde esneklik, ergonomi gibi kıstasları ekleyerek karmaşıklık ve çeşitliliği de dâhil etmesiyle bu kriterleri yeni baştan tarif etmektedir. Otomobil sektörünün üretim mercinden birçok varyantı profesyonelce tasarımları gerektiği konusunda açık bir beklenti mevcuttur. Karmaşıklık ile baş edilebilmesi, gerekli olan modül destekli üretim merkezleri ve lojistik sistemlerin olabildiğince esnek ve yapılandırılabilir düzeye gelmesi ile sağlanabilirken proaktif çözümlerin katkısı ise dijital yolla elde edilen yetenekler sayesinde sağlanabilecektir. Bu arka planda insan ve robot etkileşiminden ziyade büyük veri ve bulut bilişimin esas olduğu veri analitiğinden ve veri setlerinden söz edilmektedir. Değişimin temel alındığı bu çerçevede süreçlerin güvenliğini ve dayanıklılığını temin ederek hızlandırılabilir şekilde tasarlanması önemsenmektedir. Fazla çalışma çabalarını azaltarak ürün ve süreç kapsamında kaliteyi yükseltmek esas olarak değerlendirilmektedir. Otomotivi ilgilendiren mühendislik çabaları, süreçleri yeniden tasarlarken müşteri, tedarikçi ve üreticinin bir araya geldiği dijital ağ blokları yardımıyla desteklenmektedir. Otomotiv ekipman üreticisi açısından dijitalleşmenin yalın bir dijitalleşme eylemi olmaktan çıkarak küresel veri ağlarının oluşmasına yol açması beklenmektedir. Ağ merkezli bir uygulama, nesnelerin interneti yardımıyla sadece makineleri değil, robotları ve sistemleri de ağ konseptine dâhil ederek üretimi yönlendiren siber fiziksel sistemler şeklinde ortaya çıkmaktadır. (Reinhart vd., 2017, s.709-710). Endüstri 4.0 çerçevesinde dijitalleşme olgusu üzerine farklı yaklaşımlar ve tarifeler, Avrupa otomotiv liderlerinin odağında yeniden anlamlandırılmıştır. Çoklu paydaş katılımını gözeten ağ yapılanmasında esnekliğe duyarlı sistemlerin gelişmesine olanak sağlanırken iyiden iyiye artan karmaşıklığın ise yine bu dijital süreçlerin öngörüye dayalı çözümleri ile aşılabileceği varsayılmaktadır. Mevcut yeteneklerin üzerine daha fazla orijinal varyantların tanımlanmasıyla genişleyen ürün yelpazesi, bu yeni çıkılan dijital yolculuğun karakteristik özelliği olarak tarif edilmektedir. Bu dijital çıkışın belirgin katkısı, otomotiv liderlerinin klasik zaman, mekân ve kalite

boyutlarını çevreleyen yeteneklerine proaktif sorun çözme becerilerini de ilave ederek ileri bir ergonomi sağlamalarına bağlıdır. Çoklu ağ yapılanmasının görece sebep olduğu karmaşıklığın ise yine dijital donanımlı sistem unsurları tarafından bertaraf edilebileceği ifade edilmektedir. Konfor, sadece ürün varyantlarının genişletilmesiyle ilgili değil üretim süreçlerinde çalışanların iş yükünü gidermeyi de amaçlayan daha üretken bir siber fiziksel tabanlı üretim sistemleri geliştirmeyi tasvir etmektedir. Performansı düşük çalışanların sisteme kolay entegre edilebilmesinin yolları da tespit edilerek ürün ve hizmet süreçlerinden beklenen kalite de bu sayede yükseltilmeye çalışılmaktadır. Küresel düzeyde dijitalleşen ağlar sayesinde veri yığınları oluşarak değer zincirine katma değer sağlayacak bilginin üretilebilmesi ve akabinde paylaşılabilmesi, siber fiziksel altyapıyı kuran otomotiv endüstrisinin ilgili sistem unsurlarını bünyesine entegre etmesiyle mümkün olacaktır.

Çağın gelişimine paralel olarak otomasyon sistemlerinin insan faktörü ile ilişkili doğal bir gelişim gösterdiğini söylemek mümkündür. Bugün olduğu gibi yarın da insan-makine ilişkisinden doğan yakın iş birliği, popülaritesini korumaya devam edecektir. Otomasyon elverişli olduğu ortamlara göre farklı düzeylerde uygulanma imkânı bulmaktadır. Bununla bağlantılı endüstrilerde robot kullanımı daha fazla yer edinirken birbirinden ayrı sorumlulukları üstlenen robotların çalışanlarla etkileşimi, öncesine nazaran daha dolaysız gerçekleşmektedir. Bu kapsamda tam otomatikleştirmenin kısıtlı olduğu sistemlerde devreye giren insan robot iş birliği, nispeten otomotiv sektöründe karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışma bağlamı ise kaporta faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetlerin yüzde %95'i otomatik seyrederken geri kalan %5'i ise emek gücüyle ilerleyen bir süreci ihtiva etmektedir. Nihai montajın ilerleyişi ise bundan farklı olarak çalışanların emek yordamıyla karşılayamayacağı ve hareketlerini kısıtlayacak faaliyetleri içerdiğinden bu esnada robotlar devreye girebilmektedir. Bu süreçleri kolaylaştıran modern robotların çalışanlarla aynı ortamda güvenli şekilde hareket edebilmesi sistemin elverişli konumlandırılması ile yakından ilişkilidir. (Kuka Belgeleri, 2018, s.26). Endüstri 4.0'ın iş süreçlerine entegrasyonu ile beraber, robot sistemlerine daha fazla görevin verilmesi daha çok, çalışanların üstesinden gelemeyeceği işler hususunda gözlenmektedir. Örneğin otomotiv imalatının her bir alt sürecinde değişkenlik gösteren otomasyon uygulamaları, devreye girecek çalışan faktörünün konumunu belirlemektedir. Bu imalat sektöründe belirli alanlar manuel işlese de genel üretim süreci ağırlıklı olarak otomasyonla işlemektedir. Bu da deneyimli çalışanların güvenliğine yönelik olmakla birlikte konfor alanının genişletilmesi

ile de açıklanabilmektedir. Endüstri 4.0, nispeten deneyimlerine güvenilen çalışan kitlesini koruma amaçlı gelişim gösterdiği için gelişmiş robot sistemleri her türlü ergonomiyi etkileyen iş süreçlerine bu robot teknolojilerini dâhil etmektedir. Bu sistemler dijitalleştirme çerçevesinde adım adım gelişim göstermektedir. Endüstri 4.0'ın dijitalleştirme potansiyeli, maliyet faktörünü temsil eden araçların avantajlara evrilmesine aracılık etmektedir. Dijitalleştirme olağanüstü bir görselleştirmeye öncülük ederek bu kapsamdaki yatırımların faaliyetler eşliğinde tasarruf kapsamını da genişlettiğini ifade etmek mümkündür. Önemli bir girişim olarak tanımlanan Endüstri 4.0 tabanlı dijital ikiz konsepti, işletmenin temel faaliyet alanlarına uyarlanmasıyla belirgin yararlar getirecektir.

Dijital olarak görselleştirmeye elverişli bileşenler, araştırma geliştirme süreçlerine katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra bu dijital yansımaların üretim ve diğer faaliyet alanları dâhil tasarrufu sağlayacak kazancın elde edilmesine yönelik tarifsiz olanakları beraberinde getireceği de vurgulanmaktadır. Bu tasarruf kapsamı, maliyetlerin indirgenmesi ve kullanım süresinin kısaltılması şeklinde ifade edilmektedir. Mackevision gibi görselleştirme yetkinliğine sahip uzmanlar, bu dijital yansıtmanın üretimin gerçekleştiği komplike ortamlarda dahi sorun teşkil etmeden uygulanabileceğini öne sürmektedir. Dijitalleşmenin kapsayıcı yönüyle dâhilî üretim ve lojistik sistemlerini etkilemesi bir tarafa tedarik zincirini düzenleyen ilişkileri de radikal şekilde değiştirmesi ile köklü bir dönüşüme aracılık etmektedir. Dijital ikizler, işletme tabanlı sistemler arası ilişkileri görselleştirmeden hareketle iş faaliyetlerinde geçen bileşenleri ya da parçaları sanal yolla tanımlayarak entegrasyona ilişkin talebi pekiştirmektedir. Giderek yaygınlaşan dijital öneriler ve uygulamalar sebebiyle klasik tedarik ilişkilerini hakiki manada görselleştirilmiş bir tedarik ağına çevirebilmek olanaklıdır. Stuttgart çevresinde faaliyet gösteren Mackevision firması Daimler için bir motor bloğunu dijital ikiz kapsamında geliştirmiştir. Bu görselleştirme sebebiyle çeşitli segment gruplarına dâhil motor örneklerinin değişik hızlardaki tepkisini ölçmek amacıyla simülasyon teknikleri kullanılmıştır. Bu görselleştirme, fiziksel olarak tasarlanan bir prototipin denenmesinden kaynaklı oluşabilecek harcama ve zamandan tasarruf imkânı sağlamaktadır. Nihayetinde dijital ikiz yordamıyla iş akışı daha da basitleşirken mühendisleri ve tasarımcıları buluşturan faaliyetlerin daha eşgüdümlü akışına olanak vermektedir. Dijital ikiz yalnızca bileşenlerin odağında işlevsel hâle gelmemekte, süreci temsil eden her türlü adımda bu sayede sanal yollarla yansıtılabilmektedir. Bu sanallaştırma metodu, farklı süreç ya da bileşenlerin yansımalarını bir araya getirerek komplike yapıyı bütünsel olarak gözler önüne sermeye

olanak tanımaktadır. Dijital ikizin gerçek potansiyeli ise bilinen simülasyon tekniklerinin dışına çıkarak sağladığı geri bildirimin gücü sayesinde açığa çıkmaktadır. Dijital görüntüler, ilgili fiziksel unsura entegre edilen nesnelerin interneti sayesinde anlık veriyi aralıksız kaydetmektedir. Bundan dolayı ürünü yaşamı süresinde değerlendirebilecek verilere ulaşabilmek mümkün olacaktır. Dijitalleşmenin önemli bir faktör olarak öne çıkmasını sağlayan nesnelerin interneti, makinelerdeki sensörler ya da motorlu araçlar vasıtasıyla yüksek oranda bilgiye erişmeyi sağlamaktadır. Veri yığınlarının hacmi ne olursa olsun dijital ikizi etkilemeyerek sistemin doğru işleyebilmesi için verilerin akıllıca bir araya getirilme koşulu ile akıllı veri işleme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sanal ikinci benlik gibi işleyen dijital ikizler anlık bileşen verilerini sağlayarak bileşen tasarımını desteklemektedir. Bu dijital ikiz örneği üretimin ya da mühendisliğin aşamalarında eşlik etmenin yanı sıra söz konusu tüm faaliyet akışına nüfuz edebilme yetisine de sahip olmaktadır. Otomobil sektörü üzerine tahminler, kapsamca anlamlı şekilde büyüyen etkilere sahip ilgili yaşam döngülerinin modern hizmet ve iş modellerine fırsat vererek ek katma değeri sağlayacağı doğrultusundadır. Örneğin fren diskini temsil eden bir dijital ikiz, bireysel veri çokluğu nedeniyle öngörüye dayalı tespit edilen aşınmaların bertarafına ilişkin tam zamanlı bir tasarımı önererek destek verebilmektedir. (Mackevision, 2019, s.24-25). Otomotiv sektörünün faaliyetleri kapsamında ürün, hizmet ya da süreçlerin yaşam döngülerinin yaratacağı değer, yeni devreye giren dijital tercihler sebebiyle artarak geniş bir operasyon alanına yayılmaktadır. Uyarlanan dijital sistemlerin ürün yaşam döngülerinin en başında dahi belirgin faydaları ile operasyonlara katkısını hissettirdiği tespit edilmiştir. Dijital önerilerin fonksiyonel yetkinliği sebebiyle verinin büyüklüğünden kaynaklı işlenmesi konusundaki endişeler apaçık ortadan kalkmaktadır. Otomotiv sektörünün önemli operasyonlarını yeniden şekillendiren yeni dijital uygulamalar, örneğin üstün simülasyon olanaklarına haiz dijital ikiz, nesnelerin interneti yardımıyla verilerin toplanmasına öncülük ederken biriken verilerin analitik düzeyde değerlendirilmesi de büyük veri gibi uygulamaların gerekliliğini göstermektedir. Anlaşılacağı üzere dijital yetkinliklere sahip Endüstri 4.0 bileşenlerinin birlikte çalışma prensibiyle bir araya gelmesi zaruri gözükmekte, birbiri ile etkileşimi ise doğru ve akıllıca koordine olmaları ile ölçülmektedir.

3.9.4 Endüstri 4.0'ın Türkiye Otomotiv Sektörüne Getirdiği Yenilikler ve Döngüsel Ekonomi ile İlişkisi

Döngüsel ekonomi, çevreci ve verimli üretim sistemlerini tasarlamaya ilişkin Endüstri 4.0 girişimleri sayesinde otomotiv sektörünün gündemine farklı uygulamaları ve yenilikleri getirmektedir. Mobiliteye artan taleple beraber odak noktası hâline gelen teknolojik gelişmeler, Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomiyi birbirine geçiren entegre sistemlerin planlanmasına olanak sağlamaktadır. Daha çok birbiri ile uyumlu, entegre çalışan Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi uygulamalarını tasarlayabilmek ve yeni çağın talebine binaen sektörün ihtiyaçlarını karşılayabilmek iki yönlü tamamlayıcı etkenlerin bir arada düşünülmesi ile mümkün olacaktır. Teknolojik gelişmeler ve inovasyonun bir sonucu olarak müşteri beklentilerinin de bu paralelde değişime uğradığı görülmektedir. Bu düşünce doğrultusunda, ilgili sektörün ve mevcut ekosistemin beklentileri üretim ve tedarik süreçlerindeki dijitalleşme ve yeşil uygulamalar ile karşılanmaya çalışılmaktadır. Otomotiv sektörünün öncelikleri, mobilité (hareketlilik) ve konfor odaklı talebin yapısına göre değişkenlik göstermektedir. Müşterilerin yeşil uygulamalara olan eğilimi göz önüne alındığında, girişimcilerin döngüsel ekonomi ilkelerini Endüstri 4.0 bileşenleri ile harmanlayıp yeşil ve dijital planlama sürecinden geçirerek üretim ve tedarik süreçlerine entegre etmesi kaçınılmazdır. Döngüsel ekonomi bağlamında üretim süreçlerinde ve nihai kullanıcıya giden üründe karbon salınımının önemli bir faktör olduğu açıkça bilinmektedir. Bu durum sektör bazlı ele alındığında özellikle otomotivde daha çok elektrikli ve hibrit araçların ilgi odağı hâline geldiğini söylemek mümkündür.

Elektrikli araçların belirgin ölçüde maliyetlerinin düşük olması, ekosistemi koruyan tarafı, fazla bakım gerektirmemesi gibi ölçütler yanında; sağlayacağı devlet teşvikleri ve konfor sebebiyle bu tür araçlara ilgi günden güne artmaktadır. Ancak kaygı yaratacak faktörler arasında şarj altyapısının oluşturulması, araç menzili gibi sorunlar yer almaktadır. Ford Otosan üzerine tarif edilen bu gelişmeler, konvansiyonel ürün ve hizmetlere bir katkı olarak teknolojik döngüyle birlikte bazı uygulamaları getirmektedir. Bu uygulamalar ekseninde Ford Otosan, elektrikli ve otonom araç üretimini ve iyileştirilmesini hedefleyerek karbondioksit salınımını ve yakıt tüketimini hafifletme düşüncesiyle elektrifikasyonu baz alan hafif araç kategorisinde geliştirme faaliyetlerini yürütmektedir. Mobilitenin artması ile gündeme gelen alıcılara yönelik değerli hizmetleri gerçekleştirme

çabası, çevreci ve verimli üretim sistemlerinin akıllı fabrikayla bütünleştirilmesi gerçeği üzerine yoğunlaşılmasına neden olmuştur. Akıllı fabrika daha çok hayal edilen gelecekteki üretimin dizayn edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu sistem içerisinde büyük veri önemli bir rol oynamaktadır. Ford Otosan böylelikle fabrikayı bütün unsurları ile birleştirip veri üretmeyi ve veriden elde edilen katma değeri çoğaltmayı amaçlamaktadır. Bu sistem, lojistikten üretime ve atölyeden satıcılara doğru uzanan büyük bir alanı içine almaktadır. Bu sistem aracılığıyla gerekli malzemelerin bilgisine ulaşan tedarikçiler ilgili gönderimlerini yapmaktadır. Bu doğrultuda, akıllı sensörler yardımıyla bütün süreçler eş zamanlı düzenlenmekte ve izlenebilmektedir. Ford Otosan'ın buradaki hedefi, planlama süreçlerinin entegrasyonu ile tedarikçilerin de dâhil olduğu ambar yönetimini akıllı uygulamalar ile yürütebilmektir. Akabinde bağımsız süreçlerin fonksiyonel etkisi ile verimli yedek parça uygulamalarını da içine alan iş akışına veri analitiğini de katarak dijital tedarik zincirine hâkim olmayı amaçlamaktadır. Ford Otosan'ın Endüstri 4.0 çalışmaları içinde, nesnelerin interneti kapsamındaki platformlar yardımıyla üretim merkezlerinin karar mekanizmaları kendi kendine işleyerek fabrikanın tamamı izlenebilmektedir. Burada ağ bağlantılarının kurulmasıyla sensörler eşliğinde çok fazla veriyi oluşturan bir sistemden bahsedilmektedir. Bu örgütsel yapı fabrikanın dijital ikizi olarak nitelendirilmekte, birden çok simülasyonu gerçekleştirerek ilerisi için tahminler yapmayı sağlamaktadır. (Alkış, 2021, s.170-172). Bu ve benzeri yapıların Türkiye otomotiv sektörünü önemli bir noktaya taşıdığını ve bu dönüşümün döngüsel ekonomi bağlamında önem kazandığını belirtmekte yarar vardır. Böylesi bir dijital ve yeşil dönüşümü stratejik bir konu olarak ele alıp planlayan sektör liderleri, ilgili girişimlere öncülük ettiğinden buna ilişkin farklı diğer projelere ve kaynaklara doğrudan ya da dolaylı etkilerinin olacağı tahmin edilmektedir.

Diğer taraftan ARENA 2036 projesi, Endüstri 4.0'ın sürdürülebilirliği üzerine modern jenerasyonun otomobillere dair ekolojik gayesini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Burada enerji tüketimini azaltma ve sürdürülebilir Endüstri 4.0 gelişimini sağlama amacının bireysel tercihlerdeki değişkenliği tetiklediği gibi teknolojik değişime de neden olduğundan bahsedilmektedir. Bunun başarılmasının ise fonksiyonel açıdan elverişli ve birleştirilmiş hafif bir tasarım ile sağlanacağı ileri sürülmektedir. Başka unsurların yanında yaşanan kriz dönemlerinin meydana getirdiği otomobil satışındaki zorluklar nedeniyle Fraunhofer İmalat ve Otomasyon Enstitüsü böyle bir projenin doğmasına öncülük etmiştir. (Popp, 2018, s.14). Dünyada sarsıcı etkilerinin görüldüğü iklim değişikliği ve salgınlar gibi büyük olaylar sebebiyle hızla gelişen teknolojik gelişmeler, işletmeleri karar

noktasında keskin bir yol ayrımına doğru sürüklenmektedir. Dünya dijitalleşmeyi takip ederken elektrikli araçlara daha fazla ağırlık vermesindeki temel sebep, karbon salımlarını azaltmaya yönelik uygulamaların iklim değişikliğine karşı önemli bir adım olarak görülmesidir. Bu gelişmeler, yeniden yapılanmaya doğru adım adım ilerlemede karbon nötr uygulamaları merkezine alarak modern dijital uygulamalar ışığında üretim ve tedarik süreçlerini yeniden değerlendirmeyi zorunlu görmektedir. Dayanıklı ekolojik ve endüstriyel sistemleri hedefleyen kuruluşlar, akıllı üretim ve tedarik sistemlerini oluşturmak koşuluyla ilgili hedefleri sürdürülebilirlik etrafında güvence altına almaya çalışmaktadır. Buradaki hedef sadece yarının yaşanabilir ekolojik ekosistemini güvence altına almak değildir. Bilakis üretim ve tedarik süreçlerine ivme sağlayarak bugünün var olan koşullarını da hızlı şekilde iyileştirme çabalarını da içermektedir.

Enerji üretiminde kaynak yelpazesini genişletme amacıyla yapılan hamleler, enerji tedarikinin küresel boyutta yarattığı kaygıdan etkilenmektedir. Enerji kaynakları içerisinde en popüler seçenek, yenilenebilir enerjilere artan eğilim olarak öne çıkmaktadır. Daha öncesinden karbon nötr uygulamalar ekseninde yenilenebilir enerjilere yapılan destek öncelikli iken, şu an itibarıyla mali zorluğa neden olmayacak enerji üretimi güdülenmektedir. Yenilenebilir enerjileri odağına alan enerji sektörü enerji arzında hız kazanarak elektrikli araç üretimine ilişkin girişimleri beslemekte, depolama sistemlerinin gelişimine de katkı sağlamaktadır. Dünyadaki gelişmelere bakıldığında kısa zaman içinde fosil yakıtın geçerliliğini yitirerek ilgili araçların piyasa sürülmeyeceği vurgulanmaktadır. Gelişmelerin buna ilişkin girişimleri tetikleyeceği düşünüldüğünde Türkiye’de üretilen TOGG aracının önemli bir değere sahip olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Dünya çapında kritik bir öneme sahip böylesi gelişmelerin ülkemizde yer alması anlamlı olmakla birlikte, ilerleyen zamanlarda gereksinimlerin artmasıyla beraber böylesi ürünlere daha fazla kullanım talebinin oluşacağını öngörmek mümkündür. Elektrikli araç pilleri ve enerji depolanması kapsamında girilen çabalar, lityum metalinin stratejik değerini belirleyerek bu yöndeki gelişmelere yön vermektedir. (Aydın, 2022, s.3). Su ve enerji kaynaklı lityum üretiminin ekolojik çevreyi baskılayacağı ve zarara uğratacağı yönünde açıklamalar yapılmaktadır. Bundan ötürü çevreye duyarlı ve kaynakların adaletli kullanımını gözetten bir anlayışın varlığını sürdüreceği ileri sürülmektedir. Bir taraftan ekonomik zorluklar ile yürütülen komplike üretim sistemleri diğer taraftan enerji sektöründe görülen dönüşüm nedeniyle giderek artan lityum gereksinimi lityum fiyatlarını görece %400 yükseltmiştir. Ekolojik ekosistemi sürdürme amaçlı lityum kapsamındaki teknoloji odaklı araştırma geliştirme faaliyetleri devam etmektedir. Yeşil dönüşüm prensipleriyle hareket, ürün ve

malzemenin yaşam döngüleri süresinde neden olacağı emisyonu hesaba katmaktadır. Bundan dolayı elektrikli araçların bataryası üzerine yürütülen çalışmalar merkezî bir öneme sahip olmaktadır. 2022 de yaşadığımız bu gelişmeler 2027 için elektrikli araç alımını ve kullanımını fosil yakıtlı olanlar ile denkleştirme kararıyla sonuçlanmıştır. Avrupa Birliği'nin bir atağı olarak, karbon füzyonlu araçların 2035 yılında yasal olarak engelleneceği vurgulanmaktadır. Esasen döngüsel ekonominin katkısı, üretim çerçevesinde pillerin çevrimsel ekseninde imalatını gerçekleştirmek olarak açıklanmaktadır. Buna yönelik Avrupa Birliği'nin devam eden hamleleri kapsamında 2024 Temmuz ayından sonra elektrikli araçların çevreye yaydığı zararlı gazların ve lityum bataryaların da neden olduğu total karbon ayak izini beyan etmeleri zorunlu tutulacaktır. Geri dönüştürülebilir materyal içeriğine sahip olması muhtemel bataryaların 2030 yılında bunu minimum seviyede karşılaması beklenmektedir. İki farklı yöntemle imalatının mümkün olduğu bataryalar, dâhili kaynaklar kullanılarak döngüsel ekonomi prensiplerine dayalı yeniden kullanımı öngören bir yöntemle robotların devreye girdiği steril ortamlarda oluşturulmaktadır. Elektrikli araçlara olan talebin nispeten artması, kullanım ömrünü tamamlayan pillerin döngüsel ekonomi ilkelerine bağlı olarak yeniden dönüştürülebilir niteliğe haiz olmasına otonom ya da yarı otonom modellerin tasarlanmasına ve bulut veri sistemlerinin entegrasyonu gibi unsurların geliştirilmesine önemli düzeyde bağlı olmaktadır. (Yılmaz, 2022, s.31-34). Gelişmeler otomotiv sektörü açısından gözden geçirildiğinde, elektrikli araçların üretimini yenilenebilir enerjilere yaratılan talebin desteklediği görülmektedir. Elektrikli araçların yarı ya da tam otomasyonlu şeklinde sistemlerini Endüstri 4.0 belirlerken bu gelişime paralel bu araçların pil üretiminde kullanılan geri dönüştürülebilir malzemeleri ve enerji sektörü ile bağlantılı şarj istasyonları da döngüsel ekonomi kapsamında kararlaştırılmaktadır. Bulut bilişim ve büyük veri desteğiyle ileri sensör uygulamalarının yer aldığı modern araçlar, dördüncü endüstriyel devrime ayak uydurmaya çalışan sürdürülebilir otomotiv endüstrisinin genel yapısını simgelemektedir.

Hazal (2022), Elektrikli araçların bataryası ile ilgili yapılan düzenlemelerden birisi Bosch'un bulut tabanlı servislerine ait olmaktadır. Bosch yazılım sistemleri, batarya aşınmasını ve ömrünün ksalmasını engellemek amacıyla batarya ile ilgili sinyalleri buluta iletmektedir. Aşırı sıcak ve soğuk ortamlarda şarjın süresini belirleyen yönergeler bulut tarafından elektrikli araçlara iletilmektedir. Devamlı elektrikli araç bataryasını izleyen Bosch bilişim sistemleri, bataryadan sağlanacak verimin yükseltilmesine ve daha uzun vadede kullanımını garanti etmektedir. Pilin ömrünü etkileyen yönergeler araç ile ilgili gerçek zamanlı sağlanan veriler sayesinde yönlendirilmektedir. Batarya durumunu

gösteren gerçek zamanlı veriler makine öğrenmesi aracılığıyla sürekli olarak gözden geçirilmektedir.

Bu bataryaların çoğunlukla lityum madeninden elde edilmesi, bu madenin çevreye ve enerji üretimine duyarlı bir kaynak teşkil etmesinden ötürü önemlidir. Yenilenebilir enerji kapsamında ve döngüsel imalat kuralları çizgisinde üretimin çevre dostu gerçekleşmesi yeşil mutabakata bağlılığı sergileyerek iklim değişikliği ile mücadeleye destek vermektedir. Elektrikli araçlar rağbet görmesine rağmen bu araçların üretiminde ve kullanılan bileşenlerinde Endüstri 4.0 koşullarını ve döngüsel ekonomi gerekliliklerini sağlamak bu sistemlerin sürdürülebilirlik açısından önemli ögeleri temsil etmesine bağlıdır. Üretim sistemlerinde ve enerji tedarikinde verimliliği artırmanın yolları Endüstri 4.0'ın sağlayacağı başarı faktörlerini işaret etmekte, bu sistemde kullanılan kaynakların üretkenliğini ise geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanıldığı döngüsel ekonomi modelleri belirlemektedir.

3.10 Endüstri 4.0'ın Otomotiv Sektörüne Getirebileceği Riskler ve Zorluklar

Endüstri 4.0'ın getirdiği olanakları değerlendirebilmek ne kadar önemli ise risklerine karşı tedbirlerin zamanında alınabilmesi de bir o kadar önem teşkil etmektedir. Öngörüye dayalı stratejik planlamaların yapılması olası risk etkilerini zayıflatmak için kritik gözükmemektedir. Bu yeni oluşumda mühendislik alanındaki birikimlerin, fiziksel ve bilişsel becerilerin araştırma ve geliştirme faaliyetlerini desteklemesiyle süreçlerin yenilenmesi ve uyarlanması hız kazanmaktadır. Dolayısıyla bu yenilenme sürecinde yenilikçi çözümlerin getirmiş olduğu fırsatları değerlendiren akıllı yatırımcılar ön saflara geçerek bu akımın öncülüğünü üstlenmektedir. Bu bağlamda Endüstri 4.0'ın birincil olarak etkilediği sektörler içinde otomotivin yer alması konuyla ilgili tartışmaları daha da derinleştireceğe benzemektedir. Yeni ve tam otomasyonlu sistemlerin uygulamada sektörün ihtiyaçlarına ne denli cevap vereceği ise hedeflenen verimin gerçekleşmesinde önemli bir itici gücü temsil etmektedir. İlgili otomasyon süreçlerini geliştirme ve uygulama birtakım beklenmedik sorunları ve zorlukları getirebileceği gibi yeni teknolojiler ışığında sistematik ve esnek bir yaklaşımla hareket etmek mevcut teknik bilgi ve becerilerin geliştirilmesini sağlayarak risklerin azaltılmasında yardımcı olacaktır.

Bu konuyu farklı açılardan ele alan kaynaklara baktığımızda otomasyon uygulamalarının risk taşıdığı konusu üzerinde durulmaktadır. Bundan dolayı modern teknolojilerin harekete geçirilmesiyle zor bir sürecin içine girilmesi tahminen kazanımdan yeterince faydalanamamaya neden olabilmektedir. Bahsedilen vakalar içinde örneğin sürücüsüz araçlar ile oluşan kazalarda sorumluluğun nasıl paylaştırılacağı konusu ile elverişli verilerin güvenliğinin korunmasına ilişkin konularla ilgili oluşabilecek riskler üzerine tartışmalar yapılmaktadır. Kendi kendini yöneten araçlar ile otonom olmayan araçların birlikte çalışabilirliği üzerine endişelerin varlığı ve farklı yapılar da olan bu araçların bir araya getirilmesinde oluşabilecek risklere ilişkin tahminler üzerine tartışmalar sürmektedir. Diğer yandan otonom araçların güvenli olduğu kadar trafiğin artmasında da bir faktör teşkil edeceği varsayılmaktadır. (Wallmüller, 2017, s.87-91). Başka bir konu ise talebi karşılaması beklenen kapasitenin değerlendirilmesi ile ilgili sorundur. Acaba kısalan ürün döngüleri ve genişleyen ürün portföyü sonucunda üretim talebi karşılanabilecek mi ya da yetersiz mi kalacak gibi konular üzerine tartışmalar sürmektedir.

Bununla ilgili Volkswagen araç modellerinde ürün yelpazesinin genişlemesi ve bu paralelde kısalan ürün yaşam döngüleri kapsamında özellikle daha çok aracın değişik lokasyonlarda piyasaya çıkarılmasının söz konusu olacağı tahmin edilmektedir. Bu grubun uyguladığı teknik yöntemler ve süreçlerin karmaşıklığı nedeniyle zamanında teslimat konusunda sorunlar yaşanabilmektedir. Üretim kapasitelerini ve planlarını belirleyecek olan tahminî satış oranı, birçok aracın dâhil olduğu planların öncesinden yapılmasında etkili olmaktadır. Bu durum ilgili piyasa faktörlerinden etkilendiği gibi belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir. Talebin gelişmesi ile ilgili yükselen olumlu beklentiler hâlihazırda kapasitenin tam manasıyla karşılanamaması gibi riskler doğurabilmektedir. Tam tersi bir koşulun gerçekleşmesi durumunda ise haddinden fazla oluşan talebin oluşturulan kapasite ile örtüşmemesi ya da kapasitenin eksik kalması söz konusu olacaktır. (Volkswagen AG, 2018, s.193)

Teknolojiyi odağına alan her türlü girişimin mali sorumluluğu taşıması gerektiği de bilinen bir gelişmedir. İnovasyonu hedefleyen AR-GE yatırımları ve uygulamaları neticesinde giderek kısalan döngülerin önüne geçebilmek ya da yeni sürece ayak uydurabilmek, operasyonel ve tedarik süreçlerinde yaratılacak katma değer kadar çok yönlü proaktif önlemlerin alınması ve ortak değer yaratılması gibi çeşitli konular üzerinde de tartışmalara yol açmaktadır. Endüstriyel sistemlerin olmazsa olmazı, istikrarlı şekilde büyüyen güçlüklerle mücadele edilmesini sağlayan bir değişime açık olunmasının gerektiğidir.

İncelediğimiz gelişmelerin otomotiv sektörüne kattığı yararlar bağlamında ilgili gelişmelerin stratejik öneme sahip değişimlere neden olacağı da gözden kaçmamaktadır. Karar mekanizmalarının ilgili planların güçlüklerini göğüsleyebilecek düzeyde olması gerektiği gibi etkili olduğunu varsaydığımız araştırma geliştirme faaliyetlerini yürütebilecek mali yatırımları da üstlenmesi beklenmektedir. İnovatif yeniliklere yönelik bu girişimler, üretim sistemlerinin süreleri dâhil ürün ve hizmet yaşam döngülerinin iyiden iyiye daralmasına da neden olmaktadır. Endüstri 4.0'dan beklenildiği üzere hızlanan ve yenilenen süreçler, bazı endüstrilerde olduğu gibi otomotiv endüstrisinde de verimin artmasına neden olmakta, faaliyet alanları içinde ortak değerle oluşturulan refah ortamından istenilen paya sahip olunabilmesi için bütün baskılayıcı unsurların üstesinden gelmeye zorlamaktadır. Sistemik ve stratejik kararlar doğrultusunda sürecin içinde yer alabilmek ve ilerleyebilmek, nitekim araştırma, geliştirme ve mühendislik süreçlerine yapılan yatırımlar ile bütün kademelere nüfuzu mümkün olan iyileştirmeye ve dönüşüme hazır olmayı gerektirmektedir. Otomotivin diğer sektörlerin bir lokomotifine hâline gelmesinde lojistik faaliyetlerin etkisi büyüktür. Ülkeye sağladığı ekonomik katma değer önemsenecek düzeyde yüksek olduğu lojistik eylemlerin otomotiv dâhil diğer sektörlerin de ilerlemesinde önemli bir rolü vardır. Bununla ilgili Avrupa'daki gelişmelerin takibinin lojistiğin diğer gelişmeleri etkileme düzeyinin tespiti açısından fikir vereceği düşünülmektedir.

Literatür çok yönlü kavramsal tanımlamaya aracılık etmektedir. Bundan işletmeler nispeten yararlanmaktadır. Araştırmacı enstitüler ve bu yönde faaliyet gösteren ilgili diğer kuruluşlar belirli bir görüşü ortaya koymaya çalışmaktadır. Bugüne değin Endüstri 4.0'ı kavramsallaştırma amacı ile ilişkili unsurların birbiri ile bağlantısının kurulmaya çalışılması, net bir ifadenin oluşturulması açısından mümkün olmamıştır. Araştırmalar bugüne kadar genellikle üretim esasları üzerine eğilmekte, lojistik alanında ise ağırlıklı olarak nesnelerin interneti gibi uygulamalara kısıtlı düzeyde öncelik verildiği gözlenmektedir. Günümüze değin birleşik hükümetler ve ilgili işletmeler siber fiziksel tabanlı lojistik sistemlerini daha ileri düzeye taşıyabilecek araştırmaların yapılmasında ısrarcı olsa bile siber fiziksel sistemlerin odağında akıllı fabrika ve uygulamalarını içeren tartışmalar yeterli düzeyde yapılmamıştır. Diğer taraftan Endüstri 4.0 için lojistik önemli bir uygulama potansiyeli taşımaktadır. Yapılan araştırmalara göre katılımcıların %49'u lojistiğin her anlamda Endüstri 4.0 uygulamalarına yatkın bir alan olduğu yönünde görüş beyan etmektedir. Almanya'da lojistik 2.8 milyon istihdam ve 228 milyar avro civarındaki satış gelirleri ile üçüncü ekonomik iş kolunu temsil etmektedir. Lojistik ve ilişkili olduğu

sektörleri de içine alan yarının gelişmeleri birtakım zorluklarla ve eğilimlerle mücadeleyi gerektirecektir. Modern teknolojiler ilginç bir şekilde lojistik yönetimi hesabına belirli bir handicap oluştururken diğer yandan teşvik edici bir unsur olarak tarif edilmektedir. Ekonomik ağ bağlantılarının kurulması, finansal zorluklar, nitelikli personele olan ihtiyaç ve kişiselleştirilmiş beklentiler durumu daha da derinleştirmektedir. Şöyle ki ürün, hizmet ve süreçlere dayalı beklentilerin farklılaşması, alternatiflerin genişlemesinde önemli bir itici gücü temsil etmektedir. Farklı önceliklere sahip ürün ve inovasyon tabanlı döngülerin daralması bunun yanı sıra artan oranda genişleyen lojistik hedefleri nedeniyle eş düzeyde karar verme güçleşmekte bu da endişe kaynağı hâline gelmektedir. Çözüm önerisi ise bütünleşik bir planlama önceliğinde baştan başa bir entegrasyona işaret edilmektedir. Beklenen bütünleşik yapılar, elverişli yatırımlara ve kolaylaştırıcı teknolojilere dayanmaktadır. Endüstri 4.0, teori ve pratik ayrımında işletmelerin dâhilî ve haricî iletişim ağlarında ağırlıklı olarak üretimi önceliğine almaktadır. Siber fiziksel tabanlı üretim sistemlerini mevcut lojistik sistemlere katmak amacıyla yapılan incelemeler, mevcut geliştirme boşluklarını gözler önüne sermektedir. Endüstriyel uygulayıcılar siber-fiziksel lojistik sistemlerini dikkate almayan bir Endüstri 4.0'ı göze alamadıklarından üretim ve lojistiğin bu düzlemde entegrasyonunu sağlamak amacıyla belirgin bir çabaya girmişlerdir. (Roy, 2017, s.4-5). Lojistiği etkileyen faktörler tümüyle otomotive ve diğer önemli sektörlerle yön verdiğinden güçlüklerle ilgili alınan önlemler ve uygulamalar otomotivdeki gelişmelere katkı sağlayacağı gibi önündeki engellerin aşılmasının ise operasyonel, finansal, teknik ve tedarik süreçleri açısından yararlı olacağı düşünülmelidir. Uygulamaya yönelik verilecek kararların özellikle entegrasyonu desteklemesi beklenmekte, eş güdümlü yatırımların hayata geçirilmesi ile de sağlayıcı teknolojilerin etkilerinin görüleceği varsayılmaktadır. Siber fiziksel tabanlı lojistik sistemlerin endüstriyel uygulamalarındaki boşluk nedeniyle ilgili sektörler gelişimin gerisinde kalırken, istemeyecekleri bir sürecin içine sürüklenerek bu sebeple pazarda oluşturmaları muhtemel farkındalıktan ve sağlayacakları katma değerden ödün vermeleri gerekecektir.

Endüstri 4.0'ın tahmini katkısının elektrikli ve otonom araçların piyasa sürülmesi ve yaygınlaştırılması konusunda harekete geçmekle elde edileceği vurgulanmaktadır. TAYSAD Başkanı Saydam; akıllı, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir çözümlere yönelik faaliyetlerin odağına teknolojik dönüşümü yerleştirdiklerini ifade etmektedir. Bununla birlikte çalışmalarını bu şekilde yürüterek bütün üyelerin elektrifikasyon sürecine katılmalarına ve süreci özümsemelerine destek verdiklerini açıklamaktadır. Bu niteliğe sahip araçların pazarda yerini almasının büyük bir hızla gerçekleşeceği ifade edilirken

diğer araçların ise üretiminin durdurulması ve pazara sürülmesinin pek mümkün olamayacağı üzerinde durulmaktadır. Bu gelişmelerden ötürü Türk otomotiv tedarik sanayisinin oluşabilecek risklerin önüne geçebilmesi ve potansiyel fırsatları değerlendirebilmesi bu konuda ne kadar çevik hareket etmeleriyle yakından ilintilidir. Otomotiv tedarik sanayisinin önündeki en büyük tehdit, elektrifikasyonu takip eden otonom süreçlerin harekete geçirilmesinde olası gecikmelerdir. Bu gecikmelerden hareketle oluşabilecek en olumsuz senaryo %70-80 civarındaki üretimi sağlanan yedek parçaların %20'lere kadar gerilemesi gibi bir tehditle karşı karşıya kalınması olacaktır. Ana sanayinin yanında küçülme ihtimali ile yüz yüze kalan yan sanayinin değerini yitirmesi ilgili oyuncular arasında çok da kabul edilebilir bir gelişme olarak görülmemektedir. (Saydam, 2021, s.54)

Endüstriyel otomasyon ve elektrifikasyon süreçlerinin adaptasyonuna olan ilginin giderek yükselmesi küresel ve ulusal tercihlerin geldiği noktayı gözler önüne sermektedir. Burada otomotiv sektörü ana ve yan sanayisi ile kritik bir dönüşüm geçirmek zorundadır. Sektörün tarafları açısından olumsuz sonuçlara maruz kalınmaması için süreci zamanında yöneterek önlemlerin alınması olası tehditlerin aşılmasında ve mücadelede bir adım öne geçmeyi sağlayacaktır. Sektörün ileri gelenleri ve onların destekleyicileri bu süreci yönetirken sürdürülebilirliğin önceliğinde çevreye duyarlı ve akıllı oluşumları tetikleyen bir misyonu yüklenmek durumundadırlar. Esasen bu mücadele, bütün dünyanın yöneldiği olumsuz iklim koşullarından kaynaklandığı gibi giderek de yok olmaya devam eden canlı ekosistemin varlığını sürdürme çabalarından ibarettir. Burada bireysel ya da kurumsal yükümlükleri ne oranda ciddiye aldığımız ve harekete geçtiğimiz sürecin işlemesi açısından büyük önem arz etmektedir.

Otomotiv endüstrisi esaslı bir dönüşüm sürecindedir. AR-GE çerçevesinde ilerlemeye çalışan Volkswagen gibi global düzeyde kendini konumlandırmış işletmeler ise yasalar çerçevesinde teknolojik gelişmeleri takip etmekte güçlükler yaşamaktadır. Bu güçlükler mevzuatları gereği değişen test uygulamaları ve döngülerinden kaynaklanmakta, bunlar ise bölgesel olarak farklılık göstermektedir. Madde ve bileşenlerden faydalanma, bunların nakliyesi ve stoklanmasına kadar uzanan bir dizi işlevsel süreç, ulusal ve uluslararası nitelikte otomotiv endüstrilerinde geçerli olmaktadır. İlgili yansımaları ise otomotivin imalat süreçlerinde yaygın şekilde görülmektedir. Bunların yanı sıra, elektrik enerjisi ile çalışan araçlar etrafında oluşabilecek olası riskler tedarikçilerin finansman sorunlarını gündeme getirmektedir. Otomotiv endüstrisinde elektromobilité olarak tabir edilen

elektrikli araçlara ve otomatik sürüş imkânına olan yönelim tedarikçi tarafında aşılması gereken mali açıklara neden olmaktadır. Buradaki VW (Volkswagen) grubunun finansal ve rekabet önderliği ürün ve hizmetleri topyekûn zaman aşımına uğramadan yeni koşullara uyarlayabilme yeteneğini koruyabilmesinde yatmaktadır. Çekişmeli rekabetin artan hareketliliğine verilen erken tepkinin aynı şekilde teknolojinin ivme kazanmasıyla gelişebilecek muhtemel oluşumlara zamanında reaksiyon gösterilmesi başarıda önemli etkenlerden sayılmaktadır. Bu gelişmelerden doğabilecek akışın önceliklerini önceden tespit ederek aksiyon alınması rekabette öne çıkaran bir adım olarak değerlendirilmektedir. Her şeyden öte VW grubunun inisiyatifinde muhtemel senaryoları öngörmeye dayalı analizler yapmak ve müşterileri anketle değerlendirmek gibi çeşitli uygulamalar yer almaktadır. VW grubunun kalite, maliyet ve zaman konusunda riskleri tolere edebilmesi planlanan işlerin genellikle devamlı ve sistemli şekilde iyi işleyen kontrol sistemleri ile yürütülmesine dayanmaktadır. Birimleri, araçları ve hizmetleri dikkate alan işlemler doğrultusunda projeler hazırlanmakta gelinen nokta ise hedeflerle kıyaslanarak tespit edilen dalgalanmaların telafisi için gerekli tedbirler vaktinde alınmaktadır. Etki alanı geniş planlamaların yapılması bu işleyişteki ilişkili tüm kademelerin ve sistemlerin iş birliğine ihtiyaç duymaktadır. (Volkswagen AG, 2018, s.190-191). Dolayısıyla Avrupa liderlerinin yeni dünya düzeninde bir adım geriye düşmemek için her gelişmeyi bir tehdit gibi algılamayıp tolere edilebilecek riskler olarak gördüklerine tanıklık etmekteyiz. Yerinde ve zamanında alınan önlemler, meydana gelebilecek daha büyük zararları ve riskleri oluşturabilecek faktörleri önleyerek istenmeyen sonuçların oluşmasını engellemektedir. Yeni teknolojik gelişmelerin -tabiatı gereği- belirsizlikleri ve üstesinden gelinmesi ve çözülmesi gereken sorunları meydana getirmesi beklenen bir sonuçtur. Bu sonuçlar yalnızca ana üreticileri değil tedarikçileri dahi güçlü bir finansal çatıya sahip olmaya zorlamakta ve mali yönden güçlü olmaya teşvik etmektedir. Buna ise rekabetin gerisinde kalmamak adına bugüne değin hiç duyulmadığı kadar daha fazla gereksinim duyulmaktadır. Bu da her şekilde sürekli gündeme gelen bireysel ya da kurumsal deneyimin ve inisiyatifin gücüyle daha hızlı, çevik ve esnek olmanın yanında tam zamanlı aksiyonların ve tedbirlerin alınmasına da o ölçüde dayanmaktadır. Dünyanın peşinden gittiği dördüncü sanayi devriminde yeni yaklaşımların benimsenmesi bir tercih olmaktan çıkmış, bu reform niteliğindeki akım ilgili tarafları hayalini kurmakta zorlandıkları bir dönüşümün içine doğru çekmeye başlamıştır. Bu devrimsel hareketin akışı içinde büyüyerek yükselebilmek, şüphesiz tehditlerin olduğu kadar fırsatları da görerek bunların interaktif etkileşimini bireysel ve kurumsal olarak içselleştirme temeline dayanmaktadır.

Sürdürülebilir kalkınmayı tetikleyen bu eğilimlerde göz ardı edilemeyecek bir diğer husus ise bu gelişmeleri tamamlar nitelikte her yönüyle ortak değer ve sinerjinin yaratılmasını sağlayan iş birliğine dayalı ilişkilerin ötelenmemesi gerektiğidir. Dolayısıyla bu iş birliğinin ilgili taraflarca yönetilmesi dün olduğu gibi bugün de kritik önemini korumaktadır.

Bu düşünceyle ele aldığımız esneklik kavramı, ana yetkinlikler odağında değişen müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilmek ve küresel rekabette yerini alabilmek için sahip olunması gereken yeterliliklerden biri olarak görülmektedir. Dijitalleşmeye ve ağ bağlantılarının kurulmasına yönelik artan talep, bir yönden bağlantılar arasındaki esnekliğin sağlanması adına yeni ihtiyaçların ve beklentilerin gündeme gelmesine aracılık etmektedir. Örneğin burada Endüstri 4.0'ın hayata geçirilmesinde sağlanması gerekli kriterler, uygulamaya yönelik verilmektedir. Yapılan araştırmaların niceliksel sonuçları gösteriyor ki, Endüstri 4.0 uygulandığı takdirde 2025 yılına değin 15 milyar avro civarında ilave bir katma değer oluşacağı öngörülmektedir. Otomotiv endüstrisi dijitalleşmenin getireceği rekabet gücünü yakalayabilmek için bu doğrultuda yaratılan katma değerden sağlayacağı faydanın peşindedir. Alman işletmeleri ekseninde yürütülen bu araştırmanın göstergeleri, dijitalleşme ile sağlanan potansiyel gücün sadece %10'luk kısmının değerlendirildiğine işaret etmektedir. Bu işletmelerin mevcut dijital üstünlüğü sağlama gayretlerine karşın Avrupa Birliği'nin belirlediği %12'lik ölçütü yakalayamamışlardır. Burada Endüstri 4.0'ın devreye alınmasını önleyen kısıtlayıcı ana faktörler arasında açıkça belirtilmeyen yasal ölçütler ve standartlar yer alırken net bir şekilde ifade edilen ihtiyaçların ortaya koyulmamış olması da bunlar içinde sayılmaktadır. Bu bağlamda dördüncü endüstriyel gelişimi tetikleyen ve etkin hâle getirilmesinde Endüstri 4.0'ın uyarlanabilme kabiliyetine dikkat çekilmektedir. Endüstri 4.0'ın kolay uyarlanabilme kabiliyeti üzerine farkındalığın oluşması ile birtakım kısıtların üstesinden gelinmesinde önlemlerin kolayca alınabileceği niteliksel varsayımlarla doğrulanmaktadır. Fakat ilgili sektörde stratejik olduğu kadar teknolojik ve yapısal tedbirlerin ortaya koyulmasında destekleyici faktörlerin etkisinin zayıf olduğu ileri sürülmektedir. Bu sebeple esnekliğin yaratacağı potansiyel etkilerin tespitinde nicel veriler ile doğrulama yoluna gidilmektedir. Stratejik kararların alınmasında Endüstri 4.0'ın yaratacağı karmaşa karar sistemlerini sektöre ugratabilecekken çevik bir hareketle çok yönlü bir entegrasyonun sağlanması ise gerek işletmelere gerekse ağ temsilcilerine rekabet gücü kazandıracaktır. Bazı araştırmalara göre Endüstri 4.0'ın uyarlanmasını önleyici temel handikaplar incelendiğinde hiyerarşinin hissedildiği esneklikten yoksun organizasyonlar nedeniyle süreçlerin uyarlanmasındaki güçlüğü işaret

edilmektedir. Otomotiv sektörünün karakteristik özelliği, uluslararası ağ bağlantılarına sahip olmayı önemserken orijinal ekipman üreticisi fonksiyonuyla da ağ yönetiminde aktif bir rol üstlenmeyi gerektirmektedir. Öyle ki Original Equipment Manufacturer (OEM)'ler yapısal düzenlemeler aracılığıyla stratejilerin belirlenmesinde öncülük etmektedir. Sektörün karmaşık ağ yapıları göz önüne alındığında OEM tarafından zamanında ve gereken bilgi tedarikçilere sağlanmadığı takdirde, bunun tedarik zincirini başından sonuna çevreleyecek olan bir verimsizliğe neden olacağı düşünülmektedir. Bu gelişmeler ışığında otomotiv endüstrisinde birbirine bağlı ağ temsilcilerinin Endüstri 4.0'ın yarattığı sorunları çözebilecek tedbirleri ancak Endüstri 4.0 teknolojileri yoluyla alabilmesine ilişkin tartışmalar devam etmektedir. (Reder vd., 2018, s.11-12)

Genel çıkarımlara göre dijitalleşmenin otomotiv sektörünü tarif edilmesi zor bir belirsizliğe götüreceği düşünülmekte, bu belirsizliğin aşılmasında ise çözüm yöntemi olarak tehdit unsuru diye tabir edilen dördüncü endüstriyel gelişimin beraberinde kendi çözüm yollarına aracılık ettiği görülmektedir. Bu ve bunun gibi faydaların sağlanmasındaki beklentiler rekabette liderliği göğüsleyebilmek olduğu kadar dijital olma sürecinde uyarlanabilme ve dönüştürülebilme kabiliyetini kazanmayı da gerektirmektedir. Endüstri 4.0'ın kendi bünyesinde tehditleri ve fırsatları bir arada barındırma özelliği ile değer zincirinde birbirine bağlı taraflara sağlayacağı potansiyel etkileri hesaba katılmaktadır. Buna binaen gerçekte meselenin özünün uluslararası düzeyde belirlenen dijital olgunluğa sahip olmakta yattığını ve bunun da ne derece önemli olduğunu gözler önüne sermektir. Dördüncü endüstriyel gelişimin gerekliliklerini yerine getirmek adına bu anlamdaki yatırımları önceliğine alan tarafların ilerleyebilmesi için Endüstri 4.0 önündeki engeller olarak tespit edilen eksik standardizasyon ve yasal karar organlarının uygulamayı kolaylaştırıcı düzenlemelere gitmesi önemli koşullar olarak ön plana çıkmaktadır. Bununla kalınmayıp birbirini tamamlayıcı unsurlar olarak görülen gerekli koşullar, işletmeler ve süreçlerin bağlı olduğu değer ağlarının adaptasyonunu kolaylaştırmakta ve bu sayede Endüstri 4.0 teknolojileri yardımıyla kazanılan uyarlanabilme yeteneği ve esnekliğin önemi üzerine vurgu yapılmaktadır. Otomotiv endüstrisinin ana ve yan sanayisi bağlamında değer ağları üzerindeki üyelerin karşılıklı bilgi alışverişini zamanında ve doğru şekilde sağlayacak iş birliğinin ve dayanışmanın oluşması, esnek ve şeffaf süreçlerin yapılandırılması bakımından önem arz etmektedir. Bu ifade, Endüstri 4.0'ın sektöre getirdiği yenilikçi çözümlere eğilimin gerekliliğini yerine getirmeyi tarif etmektedir. Endüstri 4.0'ın yol açtığı belirsizlik ortamından yine organizasyona özgü inovatif çözümler ile sıyrılmak

mümkün olmakta aksi durumda ise her bir paydaş için oluşabilecek potansiyellerin kaçırılması anlamına gelmektedir.

3.11 Endüstri 4.0 ile Otomotiv Sektörünün Sürdürülebilir Tedarik Zincirine Katkıları

Dijitalleşme ve olanakları bilgi paylaşımını önemli bir düzeye getirmektedir. Geline bu nokta otomotiv sektörünü yeni tanımlanan teknolojik bileşenlerle yeniden tarif ederken bu kapsamda elektrikli ve otonom sistemlerin entegre edildiği araçlar yanında hibrit araç türleri de öne çıkmaktadır. Otomotiv sektörünün canlılığından dolayı zayıf tedarik zincirleri ortaya çıkarken sektörün değişkenliği de buna sebep olan nedenler arasındandır. Zayıf operasyonel faaliyetlerin aşılmasında bilgi paylaşımını iyileştirme önemli bir başarı faktörü olarak görülmektedir. Endüstri 4.0, otomotiv sektörünün yeni tarif edilen yetkinliklerle donatılmasına kapı aralamaktadır. Yerleşik sensör uygulamalarını ve ileri ölçüm metotlarını sektöre kazandıran bu devrimsel dönüşüm, stoklama hacmini genişleterek büyük verinin uygulanmasını teşvik etmektedir. Bundan başka Endüstri 4.0, kestirimci algoritmaların sistemlere uyarlanmasını gerektirmektedir. Bununla beraber sınır bilişim sistemlerine, gelişmiş nesnelerin internetinin uygulanmasına dolayısıyla 3D (üç boyutlu) ya da 4D kullanımına aracılık etmektedir. Otomotiv sektöründe çoğunlukla aktif bileşen ve hammadde sağlayıcılarının farklı lokasyonlarda yer almasından dolayı daha açık işleyen tedarik süreçlerine ve sorumluluk bilincine ihtiyaç vardır. Genel olarak otomotiv sektöründe tedarik zincirlerini tümüyle etkileyen kısıtlar nedeniyle ilgili aktörleri süreçlerin saydamlaşması ve tereddütlerin giderilmesi noktasında sorunlarla yüzleşmeye zorlamaktadır. Bu zorunlu motivasyon, otomotiv sektöründeki sağlayıcıları etkin bilgi paylaşımına yöneltmekte, takip sistemlerini daha ileri teknolojilerle sağlayarak sağlam bir zemine oturtulması için bir telkin görevi görmektedir. (Reddy vd., 2021, s.1-2). Tedarik zincirlerinin geleneksel yeterlilikleri, yetersiz bilgi paylaşımına haiz süreçlere sahip olmakla beraber öngörüye dayalı stratejik kararları destekleyecek saydam iş akışını da içermemektedir. Çağın dijital yetkinliklerine artan ilgi sektörleri yavaş da olsa dijital gelişim sürecine dâhil etmektedir. Elverişli becerilerin kazanılması, bu yolda ortaya koyulan çabanın neticesinde güvenceye alınarak sağlanabilecektir. Temel potansiyeller olarak adlandırılan verimlilik ve operasyonlardaki üretkenlik dijital teknolojilerin başarı faktörlerine derinden bağlıdır. Yüksek dijital teknolojik uygulamalarla edinilen dördüncü

sanayi döneminin becerileri, bilgi akışını optimize eden saydam tedarik süreçlerini kazanmaya olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla tedarik süreçlerini optimize eden yeni dönemin yaklaşımları, revize edilen sistemlerin sürdürülebilirliğini de belirleyecektir. Büyük verinin ve bulut uygulamalarının otomotivdeki yansımalarına göz attığımızda bu alanla ilgili saha çalışmalarının yapıldığını nadiren görmek olanaklıdır. Buna göre otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın ele alındığı bir araştırma incelenerek iç ve dış tedarik süreçlerini iyileştirme amacıyla geliştirilen bir modele dikkat çekilmektedir.

Akıllı üretim için iş birliği modeli kapsamında herhangi bir otomotiv firmasının şanzıman üreticisi hedef alınmıştır. Birden fazla sürecin kesiştiği ve operatörün dâhil olduğu iş birliği kapsamı bu model içinde işlenmektedir. Birden fazla operatörün içinde yer aldığı bu işbirlikçi akıllı üretim modeli bilgi sistemleri vasıtasıyla çoğaltılan verileri değerlendirebilmek amacıyla büyük veriyi destekleyen bulut ortamlarına ihtiyaç duymaktadır. Endüstri 4.0, değer zincirlerini bütünleştirmesiyle üretim ortamı çevresindeki elemanları üretim merkezinin ilgili öğeleriyle gerçek zamanlı buluşturarak ilgili devrimi gerçeğe dönüştürmektedir. Akıllı üretim için işbirlikçi sistem modeli, üretim merkezindeki ya da faaliyet alanı dışındaki verileri baz alarak kaynakları ve elde edilen bilgileri birleştirmeyi bir iş birliği sürecinden geçirerek sağlayabilmektedir. Burada dikkate değer örnek ise işletmelerin içten kaynaklı gücünü temsilen müşteri gereksinimlerini derleyen planlanma ve satın almayı yöneten merciler ile üretim faaliyetlerini yürüten mekanizmaların etkileşimiyle açığa çıkan potansiyeldir. Dışsal etkiyle meydana gelecek kuvvet ise dış kaynaklı alıcıları dikkate alarak hizmet vericiler ile üreticileri sentezlenmesiyle meydana gelmektedir. Buradan çıkarılan temel düşünce, fiziksel ve sanal âlemi birbirine geçiren sistemler etrafında işleyen büyük veri, değer zincirine dâhil tüm aşamaları bütünleştirerek kendisini kanıtlamaktadır. Bu sebeple akıllı üretim için geliştirilen işbirlikçi modelin Endüstri 4.0 olan ilgiyi pekiştirdiğini söylemek olanaklıdır. Böylesi bir netice işletmeleri konvensiyonel yapıdan uzaklaştırarak akıllı üretim sistemlerine kanalize etmektedir. (Zhang ve Ming, 2020, s.302-303). Endüstri 4.0'a talebi artıracak çıkarımların işbirlikçi ağ yapılanması amacıyla geliştirilen modellerle yakından ilişkili olduğunu söylemek mümkündür. Otomotiv sektöründe büyük verinin bulut tabanlı sistemlerle etkileşiminden otomotiv tedarik zincirini de kapsayan değer zincirine katkısı, iç ve dış etkenlerin ortaklaşa yarattığı sinerjinin bir gereği olarak ortaya çıkmaktadır. Hibrit ve elektrikli araçların üretimi ile bağlantılı endüstriyel ağ bağlantıları dijital teknolojiler yardımıyla etkin iş birliği sayesinde daha fazla verinin hızlı paylaşımına aracılık etmektedir. Buradan elde edilecek genel çıkarım, diğer etken faktörlerle birlikte üretim ve

tedariği kapsayan geleneksel operasyon anlayışının otomotivde şekil değiştirmesi ile dördüncü endüstriyel gelişimin hızına yetişmeye olanak veren gerçek hamlelere işaret edilmektedir. Dijital ikiz reformu operasyona ilişkin tüm etmenlerin ileri düzeyde simüle edilmesine imkân tanıyan bir yeniliktir. Bu reformun tedarik süreçlerine etkisini görebilmenin yolları arasında uygulamadaki modelleri inceleme ihtiyacı yer almaktadır. Bu sebeple daha önce vurgulanan diğer katkılarının yanında Mackevision şirketinin bu yöndeki çalışmaları, geliştirilmiş dijital ikizin tedarik süreçlerine etkileri üzerine önemli detayları içermektedir.

Bu şirketin sanal yansıtma olarak lanse ettiği dijital ikiz, çeşitli faaliyetlerin görselleştirilmesinde önemli bir faktör olarak öne çıkmakla birlikte yalnızca üreticileri esas almayarak tedarik sürecine dâhil bütün üyelerin operasyonlarını gerçek zamanlı takip eden bir rolü bulunmaktadır. Bu takip sistemi, faaliyet merkezleri ve işletmeler arasında dolaşan verinin denetlenmesi üzerine birincil düzeyde bir görevi üstlenmektedir. Bu uygulama ile temel olarak otomotiv sektörünün tedarik zincirini tümüyle yansıtan bir görselleştirmenin altı çizilmektedir. Darboğaz etrafında gerçekleşmesi olası dağıtım ve stoklama sorunları bu yolla giderilerek belki de esnek bir üretim yapılanması ile farklı imalat teknikleri gündeme gelecektir. (Mackevision, 2019, s.25). Bütün operasyonel faaliyetleri özenle görsel bir içeriğe dönüştürebilen gelişmiş simülasyon teknikleri gerçek veriler aracılığıyla ürün tasarımında iyileşmeye neden olmaktadır. Simülasyon sürecine işlevsellik kazandıran dijital işleyişteki tutarlılık ise bu yolla hedefleri de düzenleyerek netlik sağlayacaktır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

TEORİK ALTYAPI VE HİPOTEZ GELİŞTİRME

4.1 Literatür İncelemesi

Endüstriyel alanlara yönelik yapılan çalışmaların çoğu iki ana tema üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu temalar yoğun olarak ilgi gören **“Endüstri 4.0 bileşenleri ve döngüsel ekonomi uygulamaları”** üzerine belirlenmektedir. Endüstri 4.0 modası, daha çok iş faaliyetlerinin dijitalleştirilmesi üzerine gelişim göstermektedir. Değer zincirini tümüyle etkileyecek dijitalleşmeye dayalı iletişim ve veri alışverişi, ilgili süreçleri sadeleştirerek dijital zincir ağının oluşmasına öncülük etmektedir. Döngüsel ekonomi ise kaynak kullanım verimliliğini iyileştirmeyi kapalı döngülere dayalı üretim yapıları ile başarmaktadır. (Kumar vd., 2021, s.2). Döngüsel ekonomi, sıfır atık misyonuyla atık yönetiminde çığır açarak yeni iyileştirme tekniklerine de fırsat vermektedir. Çeşitli ekonomiler, faaliyetlerinin doğal bir neticesi olarak atığın büyümesine neden olurken ekolojik yaşamın devamlılığını da tehdit etmektedir. Birden fazla katılımcının farklı sorumluluk alanları ile içinde yer aldığı bu belirsizlik, genel tutumun değişmesi ve mevcut ekonomik modelin yeniden değerlendirilmesi ile giderilebilecek, yerleşik atık yönetim teknikleri bu sayede yeniden gözden geçirilecektir. Alışlagelmiş atık yönetim metotları döngüsel ekonomi prensiplerinin dışında seyrederken akıllı teknolojiler yardımıyla bu sistemleri döngüsel ekonomiye uyarlamaya biraz daha yaklaşılmaktadır. (Zhang vd., 2019, s.1). Endüstri 4.0’ın başarı göstergesi olarak tedarik zinciri ağının etkin şekilde dijitalleştirilmesi gösterilmektedir. (Sony ve Naik, 2020, s.810). Endüstri 4.0 sadece mevcut düzeni değil yarının da ihtiyaçlarını önemseyen bir yaklaşımla farklı jenerasyonların sürdürülebilirliğini destekleyebilmek için üçlü performansın çevresel, ekonomik ve sosyal unsurları arasındaki dengeyi kurmaya çalışmaktadır. (Sony ve Naik, 2020, s.811). Literatüre dayalı Endüstri 4.0’ın arka planında üretim sistemlerinin verimliliğini artırma düşüncesi yer alsa da sağlayacağı katma değer ekonomik faydadan daha fazlasını ifade etmektedir. Görünürde yalın ve diğer yaklaşımlardan bağımsız Endüstri 4.0 girişimleri ekonomik ve sosyal refahı genişletme çabaları çerçevesinde sürdürülebilirlikten beklenen etkiyi gösteremeyecektir. Bu teknolojik gelişimin daha büyük bir etki yaratabilmesi, büyük olasılıkla diğer yaklaşımlar arasında öne çıkan çevresel

sürdürülebilirliği gerçekleştirecek döngüsel ekonomi gibi yaklaşımlarla bütünleşmesini gerektirecektir. Literatür araştırmalarında çoğunlukla karşışın Endüstri 4.0 uygulamalarının tedarik zinciri türlerine sağladığı katkı, tüm değer zincirinin etkinliğini ve ürün yaşam döngülerinin sürdürülebilirliğini belirlemektedir. Fakat döngüsel ekonomi prensipleriyle etkinleştirilen Endüstri 4.0 bileşenlerinin, sürdürülebilirliğin hedeflerine ulaşılmasında daha etkili olduğu açıkça görölmektedir. Ekolojik etkilerin bertarafında önemli bir rolü üstlenen döngüsel ekonomi ilkeleri, mevcut atık yönetim sistemlerinin geçerliliğini yitirmesine neden olmaktadır. Doğal yaşamın devamlılığı için ekolojik etkileri azaltma ve iklim değışikliğı ile mücadeleyi destekleme, döngüsel ekonominin hayata geçirilmesinde kritik bir öneme sahiptir. Döngüsel ekonominin uygulanmasında ise Endüstri 4.0, kilit bir faktör olarak görölmektedir. Ekonomik ve sosyal etkenler bir tarafa endüstriyel ve ekolojik sürdürülebilirliğin hızlandırılması, Endüstri 4.0'ın etkisiyle uyarlanan döngüsel ekonomi süreçlerine derinden bağılıdır. Literatür örnekleri esasında Endüstri 4.0'ın sürdürülebilir ve döngüsel üretim ve tedarik süreçlerine sağlayacağı katkı, başarı faktörleri çerçevesinde değerlendirilmektedir. Endüstri 4.0'ın ekolojik iyileşmeye sağlayacağı faydanın ise döngüsel ekonomi prensiplerine dayalı uygulamalardan geçtiğı dolaylı olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 1. Literatür Taraması

Referans	Metodoloji	Tedarik zinciri Türü	Endüstri 4.0 Bileşenleri	Bulgular
Pournader vd., (2020), s. 2076	TZ'de Blok zinciri uygulaması üzerine yapısal model	Tedarik zincirinden şeffaflık ve güven	Blok zinciri	Blok zinciri teknolojisi TZ izlenebilirliğini, şeffaflığını ve güvenilirliğini artırır.
Queiroz vd., (2020), s.10	Birleşik kabul teorisi ve teknoloji kullanımı (UTAUT) modeline ve TZ literatürü ve BCT ye dayanan model	Tedarik zincirinde güven entegrasyon, izlenebilirlik	Blok zinciri	Güven, sosyal etki ve genel çabanın BCT (Blok zinciri teknolojisi) üzerindeki olumlu etkisiyle operasyon ve tüm TZY üzerinde iyileşme gözlemlenir.
Attaran, M., (2020), s169-170	Sistematiik Literatür incelemesi	Tedarik zincirinde şeffaflık, esneklik ve verimlilik	Endüstri 4.0'ın Benimsenmesi AI ve robotik, bulut bilgi işlem, 3D baskı, gelişmiş	Dijitalleşen süreçler ile TZY de şeffaflık ve esnekliğin kazanılması neticesinde iyileşen kaynak kullanımı, düşük depolama ve daha az TZ

			analitik, Blok zincir, AR-Augmented Reality, RFID, IoT ve Bulut Bilişim	riski gerçekleşir.
Zheng vd., (2020), s. 22	Endüstri 4.0'ın etkilerine ilişkin bilimsel bilgi birikimi sistematize edilir	Entegre Tedarik Zinciri	IoT, BDA, Bulut Bilişim	E. 4.0'ın (IoT, BDA, Bulut) tedarik zincirini bütünleştirmeye yönelik planlama ağırlıklı araştırmalara göre TZ yapılanmasına ilişkin araştırmalar yetersizdir. Bu bileşenler ürün geliştirmeden tüm yaşam döngüsü boyunca birlikte çalışmaktadır.
Mondragon vd., (2021), 253-254	İki katmanlı kavramsal bir yaklaşım	Ürün ve tedarik zinciri izlenebilirliği	IoT	Yaklaşım, Nesnelerin interneti aracılığıyla TZ ve ürün izlenebilirliği ve yönetimini kolaylaştırır.
Li vd., (2021), s.15	Dijital teknolojiler birleştirilerek değerlendirme sistemi geliştirildi.	Tedarik zinciri Ağ Etkinliği	IoT, Blok zinciri ve Makine Öğrenmesi, siber fiziksel sistemler	IoT ve CPS, Blok zinciri yardımıyla sağlanan gerçek zamanlı izlenebilirlik sayesinde operasyonlar ve tedarik süreçleri daha esnek sürdürülebilir bir yapıya kavuşur.
Li vd., (2020), s.11	Ampirik araştırma	Döngüsel Tedarik Zinciri	Endüstri 4.0 Benimsenmesi	IoT, Bulut bilişim, Büyük veri ve analitiğini içeren ileri dijital teknolojiler ile TZ platformlarında ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik sağlanır.
Ben Daya vd., (2021), s. 31	Literatür taraması	TZ izlenebilirlik	IoT	IoT, ürün kalitesinin başlangıcından üretime ve dağıtıma kadar kontrolüne olanak tanır. IoT verileri, gıda kalitesini artırabilir ve TZ boyunca izlenebilirliği sağlar.
Wang vd., (2020), s.17	Bulanık algoritma ve arıza tespit tekniği ile IoT destekli bir siber fiziksel sistem önerisi uygulamalı ampirik çalışma	Gerçek zamanlı ve izlenebilir siber fiziksel tedarik zinciri sistemleri	IoT	IoT, TZY'de ağ bağlantıları ile verimliliği sağlamakta tam otomatik yönetim sistemlerini güvence altına alarak sanal ve akıllı bir siber sistemin oluşturulmasına izin vermektedir.

Vass vd., (2020), s. 17-18	Tümdengelimli metotla görüşme yaklaşımı	Entegre ve görünür TZY	IoT	IoT'nin görünürlük, otomatik yakalama, istihbarat ve bilgi paylaşımı gibi ek yeteneklerinin lojistik süreçlerin entegrasyonunu ve TZ performansını artırdığı görülür.
Syedghorb an vd., (2020), s.107	Nicel ve nitel yaklaşımları kullanan karma yöntem yaklaşımı	Tedarik zinciri şeffaflığı	IoT, Big Data, RFID	TZ dijitalleşmesinde RFID ve gelişiminde Büyük veri'nin etkili olduğu görülür.
Hao vd., (2020), s. 200	Ampirik araştırma	Tedarik zinciri görünürlüğü	Bulut Bilişim	Bulut tabanlı uzaktan izleme sistemi (CloudRM) ile güvenilir veri işleme, müşteri operasyonu yönetimi ve makine takibi sağlanır.
Toro vd., (2020), s.232	Model Fabrika @ARTC'de uygulanan bir vaka çalışması	Esnek, Çevik ve Entegre Üretim ve tedarik sistemleri	Akıllı fabrika	Model Factory aracılığıyla TZ tabanlı üretim yapıları arasında ağ bağlantıları kurulur, makineler verimli hale gelerek varlıkların hızlı entegrasyonu sağlanır.
Sanchez vd., (2020), s.1037-1038	Vaka çalışması	Üretim ve tedarik aktörleri arasındaki iş birliği	Akıllı fabrika	Endüstri 4.0'ın kazandırdığı özerklik ile aktörler arası yüksek koordinasyon, iş birliği ve entegrasyon sağlanır.
Somohano-Rodríguez vd., (2020), s.18	Örgütsel bilgi işleme teorisi	Değer zincirinde iş birliği	Endüstri 4.0'ın Benimsenmesi (gömülü teknoloji, gelişmiş robotik, SFS ve IoT)	KOBİ bağlamında yenilik stratejisi ile E.4.0 arasında bir bağa işaret edilerek, E. 4.0 stratejik ortaklar ile iş birliği ve veri paylaşımını güçlendirmektedir.
Li vd., (2020), s.1348	Ampirik çalışma	Üretim ve tedarik kalitesi ve görünürlüğü	IIoT, Blockchain	IIoT ve Blok zinciri kullanımı ile üretim ve tedarik izlenebilirliği ve kalitesi yükselir.
Patwa vd., (2021), s.731	Ampirik analiz	Döngüsel tedarik zinciri ve tüketici davranışını iyileştirme	Büyük veri ve bunu besleyen (Bulut Bilişim Yapay Zekâ, IoT)	Büyük veri ve bunu besleyen (Bulut Bilişim Yapay Zekâ, IoT) Büyük veri bilgi akışını destekler, daha iyi tersine lojistik, yenilenmiş ürünlerin varlığına ilişkin bilgi alışverişi ve ürün ömrünü artırmaya destek

				sağlar.
Fatimah vd., (2020), s.1	Akıllı atık yönetimi için çok boyutlu bir sistem yaklaşımı/ Vaka çalışması	Döngüsel tedarik ve üretim süreçleri	Nesnelerin İnterneti	Öneri, atığı tanımlayan IoT yardımıyla sürdürülebilir atık yönetimini geliştirerek döngüsel ekonomi süreçlerine katkı sunar.
Plakas vd., (2020), s. 1680	Deneyisel doğrulanmış döngüsel ekonomi Modeli	Döngüsel tedarik sistemleri	Bulut bilişim, IoT	Bulut tabanlı ve akıllı ambalaj sensörü ile sağlanan veri (IoT) tersine lojistikte görünürlüğün artmasına ve üretilen plastik atıkların azalmasına katkı sağlar. Bu sistem ürün yaşam döngüsü yönetimini destekler.
Mahroof vd., (2021), s.13	ISM modeline dayanan ampirik araştırma	Sürdürülebilir ve döngüsel tedarik zincirleri	IoT, Yapay zekâ	CE, Endüstri 4.0 teknolojileri ile entegrasyonu sağlayarak etik, sosyal ve çevresel açıdan tarımsal tedarik zinciri zorluklarını azaltır.
Li vd. 2021, s. 15-17	IoT Akıllı platforma dayalı örnek olay incelemesi	Esnek ve sürdürülebilir tedarik zincirleri	IoT, CPS, Blok zinciri	IoT ve CPS, Blok zinciri sayesinde inşaat operasyonları ve tedarik süreçlerinde gerçek zamanlı izlenebilirlik ile dinamik süreçleri daha esnek ve sürdürülebilir kılmaktadır.
Kerdlap vd., (2019), s.17	Singapur üzerine vaka çalışması	Sürdürülebilir ve döngüsel ekonomi	IoT	Sıfır Atık Üretimi değer zincirinde atık oluşumunu engelleyen ve bunların diğer TZ'lerde kaynak olarak kullanımını optimize eden üretim sistemleri geliştirir.
Kumar vd., (2021), s.1	Delphi ve ISM Analizi ve ANP yaklaşımı (teorik ve ampirik çalışma)	Sürdürülebilir ve döngüsel tedarik zinciri yönetimi	IoT	Entegre teknolojiler ve CE'nin uyarlanmasıyla zorluklara rağmen sürdürülebilir sanayi ve tedarik süreçleri bu olanaklar vasıtasıyla kanıtlanır.
Kuzmina vd. (2019), s.83	Tümevarımsal bir senaryo planlama metodolojisi	Döngüsel ve izlenebilir ürün ve tedarik	IoT, 3D, Büyük Veri	Bilgi teknolojilerinin hızlı tüketim malları endüstrisine uyarlanması çoklu değiş tokuşa dayalı

		süreçleri		daha karmaşık bir değer zinciri içinde birden çok aktör arasındaki bilgi alışverişini kolaylaştırır. Bu da izlenebilir IoT süreçleri ile sağlanır.
Farooque vd., (2019), s.896	Ampirik çalışmaya dayalı literatür incelemesi	Döngüsel ve sürdürülebilir tedarik sistemleri	IoT, RFID, 3D, Büyük Veri	Endüstri 4.0 bileşenleri, SSCM'ni (sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi) ve GSCM'yi (yeşil tedarik zinciri yönetimi) geliştirmek için CE'lerin tedarik zinciri operasyonlarına katkı sağlar.
Towa vd., (2021), s.901-902	Çok lokasyonlu hibrit analiz (kavramsal ve ampirik katkı)	Döngüsel üretim ve tedarik süreçleri	IoT	Çok lokasyonlu hibrit IoT uygulaması, TZ boyunca ürün dönüşümünün izlenmesine izin verir.
Zhang vd., (2019), s.10	Ampirik araştırma	Döngüsel ve sürdürülebilir tedarik zinciri, Tedarik zincirinde iş birliği	IoT, Yapay zekâ, Büyük veri	Hızla gelişen akıllı etkinleştirme teknolojileri (IoT, BD, AI) sayesinde atık yönetiminin gerçek CE'lere dönüşümü hızlanır.
Wang vd., (2020), s. 11	BCT tabanlı bir mimari geliştirilmekte ampirik ve teorik katkı	Sürdürülebilir , şeffaf ve döngüsel tedarik zincirleri	Blok zinciri	Geliştirilen BCT ile tedarik zincirinde izlenebilirliği ve şeffaflık sağlanmaktadır. Döngüsel tedarik zincirinde çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik iyileştirilir.
Upadhyay vd., (2021), s.1	Literatür taraması	Sürdürülebilir lik ve döngüsel tedarik zincirleri	Blok zinciri	BCT masrafları azaltır, TZ boyunca performans ve iletişimi artırmaktadır. Ayrıca karbon ayak izini azaltarak döngüsel ekonomiye katkı sağlar.
Bag vd., (2021), s.11	Ampirik çalışma	Sürdürülebilir ve döngüsel üretim ve tedarik süreçleri	Büyük veri analitiği, Yapay zekâ	BDA-AI ve CE arasındaki uyumun etkinleştirici rolüyle üretim daha esnek ve sürdürülebilir olmakta döngüsel ekonomi becerilerini geliştirmektedir.
Nandi vd.,	Teorik ve ampirik	Döngüsel	Blok zinciri	Tedarik zincirini izleme,

(2021), s.10	araştırmalara dayalı bir LAD(yerelleştirme, çeviklik, dijitalleşme) perspektifi geliştirilir.	tedarik zinciri		takip ve yanıt vermenin blok zincirine dayalı döngüsel ekonomi uygulamalarıyla desteklenebileceği vurgulanır.
Momete D., C. (2020), s.7-8	Literatür taraması	AB Ekonomilerin de sürdürülebilir kalkınma	AI, IoT.	AI ve IoT kullanımıyla temin edilen dijital yenilenme, malzemelere ilişkin veri toplanmasında sağladığı katma değer ile bilgiyi de daha iyi entegre edebilme olanağını sağlar. Döngüsel ekonomiye ulaşma teknik açıdan yenilenme sürecini içermektedir.
Fan vd., (2019), s.1489	Literatür incelemesi	Tedarik zincirinde iş birliği, döngüsel tedarik zincirleri	IoT	Akıllı konseptin önemli bir kolu olan paydaş entegrasyonu ile enerji, su ve atık yönetimi, akıllı sensör ve gerçek zamanlı izleme yoluyla çevresel etkileri azaltır.
Peiró vd., (2020), s.4	Vaka çalışması	Ürün tasarımı ve tedarik süreçlerinde paydaş iş birliği ve entegrasyonu	Bulut bilişim, IoT	Eko tasarım açısından CE stratejilerinin uygulanmasında ve geliştirilmesinde Bulut bilişim ve IoT'nin oldukça etkin olduğu görülür.
Sony ve Naik (2020), s.811	Eleştirel literatür incelemesi	Ürün ve tedarik süreçlerinin sürdürülebilirliği	Endüstri 4.0	Endüstri 4.0'ın sürdürülebilirlik başarısını operasyonel, ekonomik, çevresel ve sosyal faydaları belirleyecektir. Sadece ekonomik ve operasyonel başarılarla yönelme çevresel ve toplumsal faydaları kaçırmaya neden olacaktır.

4.2 Hipotez Modelindeki Ölçütler ve Dayanakları

Bu çalışmada Endüstri 4.0 teknolojilerinin, Türkiye otomotiv sektöründeki firmaların tedarik zincirindeki sürdürülebilirliğine ve döngüsel performanslarına etkisi araştırılmaktadır. Bu amaçla geliştirilen dokuz yapının tespiti ve ölçütleri, literatür dayanakları ilgili belirlenen göstergeler aracılığıyla verilmektedir. Ardından ise hipotezlerin oluşturulmasında belirleyici kaynaklara yer verilecektir.

Hipotez modeli içindeki yapıları nasıl ölçeriz?

Hipotez modeli, genel itibarıyla birinci ve ikinci dereceden yapıların ele alındığı bütünleşik bir modeli temsil etmektedir. Endüstri 4.0'ın benimsenmesi birinci dereceden yapıyı ifade etmekte iken tedarik zincirinde iş birliği ve döngüsel ekonomi ikinci dereceden yapıyı yansıtmaktadır. Tedarik Zincirinde İş Birliği, dört farklı alt segment ile ölçülmektedir: Bu segmentler Tedarik Zincirinde Görünürlük, Tedarik Zincirinde Güven, Tedarik Zincirinde Entegrasyon ve Tedarik Zincirinde Birlikte Çalışabilirlik olarak belirlenmiştir. Burada Endüstri 4.0'ın benimsenmesi ile tedarik zincirinde iş birliğinin alt segmentleri arasındaki ilişki ve etkileşim araştırılmaktadır. İkinci dereceden yapı olarak ele alınan diğer bir segment ise sürdürülebilirliğin çevresel boyutu ile değerlendirilecek olan döngüsel ekonomidir. Döngüsel ekonomi ise dört temel süreç etrafında ölçülmektedir; Eko Dizayn, Kaynak Tüketimi, Atık Yönetimi, Kaynak Geri Dönüşümüdür. Bildirilen kavramların ölçümü ise literatür dayanağı ile belirlenen indikatörler yardımıyla yapılmaktadır. Ardından ise ikinci dereceden yapılar arasında tedarik zincirinde iş birliği altında belirlenen göstergeler ile döngüsel ekonominin temel prensipleri arasındaki ilişki araştırılmaktadır. Son aşamada ise Endüstri 4.0 ın Benimsenmesi ile Döngüsel ekonomi arasındaki etkileşim değerlendirilecektir.

I. Endüstri 4.0'ın Benimsenmesi

Endüstri 4.0'ın benimsenmesi kapsamında işletmelerin Endüstri 4.0'ın getirdiği teknolojik yetenekleri entegre düzeyi araştırılmaktadır. Bu dijital becerilerin yardımıyla etkinleştirilen tedarik zincirinde iş birliği temelindeki ölçütlerin operasyonlara ve tedarik zincirlerine etkisi bir sonraki adım olarak değerlendirilecektir. Bu değerlendirme Endüstri 4.0 ve Tedarik Zincirinde İş Birliği arasındaki bağlantıyı göstermesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Endüstri 4.0 çağındaki işletmeler, değer zinciri entegrasyonu yönünden fabrika dâhil ve haricindeki değer zincirinin tüm unsurlarını faaliyetlerine eş zamanlı olarak dâhil etmeye çalışmaktadır. Buradaki dikkate değer görüşte, fabrika içinde ve dışındaki kaynakların, verilerin ve bilgilerin bütünleştirilmesiyle beraber iş birliğini de gerektirdiği dolaylı olarak ifade edilmektedir. (Zhang ve Ming, 2019, s.303). Endüstri 4.0 esasında Tedarik Zinciri İş Birliği'nin literatür kaynaklı önerdiğimiz dört ana süreci aşağıda sıralanmıştır.

II. Tedarik Zincirinde İş Birliği

Hipotez modelinde alt faktör olarak belirlenen “Tedarik Zincirinde İş Birliği” ile Endüstri 4.0 arasındaki güçlü ilişkinin örnekleri literatür yardımıyla aşağıda verilmektedir. Ardından ise 1. Hipotez açıklanmaktadır.

A. Endüstri 4.0 Bağlamında Tedarik Zincirinde “Görünürlük”

Aşağıdaki ifadeler işletmeler açısından tedarik zincirinde görünürlüğün ne ölçüde geçerli olduğunu belirleme amaçlı tasarlanmıştır. Bu çerçevede tedarik zincirinde görünürlüğün rolü sorgulanmaya çalışılacaktır.

Görünürlük 1. Tedarik zinciri ortakları arasında *veri erişim ve paylaşım düzeyini belirleyen* E. 4.0 araçları konusunda bilgi sahibiyiz.

Görünürlük 2. Karar verme sürecini bilgilendiren, riski azaltan ve süreçleri optimize eden tedarik zinciri *verilerini yakalama ve analiz etme konusunda yeterli bilgiye sahibiz.*

Görünürlük 3. İyi bir öngörünün kesintileri önlenmekle beraber proaktif hareketi sağladığı ve tedarik *zinciri direncini* artırdığı konusunda bilinçliyiz.

Görünürlük 4. Tedarik zincirinde görünürlüğün iş birliğini güçlendirip belirsizliği azaltmasının güçlü bir bilgi paylaşım kültürüyle sağlandığı bilincindeyiz.

Görünürlük 5. Global yapılanma açısından bilgi alışverişini, tedarik zincirinde iş birliğinin kilit ve etkinleştirici bir aracı olarak görmektediriz.

Caridi'nin kuramına göre, *görünürlüğün* Tedarik Zincirindeki (TZ) aktörlerin operasyonları adına kilit düzeyde yararlı bir faktör olduğu inancı öne çıkmaktadır. Bununla beraber görünürlük, işletmelerin karşılıklı fayda sağlayacağını düşündükleri bilgilere erişme veya paylaşma derecesini de ifade etmektedir. Diğer taraftan görünürlüğün, karar verme sürecini bilgilendiren, riski azaltan ve süreçleri iyileştiren tedarik zinciri verilerini yakalama ve analiz etme yetisiyle öne çıktığı da görülmektedir. (Caridi vd., 2014, s.2)

Diğer bir literatür kaynağı olan Singh ve diğerlerine göre görünürlüğün yöneticilere sürekli değerlendirme esasında kesintilere ya da beklenmedik etkilere karşı hızlı tepki verme yeteneği kazandırmakta olduğu ve ayrıca güvenilir bir aracılık unsuru olarak da nitelendirildiği ifade edilmektedir. Diğer taraftan görünürlük sayesinde gereksinimleri ve kesintileri hızlı şekilde tespit etme olanağına sahip olunurken değişiklikleri başarılı bir şekilde düzenleyebilecek sade model ve yöntemlerin gerekliliği ortaya koyulabilmektedir. (Singh vd., 2019, s.109). Yukarıdaki *ilk üç madde* tedarik zinciri görünürlüğü bağlamında literatür dayanakları esas alınarak belirlenmiştir. *Dördüncü madde* ise bilgi paylaşım değerine odaklanan kültürlerin iş birliğini pekiştirmesi hususuna yönelmiştir. Bu bağlamda verileri değerlendirme becerisi, düzenlemeye yönelik kararsızlıkları azaltmak ve iş birliğini pekiştirmek amacıyla işletmelerin fayda beklentisiyle önemli bilgilerin değiş tokuşunu destekleyen bir kültürle gelişebileceği öne sürülmektedir. (Benzidia vd., 2021, s.3) *Beşinci maddede* ise görünürlük sayesinde kolaylaşan küresel düzenlemeler ile ilgili bilgi alışverişi tedarik zincirinde iş birliğinin önemli bir itici gücü olarak görülmektedir. (Hussain ve Malik, 2020, s.6)

B. Endüstri 4.0 Bağlamında Tedarik Zincirinde “Güven”

Tedarik zincirinde güven temeline dayalı literatürün incelenmesiyle oluşturulan ifadeler üzerine işletmelerin algısını ölçmek amacıyla güven kapsamında bir dizi açıklayıcı tanımlanmaya yer verilmiştir.

Güven 1. Tedarikçiler arasında güvenin *bilgi paylaşım hızını artıran* bir etkiye sahip olduğu bilincindeyiz.

Güven 2. Tedarikçiler arasında güven seviyesinin *daha fazla veri paylaşım olasılığını* yaratan bir etkiye sahip olduğu inancındayız.

Güven 3. Tedarik zincirinde iş birliği ve güven esasında *değer ve sinerji yaratmanın* ancak *etkin katılım*la mümkün olduğu bilincindeyiz.

Güven 4. Veri paylaşımını kolaylaştıran güvenin oluşmasında kilit bir görevi olan iş birliğinin önemine odaklanmaktayız.

Wang ve diğerlerine göre, tedarikçi ve alıcı ilişkilerinde güven bir yönetim rolü oynamaktadır. Dolayısıyla üretici tedarikçilerine karşı güveni sağladığı takdirde bunun hızlı *bilgi paylaşımına* yol açtığı öne sürülmektedir. Bu da üretici ve tüketici arasında oluşan değer odaklı ilişkinin gelişmesinden ve birbirini destekleme amaçlı yönelimden kaynaklanmaktadır. (Feng vd., 2020, s.6). Aynı zamanda daha fazla güvene sahip olan tedarikçinin, iş ortağıyla bilgi paylaşma olasılığı daha yüksek olacaktır. *İlk iki madde* buradan yola çıkarak bildirilmektedir. Tedarik zincirinde iş birliği ve güven kavramlarının sürdürülebilir ağ ilişkileri açısından ciddiyle üzerine yönelinmesi gereken unsurlar olarak öne çıktığı belirtilmektedir. Dolayısıyla döngüsellik esasında üretim ve hizmet alanları ortak değer üretimi için iş kalıplarını bütünleştirmekte, ilgili paydaşların etkin katılımını da bu noktada önemsemektedir. (Julianelli vd., 2020, s.6). *Üçüncü madde* ise iletilen dayanaklar çerçevesinde tespit edilmiştir. Diğer kaynağın bildirimine göre iş birliği, veri paylaşımını kolaylaştırmak için kullanıcılar ve üreticiler arasındaki güvenin oluşturulmasında kilit bir faktör olarak tanımlanmaktadır. (Freije vd., 2021, s.4)

C. Endüstri 4.0 Bağlamında Tedarik Zincirinde “Birlikte Çalışabilirlik (BÇ)”

Göstergeler arasında belirlenen tedarik zincirinde birlikte çalışabilirliğin kuruluşlar bağlamında etkin rolü ilgili kaynakların incelenmesiyle saptanmaya çalışılmaktadır.

Birlikte Çalışabilirlik 1. BÇ bağlamında teknolojik kaynakların birlikte çalışmasının tedarik zincirinin etkin bütünleşmesiyle mümkün olacağı inancını taşımaktayız.

Birlikte Çalışabilirlik 2. BÇ etkinliğinin otomatik üretim ekosistemlerinde heterojen bileşenlerin birbiri ile entegre olmasına dayandığı görüşünü desteklemekteyiz.

Birlikte Çalışabilirlik 3. Etkili bir birlikte çalışabilirliğin blok zincirinin sunduğu ağ bağlantılarına dâhil üyelerin verileri tam olarak paylaşımıyla mümkün olacağını doğrulamaktayız.

Birlikte Çalışabilirlik 4. Birlikte çalışabilirliğin bilgi yönetim sistemleri arasındaki uyumu etkilediğine inanmaktayız.

Endüstri 4.0 aracılığı ile verilerin toplanması tedarik zinciri bütünleşmesini destekleyerek bütün teknolojik kaynakların birlikte çalışılmasını zorunlu olarak gerektirmektedir. (Benzidia vd., 2021, s.10). Bu kaynak *birinci maddenin* oluşturulmasında etkili ve belirleyici olmaktadır. Güncel literatür ışığında Endüstri 4.0’ın kabul görmesiyle sanayi kuruluşlarına uyarlanan otomasyon sistemleri değer zincirini düzenleyerek üretimi ve beraberinde lojistik sistemlerini daha iyi koordine edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sebeple kendi kendini koordine eden üretim merkezleri aracılığıyla heterojen bileşenler arasında sağlanan otomatik işletim, farklı üretim süreçlerinin birlikte hareketini kolaylaştırmaktadır. (Rajput ve Singh, 2020, s.5). *İkinci madde* buradan sağlanan içgörü ile oluşturulmuştur. Bundan başka diğer literatür örneklerine göz atıldığında blok zinciri üzerine iletişim ağ bandına katılan paydaşların verileri tam anlamıyla aktarabilmelerinde verimli bir birlikte çalışabilirliğin temel teşkil etmekte olduğu öne sürülmektedir. (Shojaei vd., 2021, s.4). Bu kaynak *üçüncü maddenin* oluşturulmasında temel dayanaklardan birisini oluşturmaktadır.

D. Endüstri 4.0 Bağlamında Tedarik Zincirinde “Entegrasyon”

Aşağıda performans göstergelerinden bir diğerini temsil eden Tedarik Zincirinde Entegrasyonun organizasyonlar arasında ifade ettiği değer açısından incelenerek tespitlerde bulunulması amaçlanmaktadır. İşletmelerin bu konu üzerine değer yargılarını belirlemek ve algılarını ölçmek amacıyla açıklanan göstergeler yardımcı araçlar olarak ele alınmaktadır.

Entegrasyon 1. Entegrasyon yardımıyla organizasyon içi ve organizasyonlar arası süreçlerin stratejik iş birliği ve uyumunun kolaylaştığı inancındayız.

Entegrasyon 2. Entegrasyonun firmaları ve diğer kuruluşlar arasındaki ilişkileri kapsayan iş süreçlerini eş zamanlı yönetmede destekleyici olduğu kanısındayız.

Entegrasyon 3. İç entegrasyonun dışsal ilişkileri destekleyen iş birliğinin kurulmasında ve özellikle bütünleşmede esas olduğu bilincindeyiz.

Entegrasyon 4. Öngörülemez bazı kesintileri bertaraf etmek amacıyla ilgili tedarik zinciri ortaklarıyla bazı operasyonel yetenekler inşa etmenin önemli olduğu düşüncesindeyiz.

İş birliği terimi sözde müşterilere dayalı bir kavramsal içeriğe sahipmiş gibi gözükse de tedarikçilerle organizasyon ilişkilerini de kapsayacak niteliklere haiz olduğu belirtilmektedir. Firma dâhilinde ve haricindeki sağlayıcılar ve müşterilerle yakın ilişkilerin TZ entegrasyonu kavramıyla bütünleştiği gözlenmektedir. Burada tedarik zinciri entegrasyonu, daha elverişli tedarik zinciri yapılarına imkân tanıyan işletme dâhilinde ve işletmeler arası süreçlerin iş birliğine dayalı stratejik bir konu olarak açıklanmaktadır. Dolayısıyla entegrasyon ve iş birliği kavramlarının birbiri yerine geçebilen terimler olarak irdelendiği görülmektedir. (Freije vd., 2021, s.1). Entegrasyonun *ilk maddesi*, tedarikçilerin müşterilerle yakın iş birliği ve uyumunun bir sonucu olarak ortaya çıktığı görüşünden hareketle elde edilmiştir. Tedarik zinciri entegrasyonu ise müşterilere asgari bir mali yükümlülükle daha fazla katma değeri sağlamak maksadıyla işletmeye özgü ve işletmeler arasında dolaşan sermaye, materyal ve bilginin eş zamanlı akışını destekleyen işletme süreçlerini kavramsal bir niteliğe dönüştürmektedir. (Vass vd., 2020, s.3). *İkinci madde* (Entegrasyon 2) bu kaynağa istinaden oluşturulmuştur. Diğer taraftan dışsal iş birliği

tümüyle kilit bir öneme sahip iç bütünleşmenin varlığına dayalı olarak gelişmektedir. (Vass vd., 2020, s.4). Burada dâhilî entegrasyonunun iç entegrasyona dayandığı görüşü *üçüncü maddenin* (Entegrasyon 3) oluşturulmasında motive edici olmaktadır. Yukarıda Freije ve diğerlerinin esas aldığı, Entegrasyon ve stratejik iş birliğinin birbirinin yerine kullanılabileceği görüşü üçüncü maddenin oluşturulmasında etkili olmaktadır. Tedarik zinciri dayanıklılığı ile ilgili güncel literatüre bakıldığında öngörülemeyen kesintilerle başa çıkmak için tedarik zinciri ortaklarıyla bazı operasyonel yetenekler inşa etme gerekliliği dikkat çekmektedir. (Singh vd., 2019, s.106). Entegrasyon 4 üzerine dikkate alınan bu örnekten hareketle tedarik zincirinde iş birliği diğer bir deyişle entegrasyonu aracılığıyla olası aksamalar, proaktif yönde işbirlikçi hareketin birtakım işletme becerileri geliştirmesiyle bertaraf edilebileceği savı ileri sürülmektedir. Nihayetinde TZ entegrasyonu aracılığıyla tedarik zincirinde verimliliğin iyileştirilmesinde görünürlüğü sağlanmasına verilen önem aynı düzeyde izlenebilirliğe ve birlikte sarfedilen çabaya da gösterilmektedir. Bu bütünleşmenin iş birliğinden kaynaklanan karar verme gücünü geliştirebilme niteliği taşıması gerekmektedir. (Vass vd., 2020, s.3). Dolayısıyla TZ entegrasyonunun örneğin iş birliği ve birlikte çalışabilirliği sağlayan boyutuyla TZ entegrasyon bütünlüğünü gerçekleştirdiğini söylemek mümkündür.

III. Endüstri 4.0 Bağlamında Tedarik Zincirinde “Döngüsel Ekonomi İlişkisi “

Endüstri 4.0 tabanlı tedarik zincirini benimseyen işletmelerin döngüsel ekonomi ilkeleri çerçevesinde performans göstergelerinden biri olarak varsayılan Eko Dizayn üzerine algıları aşağıdaki ifadelerle ölçülmeye çalışılmaktadır.

A. Eko Dizayn Boyutu

Ekodizayn 1. Eko tasarımı geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilir ürün tasarımı olarak değerlendiriyoruz.

Ekodizayn 2. Eko tasarımı, daha az malzeme ve enerji tüketimi amaçlı ürün tasarımı olarak ele alıyoruz.

Ekodizayn 3. Döngüsel ekonomi esasında ürün tasarımının ürün yaşam süresinin devamlılığını gerektirdiği bilincindeyiz.

Döngüsel ekonomi prensipleri temelinde incelenen Eko Dizayn’ın birinci ve ikinci seçenekleri Vinante ve arkadaşlarının saptadığı döngüsel ekonomi ölçütleri dikkate

alınarak oluşturulmuştur. (Vinante vd., 2021, s.8). Diğer literatür dayanaklarına göre tasarlanan Ekodizayn 3, döngüsel ekonomi tedbirlerine ilişkin ürünleri baz alan ve politik uygulamalar çerçevesinde tespit edilen üç kritik hedeften yola çıkarak tanımlanmaktadır. Bu planlanan önlemler içinde olumsuz ekolojik sonuçları zayıflatmak, atığın hacmini küçültmek ve ürün yaşam ömrünü olabildiğince uzatabilmek yer almaktadır. (Peiró vd., 2020, s.2).

B. Atık Yönetimi Boyutu

Endüstri 4.0'ın benimsenmesiyle tedarik zincirinde iş birliği ile sağlanan organizasyon becerilerinin döngüsel ekonominin “**atık yönetimi**” performansı arasındaki ilişki aşağıdaki ifadelerle ölçülmeye çalışılacaktır.

Atık Yönetimi 1. Atık yönetiminin, atık üretim hacmini azalttığına inanmaktayız.

Atık Yönetimi 2. Atık yönetiminin toplam atık miktarının verimli değerlendirilmesinde etkili olduğu inancındayız.

Atık Yönetimi 3. Atık yönetiminin hurda atık yönetimi ile kazanılan malzeme ve enerjiye olumlu etki sağladığını düşünmekteyiz.

Atık yönetimi (AY) 1'in tespiti, Bag ve diğerlerinin atık yönetimine bakış açısı göz önünde tutularak yapılmıştır. Bu kaynakların bildirdiği göstergeler, AY 1'in oluşmasında motive edici bir faktördür. (Bag vd., 2020, s.1). Atık Yönetimi 3'ün ilgili metrikleri ise Otomotiv Sanayi Çalışma Grubu Raporunun belirlediği ölçütler baz alınarak oluşturulmuştur. (T.C. Kalkınma Bakanlığı, On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023), s.75). Ayrıca AY2 ise Vinante ve diğerlerinin bildirisine göre saptanan ölçütlerden (Vinante vd., 2021, s.8) yola çıkarak hazırlanmıştır.

C. Kaynak Verimliliği Boyutu

Aşağıdaki ifadeler “**kaynak Verimliliği**” bağlamında ne ölçüde geçerlidir?

Kaynak Verimliliği 1. Kaynak verimliliğinin tüketilen elektrik enerjisinin yenilenebilir olma derecesinin belirlenmesinde etkili olduğu görüşündeyiz.

Kaynak Verimliliği 2. Kaynak tüketiminin enerji ve malzeme tüketiminin azaltılmasına katkı yaptığı inancındayız.

Kaynak Verimliliği 3. Kaynak tüketiminin kaynak verimliliğini de eş düzeyde etkilediği kanaatindeyiz.

Kaynak Verimliliği 4. Kaynak tüketiminin kıt doğal kaynakların kullanımını azalttığı bilincindeyiz.

Yukarıdaki literatür örneklerinden yola çıkarak döngüsel ekonominin alt temel prensiplerinden sayılan kaynak verimliliği açısından kaynak tüketiminin kıt doğal kaynakların tüketiminin azaltılmasında etkili olduğuna dikkat çekilmektedir. (Bağ vd., 2020, s.1). Bu doğrultuda KV.4'ün indikatörü belirlenmiştir. KV1, 2 ve 3 Vinante ve arkadaşlarının belirlediği metriklere göre (Vinante vd., 2020, s.8) düzenlenerek kaynak tüketimi çerçevesinde kaynak verimliliği ve yönetimi değerlendirilmiştir.

C. Kaynak Geri Dönüşümü Boyutu

Endüstri 4.0 teknolojilerini işletme vizyonuna dâhil eden endüstri kuruluşlarının yeniden yapılandığı tedarik zincirlerini, döngüsel ekonomi prensipleri düzeyinde değerlendirebilmek amacıyla Kaynak Geri Dönüşüm ilkesinin yeri ve önemi aşağıda tanımlanan ifadelerle ölçülmeye çalışılacaktır.

Aşağıdaki ifadeler “**kaynak geri dönüşümü**” bağlamında ne ölçüde geçerlidir?

Kaynak Geri Dönüşümü 1. Kaynak geri kazanımının dönüştürülen ya da yeniden kullanılan malzemelerin yüzdesine katkı sağladığı bilincindeyiz.

Kaynak Geri Dönüşümü 2. Kaynak geri kazanımının atık oluşumunu azaltma ile kaynak yaratmada etkisini görmektedir.

Kaynak Geri Dönüşümü 3. Kaynak geri kazanımının kaynağın geri dönüşümü ya da yeniden kullanım miktarını büyük oranda etkilediği kanaatindeyiz.

Kaynak Geri Dönüşümü 4. Kaynak geri kazanımının atıktan kaynağa dönüştürme girişimlerinde etkili olduğu inancındayız.

Kaynak geri dönüşümü (KGD) çerçevesinde KGD 1 ve KGD 3 için Vinante vd.'nin kaynağı esas alınırken, KGD2 ve KGD4 ise Farooque ve diğerlerinin görüşü dikkate alınarak yapılandırılmıştır. Döngüsel ekonomi ilkesi, değerli kaynakların yeniden kullanıldığı, daha az atık yaratıldığı ve sürdürülebilir bir tüketim modeline geçişi teşvik

ettiği yönündedir. (Farooque vd., 2019, s.889-892). Bu konuyla ilgili örnekler, atık oluşumunun azaltılması ve mevcut kaynaklardan kaynak üretilmesine yol açan etkenler KGD 2 için bir motivasyon teşkil etmektedir.

Hipotezlerin Oluşturulması

Öncelikle mevcut literatürde Endüstri 4.0'ın benimsenmesine ilişkin uygulamaların hayata geçirilmesinde etkili olan ve tedarik zinciri iş birliği yapısını geliştirmedeki performansı ile belirlenen bir takım tedarik zinciri kanıtlarını ya da yeteneklerini özetlemek gerekmektedir. Tedarik zincirinde iş birliği, literatürde iyi konumlanmış bir kavram olsa da bu araştırma özellikle Endüstri 4.0'ın benimsenmesi ile kazanılan tedarik zinciri iş birliği yeteneklerine çok az odaklanıldığını göstermektedir. Bu nedenle Endüstri 4.0 konsepti ve ilgili süreçlerin değerini belirlemek amacıyla Endüstri 4.0'ın benimsenmesiyle tedarik zincirinde iş birliğini geliştiren faktörler üzerinden döngüsel ve sürdürülebilir tedarik zincirine gerçek ve belirleyici etkileri tespit etmek için aşağıda belirtilen hipotezler önerilmektedir.

İşletmeler iş faaliyetlerini sürdüren ağlar üzerinden yatay şekilde birleşmektedir. Bu bütünleşme, Endüstri 4.0 ile ilgili planların yönetimi ve devamlılığını sağlayarak işletme içi faaliyet alanlarının yaygınlaşması, işletmeler arası birleşme ve alımlara dayanmaktadır. Endüstri 4.0'ın proje bazlı faaliyetlerini gerçekleştirebilmek dikey birleşme ile mümkün olmaktadır. İşletmeler materyal sağlayıcısıyla iş bağlantılarını bu sayede denetleyebilmektedir. Dikey bütünleşme yardımıyla yalnızca tedarikçilerle değil müşterilerle de ortak iş birlikleri oluşturulmakta, tedarik zinciri yönetimi sürdürülebilir şekilde güçlendirilmektedir. (Bag vd., 2018, s.16). Söz konusu bütünleşmeler tedarik zinciri sürdürülebilirliğini Endüstri 4.0 uygulamaları esasında pekiştirerek tedarik zinciri yönetimi için önemli bir gereklilik teşkil etmektedir.

Endüstri 4.0, üretimi yeniden yapılandıran bir yenilik niteliğinde olup daha fazla verimin sağlanması amacıyla iş birliğine dayalı modern teknolojileri devreye alarak kaynak ihtiyacını azalttığı yeni bir dönemi tarif etmektedir. Alman projesi olarak gündeme gelen Endüstri 4.0, üretim sistemlerine bilgi teknolojilerini uyarlamasıyla kendini ifade etmektedir. Bu bütünleşmeye istinaden açık iş birliğinin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkan akıllı fabrikalar bu gelişimin temsili bir örneğidir. Akıllı sistemlere dayalı bu yapılar, kaynak tüketimini en asgari düzeye çekerek kaynak verimliliğini yükseltmekte, endüstriyel

ve yönetimsel planlara uyumu ile dikkatleri üzerine çekmektedir. (Kamble vd., 2018, s.408)

Endüstri 4.0 teknolojilerinin bütünleşik devreye girmesi, ortak bir çabanın ürünü olarak tedarik zincirinin bütünsel yönetimini tesis etmekte tedarik zincirinin görselleştirilmesini ve bütünleştirilmesini olanaklı hâle getirmektedir. Bu olanaklar sebebiyle bilgi değiş tokuşunda ve erişiminde gelinen bu önemli aşama esaslı bir iş birliğinin kurulmasında ve eş düzeyde iletişimi temin eden tedarik zincirlerinin düzenlenmesinde destekleyicidir. (Fatorachian ve Kazemi, 2021, s.75). İleri sürülen bu görüşler çerçevesinde tespit edildiği üzere Endüstri 4.0 bileşenlerinin getirdiği yetenekler, iş birliği odaklı tedarik zinciri yapılanmasının önemli bir koşulu olarak önem kazanmaktadır. Bu nedenle Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin tedarik zinciri iş birliği üzerindeki gerçek ve belirleyici etkisini tespit etmede aşağıda belirtilen hipotezler önerilmektedir. Aşağıdaki ilk hipotez yukarıdaki bulguları desteklemektedir.

Hipotez 1. Endüstri 4.0'ın benimsenmesi otomotiv tedarik zincirinde iş birliğini pozitif yönde etkiler.

Önceki çalışmalar tedarik zincirinde iş birliği ile Endüstri 4.0 arasında pozitif yönlü ilişki olduğuna işaret etmektedir.

Üç temel faydayı temsil eden ve besleyen Endüstri 4.0; dikey entegrasyon, yatay entegrasyon ve eş düzeyde iletişime imkân sağlayan mühendislik kavramlarını içermektedir. (Dalenogare vd., 2018, s.384). Herhangi bir fabrikanın üretim ve yönetim sistemlerini bütünleşik bir yapıya kavuşturan dikey bütünleşme gibi teknolojiler bilgi ve iletişim teknolojilerinin çeşitli işletme katmanlarına uyarlanması şeklinde tanımlanmaktadır. Buna rağmen çeşitli işletmelerin yatay birleşmesi ise iş birliğine odaklanarak daha çok eş zamanlı verilere dayalı kaynak ve bilginin değişimini konu edinmektedir. (Dalenogare vd., 2018, s.384-385). Siber Fiziksel Sistemleri (SFS) kapsayan dördüncü sanayi devrimi geleneksel yöntemlere göre maliyeti düşük işlem ve hız kapasitesi sebebiyle öncü düzeydedir. Bu yaklaşım, tahminin de ötesinde ileri hız, yüksek görsellik ve ekonomik değer getirmektedir. (Bag vd., 2018, s.5). Dijital otomasyon gibi uygulamalar, ürün tasarım süreçlerine katkı sağlayan teknik özelliklerin tespit edilmesinde ve uyarlanmasında ürün yaşam çemberi ile ilgili verileri kullanarak eş düzeyde iletişimi olanaklı kılan mühendislik çalışmaları sayesinde üretim aşamalarını görselleştirmekte, dikey bütünleşmeyi kolaylaştırıcı işlem süreçlerine destek vermektedir. (Dalenogare vd.,

2018, s.391). Bunları daha uygulanabilir düzeye getiren Endüstri 4.0 teknolojileri, belirli standartlar çerçevesinde entegre teknolojik sistemleri ve sensör temelli dijital otomasyon tekniklerini içermektedir. Buradaki ana etmen, değer yaratma bağlamında sistemlerin birleşmesini öngörmektedir. İlgili literatürde veri toplamayı, paylaşmayı ve verilerin anlamlı spesifikasyonlara çevrilmesinde devreye giren mekanizmaların işlemesiyle görünürlüğün sağlandığına dikkat çekilmektedir. Bunun da ancak Endüstri 4.0'ın geliştirdiği yüksek otomasyon sistemlerinin entegrasyonu ile mümkün olabileceği vurgulanmaktadır. Bundan ötürü Endüstri 4.0 araçları ile görünürlük arasında önemli bir bağın oluştuğuna işaret edilmekte, ilgili hipotez ise bu çerçevede geliştirilmektedir.

Hipotez 1A. Endüstri 4.0'ın benimsenmesi otomotiv tedarik zincirinde görünürlüğü pozitif yönde etkiler.

Aşağıda güven ve iş birliği arasındaki ilişkiye vurgu yapılarak bir sonraki güven ve iş birliği arasındaki ilişkiyi açıklayan hipotez dayanakları ortaya koyulmaktadır.

Güven, iştirakçilerin yarar sağlayacaklarına inandıkları bir aksiyona dâhil olması ve kendi aleyhlerine bir durumun gerçekleşmeyeceğine olan inançları olarak tanımlanmaktadır. Literatüre bakıldığında tedarik zinciri performansını belirleyen ana etmenler arasında uzun süreli ilişkileri konu edinen sağlam bir iş birliğinin önemine vurgu yapıldığı görülmektedir. Araştırmalar, daha çok güvene dayalı tedarikçi ilişkilerine ve etkilerine yoğunlaşırken güven olgusunun gücünü belirleme amaçlı tedarik zincirinde uzun dönemli ilişkilerin kurulması ve TZ performansı üzerine yapılan çalışmalara da yer vermektedir. İşletmeler performansı yükseltmek amacıyla ortak stratejik çabaya bağlı kalarak verimliliği sağlamaktadır. (Saber vd., 2018, s.2127)

Blok zinciri, birleşik tedarik zinciri eşliğinde planlamaya dâhil edildiğinde otomatik iş birliğini etkinleştirmektedir. Bunun yanı sıra bu teknolojilerin eş zamanlı malzemelerin izlenmesi ve takibiyle tanımlanan nitelikleri öne çıkmaktadır. Bilhassa ürün kimlik takibi, şeffaf süreçler sayesinde saydamlaşan sistemler aracılığıyla yapılabilmektedir. Dağıtık akıllı sözleşmeler, tedarik zincirindeki oyuncular arasında ilişkileri düzenleyerek iş birliğini pekiştirmekte, bu da güvenilir ve kendi kendini yöneten ilişkileri esas alarak mümkün olmaktadır. (Zheng vd., 2020, s.10). Bu literatürdeki yaklaşım, dördüncü sanayi devriminin getirdiği yetenekler ışığında tedarik zinciri boyunca güvene dayalı otonom ilişkilerin mümkün olduğuna ve bundan dolayı TZ oyuncuları arasındaki iş birliğinin

desteklendiğine işaret edilmektedir. Dolayısıyla ilgili kanıt bir sonraki hipotezin oluşmasında itici bir güç olarak tespit edilmiştir.

Hipotez 1B. Endüstri 4.0'ın benimsenmesi otomotiv tedarik zincirinde güveni pozitif yönde etkiler.

Hipotez önerisi bağlamında ele aldığımız diğer bir gösterge ise entegrasyon çatısı altında birlikte çalışabilirlik ve iş birliği arasındaki bağıntıya dikkat çekmektedir.

Endüstri 4.0'ın sistem yönlü tutumu, diğer önemli bir bileşen olarak akıllı ürünü öne çıkarmaktadır. Ürünler ve makineler arasında haberleşme ve iş birliği odaklı üretime yön verme akıllı fabrikanın özelliklerindendir. Endüstri 4.0, işbirlikçi endüstriyel iş süreçlerinin iş ağlarını destekleme amaçlı geliştirilmiştir. Dahası ana teknolojiler ve uygulamalarla yatay ve dikey katmanlar dâhilinde çeşitli siber fiziksel sistemlerin oluşumunu sağlamaktadır. (Kamble vd., 2018, s.414). Öte yandan insan, nesne ve sistemler arasındaki uyum olarak nitelendirilen ve Endüstri 4.0'ın önemli bileşenlerinden biri olarak görülen dinamik, eş zamanlı, iyileştirilmiş ve kendi kendini organize eden değer sistemlerinin oluşmasına vurgu yapılmaktadır. (Kamble vd., 2018, s.416). Burada özellikle üzerinde durulan ana fikir, beşerî faktörlerin araçlar ve sistemlerle kurduğu bütünleşik bağ ve bağlantıdan değer üretilmesinin esasen ilgili kritik faktörlerin eş zamanlı hareketine ve birlikte entegre çalışmasına dayandığına dikkat çekilmektedir.

Bu nedenle aşağıdaki hipotez önerilmektedir;

Hipotez 1C. Endüstri 4.0'ın benimsenmesi otomotiv tedarik zincirinde birlikte çalışabilirliği pozitif yönde etkiler.

Endüstri 4.0'ın kilit bileşenleri içinde yer alan yatay entegrasyona dair entegre mühendislik sistemlerinin öncü rolü, insanları, nesneleri ve sistemleri dijital ortamlar yardımıyla birleştirmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Bu sayede endüstriyel aktivitelerin, hizmetlerin ve uygulamaların düzenlenmesinin kolaylaştığı öne sürülmektedir. (Dalenogare vd., 2018, s.390-391). Burada unsurlar arasındaki ilişki ve etkileşim entegrasyon çerçevesinde birlikte çalışabilirliğin açık bir örneğini gözler önüne sermektedir.

Diğer taraftan doğrudan entegrasyon ve Endüstri 4.0 arasındaki bağlantıya dikkat çeken diğer literatür örnekleri bir sonraki hipotezin oluşturulmasında etkindir. Görüldüğü kadarıyla tedarik zincirinde entegrasyon ve Endüstri 4.0 bileşenleri arasındaki bağlantı

incelendiğinde, Endüstri 4.0'ı sağlayan entegre teknolojilerin birlikte çalışabilirliği, tedarik zinciri yönetiminin bütünsel bir yaklaşımla ele alınmasını mümkün kılarak entegrasyon ve şeffaflık gibi etmenleri güçlendirmektedir. Bunun da tedarik zincirlerini etkilediği varsayılmaktadır. (Fatorachian vd., 2021, s.75)

Önceki literatür bulguları, Endüstri 4.0 ve tedarik zinciri entegrasyonu arasındaki ilişkinin oluşmasında etkili olan önemli argümanlara yer vermektedir.

Hipotez 1D. Endüstri 4.0'ın benimsenmesi otomotiv tedarik zincirinde entegrasyonu pozitif yönde etkiler.

Diğer taraftan ise döngüsel ekonomi, sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir koşulu olarak görülmektedir. Bunun yanı sıra döngüsel ekonominin sosyal taraflarına dair daha fazla çalışma yapılması gerekliliği de açıkça ortaya koyulmaktadır. Döngüsel ekonomi ölçütleri çoğunlukla değer zinciri boyutu ile değerlendirilmektedir. Döngüsel ekonomi ölçütlerinin çeşitliliği, alanla ilgili farklı perspektiflere dayandırılması ve sürdürülebilirlik kavramı ile örtüşmesiyle açıklanmaktadır. (Vinante vd., 2020, s.11). Otomotiv sektöründe Endüstri 4.0 uygulamaları tedarik zinciri iş birliği bağlamında döngüsel ekonomi ve sürdürülebilirlik yönü ile yeterli düzeyde araştırılmamıştır. Bu çalışma, literatür boşluğundan ileri gelen alanla ilgili bir eksikliği karşılayabilmek ve bu yönde değer sağlayabilmek adına yürütülmektedir. Endüstri 4.0'ın benimsenmesine ilişkin tedarik zincirinde iş birliğine yönelik farklı sektörlerde araştırmalar dikkat çekse dahi döngüsel ekonomiye ve sürdürülebilirliğe bakan yönü ile belirgin düzeyde incelenmemiştir. Ayrıca, bu çalışma, literatür boşluğundan yola çıkarak otomotiv tedarik zincirinde iş birliği ile Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi tabanlı sürdürülebilirliğin işletme performansını artırmasına yönelik beklentiyi karşıladığına işaret etmektedir.

Döngüsel bir ekonomide tedarik zincirleri ve operasyonel faaliyetler aracılığıyla üretilen atıklar, farklı operasyonel aşamalara değer sağladığı gibi tedarik süreçlerini besleyen önemli bir girdi olarak da kaynak teşkil etmektedir. Dolayısıyla bu ilişkiler, ilgili tedarik üyelerini içermenin de ötesinde yabancı tedarik bağlantılarını da düzenleyen kapsamca geniş iş birliğini esas almaktadır. (Farooque vd., 2019, s.895). Bu tutum, iş birliği ve döngüsel ekonomi arasındaki ilişkiyi net olarak ortaya koymaktadır. Tedarik zincirinde iş birliğini önemseyen döngüsel ekonomi, atıkların kaynağa dönüştürülmesiyle ilgili kritik faktörlerden biri olan iş birliğinin rolünü vurgulamaktadır.

Döngüsel tedarik zinciri yönetiminin tedarik zinciri sistemlerine sürdürülebilirlik kazandırması ve yeşil tedarik uygulamalarını geliştirmesi bu yaklaşımın yenileyici özelliği ile açıklanmaktadır. Döngüsel tedarik zinciri yönetimi esasında döngüsel olma anlayışını tedarik süreçlerine ve tüm operasyonel adımlara düzenli şekilde uyarlayabilmesi sürdürülebilirliği geliştirmektedir. Döngüsel ekonomi, varlıklardan beklenen yararı optimize etme düşüncesiyle endüstriyel çalışma sahasının içinde ve dışında faaliyet gösteren kuruluşlara odaklı iş birliklerini hedeflemektedir. (Farooque vd., 2019, s.884). Bu görüş, Farooque ve arkadaşları tarafından desteklenen iş birliğinin önemi üzerine bir kanıt niteliği arz etmektedir. Bu dayanağa bağlı olarak oluşan somut fikir, döngüsel esaslara ve prensiplere dayalı tedarik zinciri üyelerinin fayda beklentisi iş birliğinin kalitesini belirleyeceği kadar ortak girişimleri de güçlendireceği elde edilecek temel içgörüler arasında sayılabilmektedir. Bu sebeple ikinci hipotez aşağıda verilmektedir.

Hipotez 2. Tedarik Zincirinde İş Birliği Döngüsel Ekonomi performansını pozitif yönde etkiler.

Atıklar konusunda belirleyici etmenler, stoklama yöntemleri ve giderek azalan atık miktarı ilk adımda döngüsel ekonomiyi gerçekleştirebilecek öncü unsurlar olarak belirtilmektedir. Bu yaklaşıma sağlıklı bir geçiş için ürünlerin ne şekilde tasarlandığı ve yapılandırıldığı önemli olmakla birlikte atıkların bir araya getirilmesi ve ayrıştırılmasında kullanılan metotlar da geri dönüşüm işlemlerinin etkinliğini belirleyecektir. (Koszewski, 2018, s.346). Buradaki söz konusu aşamalar etkili bir döngüsel ekonomi yaklaşımı için elverişli görülmektedir.

Bu süreçler belirli döngüsel ekonomi kolaylaştırıcıları tarafından desteklemektedir. Belirtilen kolaylaştırıcılar, kültürel unsurlar altında değer zincirine mensup üyeler arasında sıkı bir etkileşimi beklemekte olup sistematik bir sürdürülebilirlik yaklaşımıyla uzun vadeye yayılan ortak girişimleri ve çevresel gelişimi tetiklemektedir. (Hart vd., 2019, s.622). Kolaylaştırıcıların finansal yönden değerlendirilmesinde mali sorumluluğu azaltan kaynak girdilerinin tasarruf sağlama potansiyellerine bakılmaktadır. Yeniden kullanılmak üzere dönüştürülen malzemeler ise tam da bu noktada hızlı demontaj özellikleri ile değer sağlayacağı düşünülmektedir. Etkinleştirici bir faktör olarak görülen ölçek belirleme esasında ve iş birliğinden kaynaklı yürütülen planlar çerçevesinde etkili projelerin birleştirilerek elverişli malzemelerin maliyet dengesinin kurulacağı öne sürülmektedir. İlgili faktörlerin avantaja evrilmesi ise iş birliği yoluyla projelerin değerlendirilmesine sıkı

sıkıya bağılı olmaktadır. (Hart vd., 2019, s.623). Buradan hareketle döngüsel ekonomi kolaylaştırıcıları, iş birliğinin önemini ortaya koyarak ekolojik boyutta ürün tasarımı ve gelişimini önemli düzeyde etkileyen argümanlara dikkat çekmektedir. Bu ve benzeri kanıtlar bir sonraki hipotezin oluşumunu desteklemektedir. Diğer taraftan aşağıdaki literatür örneğinde Tedarik Zincirinde Entegrasyon ile Eko Dizayn arasındaki ilişki açık şekilde gösterilmektedir.

Bazı araştırmalar, tedarik zincirlerini birleştiren inisiyatiflere öncelik vererek daha etkili bir döngüsel ekonomi için büyük veriye dayalı uygulamaların karar mercilerine sağladığı avantajlara ilgiyi çekmektedir. Bu teknolojiler aracılığıyla atık azaltma planlarının avantaj sağlaması, öncelikle aşırı kaynak kullanımının engellenmesi ile malzeme geri dönüşümü ve geri kazanımına yol açan yeniden faydalanma doğrultusunda tasarım sürecinin iyileştirilmesi sayılmaktadır. (Kamble vd., 2021, s.8-12). Döngüsel uygulamalar etrafında önemli bir aşama olarak kaydedilen etkili tasarım süreci, tedarik zinciri entegrasyonu altında iş birliğine dayalı girişimleri karar vericilere sağladığı katkıyla önemsendiğini göstermektedir. Daha önce belirtildiği üzere Shojaei ve diğerleri tedarik zincirinde entegrasyon ve iş birliğini birbirinin yerine kullanarak entegrasyonu stratejik iş birliği olarak nitelendirmesinden ötürü bu tespit Eko dizayn ve TZ iş birliği arasındaki olumlu ilişkiyi gösteren hipotezi desteklemektedir.

Döngüsel ekonomiye yönelik çabalara karşın toplam atık üretiminin çok düşük bir oranı atık kaynağı teşkil etmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerjiye ve ekolojik tasarıma odaklı kararlı bir tutumun döngüsel ekonomi uygulamalarını geliştirebileceğine vurgu yapılmaktadır. (Goyal vd., 2021, s.11). Bu konuya istinaden gerçek zamanlı bilgi paylaşımı, ürün kalitesini garanti ederken iş birliğine dayalı bir tasarımın gelişiminde de etkili olmaktadır. (Fatorachian ve Kazemi, 2021, s.63-81). Bundan yola çıkarak aşağıdaki varsayımsal bağlantı desteklenmektedir.

Hipotez 2A. Tedarik zincirinde iş birliği Ekolojik Dizaynı pozitif yönde etkiler.

Döngüsel ekonomi stratejileri, sistemi kapsayan yenilikçi yaklaşımıyla atığın değerlendirilmesi çerçevesinde atığın olumsuz etkilerini zayıflatma ve verimli kaynak kullanımını teşvik amacıyla ürün ve hizmetlerin yeni baştan tarif edilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Endüstriler ve şehirler arasında gelişen endüstriyel simbiyoz gibi yapılar, atık kullanımı ile kaynak verimliliğini iyileştirmeyi sağlayan iş birlikleri sayesinde yeşil tedarik süreçlerini desteklemektedir. Döngüsel ekonomi, ilgili bağlantılar arasında

uyumu sağlayarak 3R ve endüstriyel simbiyoz yardımıyla kaynak sürdürülebilirliğine bir adım daha yaklaşmaktadır. (Fang vd., 2017, s.31). Burada kaynak verimliliğinde öncelikle şehirlerin, sektörlerin ve tedarik zincirlerinin sıkı bir koordinasyonu ve iş birliğinin büyük önem arz ettiği vurgulanmaktadır. Etkili bir kaynak yönetiminde koordinasyon ve iş birliği bağlantılarının olumlu etkileşimi görülmektedir. Devamındaki hipotez bu bağlantıyı destekleyici yapıda tasarlanmıştır.

Hipotez 2B. Tedarik zincirinde iş birliği Kaynak Verimliliğini pozitif yönde etkiler.

Döngüsel sistemler açısından araştırılan tekstil sektörü, atıkları birleştirme ve değerlendirme konusunda döngüsel sistemler aracılığıyla çözümler üretebilmektedir. Bu yöndeki adımların başarı göstergesi olarak güçlü iletişime dayalı tedarik zinciri ilişkileri, tekrar kullanımı ve geri kazanımı amaçlayan temel sistemlerin oluşturulması gösterilmektedir. (Koszevska, 2018, s.344). Atıkların dijital geri dönüşüm uygulamaları yoluyla geri kazanılması ya da bertarafı tedarik zinciri boyunca iş birliğine dayalı sağlam bir iletişimi ve etkileşimi öngörmektedir. Buna bağlı kurulan altyapı sistemleri sürecin etkilerini belirlemek amacıyla gereklilik arz etmektedir.

Gıda sektöründe olduğu gibi teknolojik yeniliklerle gündeme gelen tedarik ilişkileri, atık oluşumunu engellemek amacıyla devreye alınan teknolojiler, değer zincirini tümüyle etkileyen tedarik zinciri üyeleri arasındaki iş birliğinden beslenerek etkinleşmektedir. Teknolojik unsurların yenilikçi bir yaklaşımla geliştirilmesinden ötürü sürdürülebilirliğin temel esaslarına katkı sağlamak amacıyla daha çok katılımcının iş birliğine gereksinim duyulmaktadır. (Ciccullo vd., 2021, s.4). Bilhassa TZ'nin dijital döngüsel uygulamalarına yönelik gıda sektörünün atık yönetiminde atığın önünü kesme çabaları sağlam bir iş birliğine dayandırılmaktadır. Döngüsel yaklaşımların bazı önemli parametreler bağlamında yeniden düşünülmesi gerekliliğini ortaya koyan bakış açısı, Hipotez 2C'nin oluşmasına zemin hazırlamaktadır.

Ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğin endüstriyel çerçevede gelişim göstermesi, tedarik süreçleri kapsamına atık ve geri dönüşüm uygulamalarını almayı gerekli görürken yeniden tasarrufu ve üretimi kavramsal çerçevede kendi metot ve yöntemleriyle sürece katmayı gerektirmektedir. Dolayısıyla olumsuz çevresel sonuçları minimize eden önlemler kapsamında; atık, hammadde ve kaynaktan daha fazla değer üretebilecek düzeyde iyileştirilme olanağı sağlanırken daha etkin ve verimli süreçlerin oluşturulması geri dönüşümden sağlanan katma değere de bir o kadar bağlı olacaktır. (Özkan, 2019, s.100).

Görüldüğü kadarıyla tedarik süreçleri kapsamına alınan ilgili yükümlülükler ancak tedarik süreçlerine dâhil edilen unsurlar arasında açık bir uzlaşmayı gerektirmektedir. Bu sebeple devamındaki hipotezin ilave bulgularla desteklendiğini söylemek yerinde görülmektedir.

Hipotez 2C. Tedarik zincirinde iş birliği Atık Yönetimini pozitif yönde etkiler.

Döngüsel ekonomi, yenilenebilir enerjilere odaklanarak geleneksel düzeni değiştirmek ve doğrusal sistem akışını zayıflatmak amacıyla sürdürülebilirliği hedeflemektedir. Burada döngüsel ekonomi, var olan doğrusal sistem anlayışını geliştirebilmek için değer odaklı bir yaklaşımla malzeme ve enerjide kaliteyi yükseltecek ve tarafların iş birliğini güçlendirecek sürdürülebilir hedeflere yoğunlaşmaktadır. (Gedik, 2020, s.19). Geri dönüşüm girdilerinin döngüsel süreçten geçerek doğrusal sistemleri geliştirmesi ancak iş birliğine dayalı mekanizmaları işler hâle getiren üyelerin malzeme ve enerjiyi değerlendirecek çabaları ile mümkün olacağı vurgulanmaktadır. Bundan dolayı kaynakların geri dönüşümünde döngüsel sürece bakış bir sonraki hipotezin oluşmasında etkindir.

Döngüsel ekonomi uygulamalarını öne çıkaran başlıca etmenler içinde atığın giderek azaltılması yer almaktadır. Bunun yanı sıra bu unsurlar arasında ürün yaşam döngüsünü tamamlayan ürünlerin söz konusu olduğu yeniden kullanıma dayalı süreçler ile verimliliği sağlayan süreçler esas teşkil etmektedir. Sadece sanayileri değil sanayilerin diğer ülkeler ile ilişkilerini bütünüyle kapsayan araştırmalara da yönelim gerekmektedir. Yaşanan küresel olumsuzlukların bertaraf edilmesinin sorumlulukları üstlenmekle giderilebileceği düşüncesi, sadece ülkeler lehine yarar sağlayacak kaynak geri dönüşümü ile ilgili olmaktadır. Burada meselenin özü, küresel düzeyde faaliyet gösteren tarafların geri dönüşüme dayalı iletişim ağları kurmasıyla konunun evrensel bir nitelik kazanacağıdır. (Goyal vd., 2021, s.10). Geri dönüşüm uygulamalarına yönelik yerel ya da bölgesel çalışmaların küresel iyileşmeyi daha da hızlandırabilecek adımlardan yoksun olduğu görülmektedir. Birlikte atılacak adımların önemine vurgu yapılarak endüstriyel faaliyetlerin yarattığı tahribatı gidermek ve bütünsel iyileşmeye küresel düzeyde katkı sağlamak amacıyla güçlü bir iletişimin varlığıyla kurulan iş birliklerine işaret edilmektedir. Bu sebeple buna benzer kanıtlar bir sonraki hipotezi destekleyen önemli argümanlar arasında sayılabilmektedir. Yukarıda sunulan literatür bulguları, tedarik zinciri iş birliği ile gerek Endüstri 4.0 teknolojileri gerekse döngüsel ekonominin temel süreçleri arasında olumlu bir ilişkinin varlığını göstermektedir.

Hipotez 2D. Tedarik zincirinde iş birliği Kaynak Geri Dönüşümünü / Geri Kazanımını pozitif yönde etkiler.

Dördüncü sanayi devrimini tanımlayan bileşenlerin kaynak potansiyeline etkilerini araştırmak amacıyla yürütülen bir çalışmanın bulguları, nesnelerin interneti ve bulut bilişim gibi teknolojilerin Eko tasarıma ve çevresel kazanımlara kaynak verimliliğini sağlayarak ulaşabildiğini işaret etmektedir. Bu bileşenler çevresel yararı, kaynak kullanımını iyileştirme ve döngüsel ekonomi ilkelerini kolaylaştırma fonksiyonuyla sağlayarak bundan sağlanacak tasarrufu da belirlemektedir. (Peiró vd., 2020, s.4-5). Ekolojik etkileri dikkate alınarak tasarlanan ürünlerin geliştirilmesi bu ve benzeri teknolojilerin uyarlanması teşvik etmektedir. Ekosistemi yenileyen gerçek fayda beklentisi, çevreye odaklı bir yaklaşımı eksik görerek söz konusu kaynakların içsel süreçlerde daha etkin kullanılmasını beklemekte, ilgili teknolojik olanaklara odaklanmanın ise zaruriyetine ilgiyi çekmektedir.

Diğer önemli bulgular, nesnelerin interneti, bulut olanakları ve büyük verinin işlenmesini sağlayan analitik yaklaşımlar ile döngüsel hedefleri dikkate alan tedarik zinciri yapılarının ekonomik olduğu kadar ekolojik ekosistemin yaşamını sürdürebilecek yeteneklere sahip olabileceğine vurgu yapmaktadır. (Li vd., 2020, s.11). Döngüsel ekonomi gibi yaklaşımların yeni teknolojilerle bütünleşik değerlendirilmesi, sürdürülebilirliğin önemli unsurlarını temsil eden ekonomik ve ekolojik değer sağlayabilmesi ile ölçülmektedir.

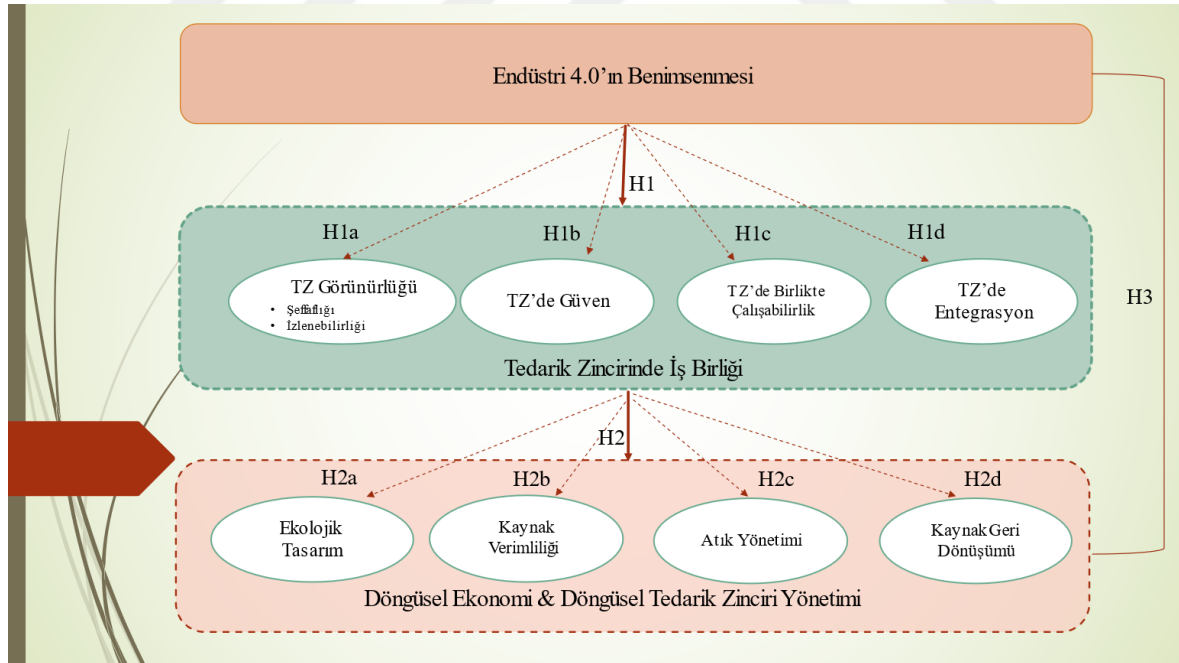
Alışlagelmiş geleneksel yaklaşımlara yönelen kuruluşların operasyonel ve ekonomik beklentilerini karşılayacak faydaya odaklanması, ekolojik ve sosyal etkenlerden elde edeceği kazanımları göremeyerek sürdürülebilirlikten sağlayacağı maksimum faydadan yoksun kalmasına neden olacaktır. Endüstri 4.0 uygulamalarının gerçek etkisi, sürdürülebilirliğin her bir boyutuna sağlayacağı katma değer ile değerlendirilmektedir. (Sony ve Naik vd., 2020, s.811). Bu noktada önemle istifade edileceği düşünülen temel görüş, sürdürülebilirliği bütünleşik bir bakış açısı ile ele alan Endüstri 4.0 uygulamalarına eğilimin yararına ilgiyi çekmektedir.

Hipotez 3. Endüstri 4.0'ın Benimsenmesi Döngüsel Ekonomi performansını pozitif yönde etkiler.

4.3 Araştırma Modeli

Endüstri 4.0 girişimlerinin sürdürülebilir ve döngüsel tedarik zinciri yapılarına değer katacağı düşüncesiyle araştırma modeli geliştirilmiştir. Tasarlanan modele ilişkin belirlenen ölçeklerin doğrulanması ve ilgili performans değerlendirmesinin yapılması araştırmanın getireceği katkılar arasındadır. Döngüsel ekonomiye ilişkin kilit öneme sahip olan hammaddenin ve ürünlerin dönüştürülmesi, emisyon ve atık maddelerin azaltılması, yenilenebilir enerjinin tercih edilmesi, hedeflenen döngüsel tedarik zincirinin yapılandırılmasında temel yapı taşları olarak görülmektedir.

Önerilen yapısal model; Endüstri 4.0'ın benimsenmesini tedarik zincirinde iş birliği ve döngüsel ekonomi arasındaki etkileşimin kavramsal bir çerçeve ile analiz edilmesini amaçlamaktadır. Araştırma modeli 11 hipotezden oluşmaktadır. Önerilen modelde Endüstri 4.0'ın benimsenmesi egzojen değişken olarak öne çıkmaktadır. Tedarik zincirinde iş birliği ve döngüsel ekonominin temel prensipleri esasında belirlenen değişkenler ise endojen yapıyı temsil etmektedir. Geliştirilen yapısal model aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 2. Araştırma Çerçevesi

Hipotez modelinde 3 belirleyici faktör altında 9 yapı incelenmektedir. Tedarik zincirinde iş birliği faktörünün altında dört alt faktör belirlenmiştir. Bu dört alt faktörün

değerlendirilmesi ile tedarik zincirinde iş birliği için total etki saptanacaktır. Diğer faktör ise döngüsel ekonomi faktörü olmakla birlikte burada da dört alt faktör döngüsel ekonominin temel prensiplerine dayalı olarak geliştirilmiştir. Aynı şekilde döngüsel ekonomi için belirlenen alt faktörlerden elde edilen toplam etki bize döngüsel ekonomi kümesinin değerini verecektir.



BEŞİNCİ BÖLÜM

ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ VE HİPOTEZ SONUÇLARI

5.1 Örneklemenin Açıklanması ve Anket Tasarımı

Araştırma Türkiye otomotiv sektöründe faaliyet gösteren ulusal ve uluslararası 466 firmaya yönelik yapılan ampirik bir çalışmadır. Varsayımlanan ilişki, kısmi en küçük kareler yapısal eşitlik modellemesi PLS-SEM yöntemi ile tanımlanacaktır. Araştırmada Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin tedarik zinciri iş birliği üzerinden döngüsel ekonomi tabanlı döngüsel tedarik zinciri performansını etkileme düzeyine ilişkin iç görüler sağlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca çalışma işletmelerin ne ölçüde tedarik zinciri iş birliğine odaklanmaları gerektiğinin gösterilmesi açısından önemlidir. Bu kapsamda, literatüre dayalı Endüstri 4.0'ın benimsenmesi ile döngüsel tedarik zinciri yapısı üzerine ve bilhassa tedarik zinciri iş birliğinin bu ilişkideki rolünü tanımlayan değerli ve önemli bilgiler sunulacaktır.

Araştırma modelini test etmek amacıyla yapısal eşitlik modelleme yaklaşımı kullanılacaktır. Yapısal Eşitlik Modellemesi (YEM) yaklaşımı üzerine çalışmalarda örneklem büyüklüğü açısından ortak bir görüş söz konusu değildir. (Gürbüz, 2019, s.30). Fakat örnekleme bulunan maddelerin büyüklüğüne ilişkin tespitlerin yapılmasına yönelik birtakım öneriler literatürde mevcuttur. Madde sayısının beş katı olarak örneklem büyüklüğü belirleneceği gibi 10 katı ya da 15 katı fazlası da alınabileceği üzerine ölçütlere de yer verilmektedir. Örneklemin büyüklüğü kovaryans modelinin kararlılığını ortaya koyduğundan iç tutarlılığın sağlanabilmesi örneklem büyüklüğünün yeterli olmasına bağlıdır. Ölçek belirlenen örneklem sayısına uygulanmaktadır. Daha sonra maddelerin performans düzeylerini tespit etmek amacıyla ilk aşamada bir ön değerlendirme yapılmaktadır. Bu evrede maddeye ilişkin total korelasyon ve ortalama değerler, varyanslar, faktörel incelemeler ile alfa değerini veren katsayıların tespiti ile ilgili tahminler yapılmaktadır. Bu şekilde geçerlilik ve güvenilirlik testleriyle ölçeğin sağlamlığı açıkça ortaya koyulabilmektedir. Ölçek geliştirme sürecinde dikkatlice ilerleyen süreç sonuçların güvenilirlik ve geçerliliğinin sağlanmasında belirleyici olacaktır. (Şahin ve Boztunç Öztürk, 2018, s.192)

Geliştirilen model kapsamında Türkiye’de otomotiv sektöründe faaliyet gösteren firmaların Endüstri 4.0 girişimleri yönünde aldıkları aksiyonun döngüsel tedarik zinciri gelişimlerine güncel etkisi sorgulanacaktır. Tanınan otomotiv dernek kuruluşları arasında yer alan Taşıt Araçları Tedarik Sanayicileri Derneği (TAYSAD) 492 üyesi arasında imalata yönelik faaliyet gösteren firma sayısı 452 olarak tespit edilmiş olup buradaki üyeler Otomotiv Sanayii Derneği’nin (OSD) 14 üyesi ile birlikte değerlendirilip 466 firmanın değerli katkılarına odaklanılmıştır. Bu katılımcı sayısı ulusal ve uluslararası düzeyde faaliyet gösteren ve ankete katılacağı öngörülen katılımcı profilini yansıtmaktadır. Ölçek geliştirme kapsamında faktör analizleri için örneklem belirlemede ölçek ile ilgili soruların en az 5, en çok 15 katı alınması uygun görülmektedir. Bu süreçte en az 125 (25*5) firmanın ankete katılımının sağlanması gerekmektedir. Analiz sonuçlarına göre otomotiv ana üreticisi (OEM) 3, ana sanayiden 14 olmak üzere 17 (%12.5), yan sanayisinden 119 (%87.5) olmak üzere tam olarak 136 firmanın doldurduğu anket teslim alınmıştır. Katılımcı profilinin heterojen yapısından kaynaklı verilerin sağlanması araştırma sonuçları güvenilirliğini artırmaktadır. Delic ve Eysers (2020), araştırma bulgularına atıfta bulunarak farklı yapıdaki firma profillerinden alınan verilerin güveni sağladığına ve bilimsel çalışmaları desteklediğine vurgu yapmaktadır.

Yaklaşık 466 firmanın e-mail ve telefon görüşmesi yoluyla katılımının sağlanması hedeflenmiş, 136 otomotiv ana ve yan sanayi firmasının eksiksiz ankete katılımı sağlanmıştır. PLS SEM modeli için gerekli 125 firma sayısı aşılarak 136 firmayla 466 olarak belirlenen portföyün yaklaşık %29’luk dilimine ulaşılmıştır. Katılımcı profili kapsamında, çalışan sayısı dikkate alınarak daha büyük ölçekli firmaların dâhil olduğu analiz, 56.6’lık yüzdelik oranıyla ağırlıklı katılım oranını temsil ederken orta ölçekli firma katılımı ise %40.4’lük bir dilimle ikincil düzeyde çoğunluğu simgelemektedir. Küçük ölçekli firmalar %2.9’luk bir payla en az katılım ağırlığını göstermektedir. Burada dikkat çeken tespit ise KOBİ (Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler) oranının %43.3 civarında bir katılım payıyla büyük ölçekli firmalara yaklaştığı ve buna rağmen yine de büyük ölçekli firmaların gerisinde kaldığı gözlenmektedir. Sonuçlar iyimser yanıyla değerlendirildiğinde bu yöndeki KOBİ girişimlerinin büyük ölçekli firma potansiyellerine sahip olmamalarına rağmen yaklaşık katılımcı oranıyla süreçlerin dijitalleştirilmesi konusunda eş değer bir çabaya katlandıkları gözlemlenmektedir. Tablo 2’de belirtilen katılımcı firma oranları verilerin istatistiki analizleri için elverişli görülmektedir.

Bazı araştırma bulgularına göre son yıllarda yapılan araştırmalara kıyasla bu çalışmanın katılım oranı makul düzeyde görülmektedir. (Delic ve Evers, 2020, s.7). Tablo 2’de firmaların yasal çerçeveleri, faaliyet gösterdiği sanayi dalı, çalışan sayısı ve yıllık ciroyla ilgili bilgiler yer almaktadır.



Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistiki Veriler

	Frekans (f)	Yüzdelik (%)
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde ettiğiniz ya da varsayılan faydaları nasıl değerlendirirsiniz?		
Enerji verimliliğinde artış	68	51.9
Gerçek zamanlı ve güvenilir veri alışverişi	74	56.5
İşlem süreçlerinde izlenebilirlik	72	55.0
İşlem süreçlerinde şeffaflık	62	47.3
İşlem verimliliğinde artış	95	72.5
Kişiselleştirilmiş ürün çeşitliliği sağlama	12	9.2
Maliyetlerde iyileşme	92	70.2
Tedarik zinciri iş birliğinde artış	32	24.4
Tedarik zinciri oyuncular arasında güvenin sağlanması	25	19.1
Tedarik zinciri şeffaflığında artış	31	23.7
Tedarik zinciri yönetimi ve kontrolünde iyileşme	51	38.9
Tedarik zincirinde stratejik iş birliğinin güçlenmesi	28	21.4
Yüksek hacimli çıktılar	33	25.2
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde ettiğiniz fayda skoru	5.85 ± 3.64	5.0 (0.0 – 15.0)
Endüstri 4.0 uygulamalarında firmanızı ne düzeyde yeterli görüyorsunuz?		
Çok yeterli değil	16	11.8
Yeterli değil	35	25.7
Ne yeterli, ne de yetersiz	55	40.4
Yeterli	25	18.4
Çok yeterli	5	3.7
Unvanınız		
Şirket Sahibi	2	1.5
Yönetim Kurulu Başkanı	1	0.7
Yönetim Kurulu Üyesi	1	0.7
Üst Kademe Yönetici	44	32.4
Orta Kademe Yönetici	67	49.3
Diğer	21	15.4
Firmanın dâhil olduğu sektör		
Ana Otomotiv Sanayi	17	12.5
Yan Otomotiv Sanayi	119	87.5
Firmanın çalışan sayısı		
10-49	4	2.9
50-249	55	40.4
250 ve üzeri çalışan	77	56.6
Firmanın yıllık cirosu		
3 milyon TL	2	1.5
25 milyon TL	20	14.7
125 milyon TL	38	27.9
125 milyon TL ve üzeri	76	55.9

*Çoklu yanıt

Farklı görüşlere istinaden örneklem sayısını belirlemede madde sayısının en az beş katı alınabileceği gibi Nunnally'e (1978) göre madde sayısının 10 katının da alınabilmesinin

mümkün olduğu ifade edilmektedir. Geliştirilmiş ölçek çerçevesinde anketin 25 sorusu ölçeğe ilişkin olduğundan ve diğerleri ise demografik sorular kapsamında değerlendirildiğinden ötürü literatüre dayalı olarak madde sayısının en az 5 katı alınarak asgari düzeyde katılımı beklenen $25 \times 5 = 125$ firma sayısı belirlenmiştir. Bryman ve Cramer'e (2001) göre eğer amacınız bir ölçek geliştirme ya da uyarlama çalışması doğrultusunda ise $25 \times 5 = 125$ firma sayısının yeterli görüldüğü belirtilmektedir.

TAYSAD ve OSD veri tabanında bulunan üyelerin firma yönetim kurulu başkanları, yönetim kurulu üyeleri, üst ve orta kademe yöneticilerle yapılan görüşmeler aracılığıyla ilgili verilere ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu yöneticilerin uzmanlık alanları üst ve orta kademe yönetimi dışında ağırlıklı olarak AR-GE mühendisleri, analiz ve simülasyon uzmanları, proje ve süreç geliştirme mühendisleri, bilgi teknolojisi liderleri gibi alan uzmanları katkı sağlamıştır. Tablo 2'nin göstergelerine göre ilgili departmanlar diğer seçenekleri ifade eden %15.4'lük yüzdelik dilime girmekte bunların haricinde ağırlıklı olarak %32.4 üst kademe yöneticileri ve %49.3 oranında orta kademe yöneticilerinin süreçlerin dijital dönüşümü üzerine katkıları görülmektedir. İlgili Tablo 2'de Endüstri 4.0 kapsamında belirlenen faydalar çerçevesindeki dijital dönüşüme eğilimin yönünü tayin eden kriterlere dikkat çekilmektedir.

Endüstri 4.0 bileşenlerine olan eğilimi belirleyen kriterler kapsamında işlem verimliliğinde artış yüzde 72.5, maliyetlerde iyileşme yüzde 70.2, gerçek zamanlı ve güvenilir veri alışverişi yüzde 56.5, işlem süreçlerinde izlenebilirlik yüzde 55 gibi oranlarla Endüstri 4.0'ın benimsenmesinde ön plana çıkmaktadır. Bu kriterler yüzde 51.9 gibi bir oranla enerji verimliliğinde artışı takip ederken işlem süreçlerinde şeffaflığın sağlanması da dördüncü sanayi devrimi teknolojilerinin tercih sebepleri arasında belirginleşmektedir. Düşük oranda derecelendirilen fayda unsurları arasında kişiselleştirilmiş ürün çeşitliliği sağlamaya olan talep yüzde 9.2 ve tedarik zinciri oyuncularında güvenin sağlanması ise yüzde 19.1'lik payla yerini almaktadır.

Tablo 3'ün sayısal verilerine göre katılan otomotiv firmalarının Endüstri 4.0 uygulamadaki olgunluk düzeylerine bakıldığında %35.3 oranındaki katılımcının bu endüstriyel yetenekleri uyarladığı gözlemlenmektedir. Endüstri 4.0'ın devreye alınması konusunda her türlü planlamanın yapıldığı fakat diğer faktörlerin etkisiyle gecikmenin yaşandığını bildiren firmaların oranı ise %15.4 olarak tespit edilmiştir. Bu yüzdelik dilim gerekli koşullar sağlandığında Endüstri 4.0'ı uyarlayan segmente dâhil edilerek Endüstri 4.0'ı

uyarlayan profil oranını yukarıya çekecektir. Diğer taraftan firmalar %17.6'lık bir oranla Endüstri 4.0 yetenekleri üzerine farkındalık oluşturduğundan bu segment hazırlık aşamasını temsil eden planlama faaliyetlerini yürütmektedir. Dördüncü sanayi devrimini tanımlayan teknolojik imkânlar konusunda yeterli farkındalığın oluşmaması bazı firmaların bu gelişmelere odaklanmasına rağmen stratejik planlamaya yönelik herhangi bir girişimlerinin olmadığını %25'lik bir oranla göstermektedir. Sadece %6.6'lık firma oranına dâhil segmentin endüstriyel devrimin yarattığı etkilere uzak kalarak konuyla yakından ya da uzaktan ilgileri olmadığı görülmektedir. Araştırmalarımıza göre %25 ve %6.6'lık dilimlere karşılık gelen firmaların daha çok gerekli koşulları sağlayacak elverişli süreçlere sahip olmadıkları dikkat çekmektedir. Daha net ifade etmek gerekirse operasyonel ve tedarik süreçlerini Endüstri 4.0 gereksinimlerini karşılayacak şekilde dönüştürmelerinin an itibarıyla mümkün olmadığı dile getirilmektedir. Bunun sonucunda firmalar kendi süreçlerinin Endüstri 4.0'ı uyarlamaya yatkın süreçler olmadığına işaret etmektedir.

Tablo 3. Tanımlayıcı İstatistikler

	Frekans (f)	Yüzdelik(%)
Endüstri 4.0 teknolojileri bağlamında mevcut durumunuz hangi aşamadır?		
İlgileniyoruz, fakat herhangi bir planımız mevcut değil	34	25.0
Plan aşamasında	24	17.6
Plan mevcut değil	9	6.6
Planladık, ancak uygulamaya geçmedik	21	15.4
Uyguluyoruz	48	35.3
Endüstri 4.0 teknolojilerinden hangilerini kullanmaktasınız?		
AGV (Otomatik Güdümlü Araçlar)	1	0.7
Akıllı Taşıma ve Depolama Sistemleri	1	0.7
Blok Zinciri	8	5.9
Bulut Bilişim	62	45.6
Büyük Veri Analitiği	44	32.4
Eklemeli Üretim	30	22.1
ERP	1	0.7
Hat üzerindeki makinelerin birbirleri ile haberleşmesi	1	0.7
Kamera kontrol sistemleriyle hasta yakalama	1	0.7
Makine Öğrenimi Algoritmaları	1	0.7
MES (Üretim Yönetim Sistemi)	1	0.7
Mobil Teknolojiler	1	0.7
Nesnelerin İnterneti	55	40.4
Otomasyon Robot sistemleri	1	0.7
Otomasyon ve IoT uygulamaları	1	0.7
PLC Sistemi (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)	1	0.7
PLM (Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi)	1	0.7
POP Yüzey İşlem Teknolojisi	1	0.7
Radyo Frekansı Tanımlama	12	8.8
Robot Teknolojisi	1	0.7

Robotik Uygulamalar	1	0.7
Robotikleşme ve Sistemi Dijitalleştirme	1	0.7
Robotik Süreç Otomasyonu	1	0.7
Sanal gerçeklik uygulamaları (tasarım ve saha)	1	0.7
Siber - Fiziksel Sistemler	28	20.6
Tesis Verilerinin SAP üzerinden Takibi, Raporlanması ve Müşteriye bilgilendirilmesi	1	0.7
Veri toplama- Anlık Takip	1	0.7
Diğer	5	3.7

*Çoklu yanıt

Otomotiv sektörünün ana ve yan sanayisi içinde Endüstri 4.0 bileşenlerinin kullanım yoğunluğu istatistiki değerlendirmede netleşmektedir. İlk dörde giren endüstri bileşenini bulgulara göre değerlendirdiğimizde Bulut Bilişim %45.6 oranıyla ağırlıklı olarak daha fazla kullanım yoğunluğuna sahip birincil düzeyde geçerli bileşen olarak öne çıkmaktadır. Diğer teknolojik bileşen ise Nesnelerin interneti, Otomasyon ve IoT uygulaması seçeneği ile beraber %41.1'lik dilimle ikinci sırada yer almaktadır. Bunları takiben Büyük veri analitiği 32.4' lük yüzdelik oranıyla tercih edilirken dördüncü sırada ise Eklemeli üretim teknolojilerinin benimsendiği görülmektedir. Bu teknolojinin tercih yoğunluğu %22.1'lik bir payla gösterilen sayısal veriler yardımıyla kanıtlanmaktadır. Robotik Süreç Otomasyonu ise %3.5'lik bir oranla genel otomasyon uygulamaları içinde yer almaktadır. Bu seçeneğin kullanım oranını belirleyen tercih olasılığını akıllı taşıma ve depolama sistemleri, mobil teknolojiler ve diğer otomasyon uygulamaları kapsamında yukarıya çekmek mümkündür.

Literatürün uygulama örneklerinde IoT, BDA ve Bulut sistemlerinin birlikte etkinleştirildiği gözlenmekte, ürünün oluşmasından ömrünü tamamlayıncaya kadar geçen sürede etkin süreçleri desteklediği tespit edilmektedir. (Zheng vd., 2020, s.22). Endüstri 4.0'ın tercih sebeplerinden sayılan etkili teknolojiler bağlamında önceki literatür araştırmalarındaki bulgular, buradaki sonuçlarla örtüşerek uyumluluk arz etmektedir. Bununla birlikte diğer teknolojiler kadar kabul gören ve uygulamaya yönelik tercih kapsamında önemli bir yere sahip olan siber fiziksel sistem altyapısının kurulması %20.6 oranında firmalar nezdinde kabul görürken RFID ve Blok zinciri teknolojilerinin kurumsal sistemlerle bütünleşmesi ise %8.8 ve %5.9 oranında değerler olarak gerçekleşmektedir.

Endüstri 4.0'ın ana teknolojileri üzerine yapılan araştırmalara göre siber fiziksel sistemlerin kurulmasıyla siber ve gerçek dünyanın birleştirilmesi sağlanarak cihazlar,

insanlar ve makineler arasında iletişimin kurulması amacıyla nesnelerin interneti gibi teknolojiler yardımıyla ürünleri de bu ağı dâhil etmektedir. Bu süreç artan hacimde verinin bir araya getirilmesini temin ederek Büyük veriye dair analizleri zorunlu tutmaktadır. Bu tür bir bütünleşik yapı öngörüye dayalı doğru tespitlerin yapılmasını olanaklı hâle getirerek aksamaları ortaya çıkmadan engelleyebilmektedir. (Kipper vd., 2020, s.1620-1621)

Firmalara ait tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde %35.3'ünün Endüstri 4.0 teknolojilerini uyguladığı, %45.6'sının bulut bilişim kullandığı, %72.5'inin ise işlem verimliliğinde daha fazla faydaya ulaştığı tespit edilmektedir. Firmalara ait ortalama fayda skoru ortalaması 5.85 iken minimum fayda skoru 0 ve maksimum fayda skoru 15 olarak elde edilmiştir. Diğer değişkenlere ait frekans ve yüzdelik bilgileri Tablo 2'de detaylı olarak sunulmuştur.

Daha önceki bölümlerde yer aldığı gibi Sehnem vd. (2019), enerji ve malzeme verimliliğindeki artışı endüstriyel simbiyoz gibi uygulamalara bağlamaktadır. Dantas vd. (2021) ise Endüstri 4.0'ın doğal gelişimiyle sağlanan akıllı sistemler yardımıyla gerçek zamanlı veri alışverişine vurgu yapmaktadır. Bag vd. (2021), Endüstri 4.0 ile gelen operasyonel izlenebilirliğe ve esnekliğe atıfta bulunarak süreçlerdeki iyileşmeye dikkatleri çekmektedir. Bu ve benzeri Endüstri 4.0 faydaları aktarılan literatür yardımıyla belirlenmiştir. Araştırmanın ölçeklendirme yapısı verildikten sonra anket tasarımı ve ilgili araçları aşağıda detaylı şekilde sunulmaktadır.

Geliştirilen ölçek modelini test etmek amacıyla yürütülecek anket beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde firmaların Endüstri 4.0 girişimlerinde hangi statükoyu temsil ettikleri ve firmaların Endüstri 4.0 vizyonu ile ilgili statükolarını tespit etmeyi amaçlayan planlama ve uygulama esasında mevcut durumunu gösteren literatüre dayalı sorular yer almaktadır. Bu bölüm ayrıca katılımcıların uyguladığı ya da planladığı bazı Endüstri 4.0 teknolojilerinin tespitine yöneliktir. İkinci bölüm ölçek geliştirme çerçevesinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin firmalara sağlayacağı faydaları içermekte olup bununla ilintili performans göstergeleri burada yer almaktadır. Endüstri 4.0'ın getirdiği temel ilkeleri temsil eden faydalar belirli kalemler altında sıralanıp değerlendirilmek üzere katılımcılara sunulmaktadır. Firmaların Endüstri 4.0 konusundaki yeterlilik algısı burada ölçülmeye çalışılacaktır. Üçüncü bölümde, geliştirilen ölçek kapsamında firma düzeyinde Endüstri 4.0'ın etkileri dikkate alınarak Tedarik Zincirinde İzlenebilirlik, Güven, Entegrasyonu ve Birlikte Çalışabilirliği hangi oranda etkilediği ile ilgili sorular yer

almaktadır. Dördüncü bölüm ise özellikle sürdürülebilir tedarik zincirinin döngüsel boyutunu dikkate alan döngüsel ekonominin temel prensiplerini içermektedir. Endüstri 4.0'ın benimsenmesinde öncelikli literatür dayanaklı temel yeteneklerin döngüsel ekonominin ilkelerine etkileri araştırılmaktadır. Bu sayede literatür dayanağı ile geliştirilen ölçek modelinin hedef kitle tarafından değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Beşinci bölümde demografik bilgiler ışığında katılımcı uzman yetkinliği, ana ve yan sanayi ayrımında sektörel konumu, örgütün yapısını ve büyüklüğünü belirleyecek olan istihdam düzeyi ve ciroya ilişkin bilgiler sorgulanmaktadır. Ölçek değerlendirmesinde Endüstri 4.0 bileşenleri ile Endüstri 4.0'ın getirdiği yetenekler birinci aşamada incelenirken ikinci aşamada ise belirleyici yeteneklerin firmaların döngüsel tedarik zinciri yönetimine katkıları değerlendirilmek üzere beşli Likert ölçeği kullanılacaktır. Malhotra ve Dash tarafından 5 ¼ Kesinlikle Doğru ile Kesinlikle Doğru Değil 1 ¼ arasında değişken değerleri gösteren beşli Likert ölçeği bildirilmektedir. (Debadutyi, 2018, s.186). Araştırmanın kapsamı geliştirilen modelin yapısı gereği hipotezleri sınamak amacıyla anketin kullanılmasını öngören nicel bir metoda yönelmektedir. Hazen vd. (2017), yapıların örtük ilişkilerini değerlendirmek amacıyla nicel verileri sağlamak için anket çalışması yürütüldüğünü beyan etmektedir. Bu sayede hipotezler bakımından elverişli verilere ulaşılması hedeflenmektedir.

Yapısal eşitlik modellemesi kapsamında Endüstri 4.0'ın benimsenmesi üzerine ampirik çalışma yürütülerek hipotezlerin test edilmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda ilgili firmalar psikometrik analize dâhil edilerek yapısal eşitlik modellemesinin yapısı ortaya koyulmaya çalışılacak, elverişli analizlerle ilgili hipotezlerin sınanması sağlanacaktır.

5.2 Psikometrik Yapının İncelenmesi ve Hipotez Testi

Ampirik bulguların değerlendirilmesi açısından verilerin yanlılık testlerinin yapılması önem arz etmektedir. Veri toplama sürecinde yanıt vermeme yanlılığının değerlendirilmesi sonuçları etkilemesi açısından önemlidir. Belirlenen zamandan önce ve sonra anketi cevaplayanlar kıyaslandığında daha sonra anketi cevaplayanların bakışının cevaplamayanların düşüncelerini yansıttığı hipotezinden hareketle önce ve sonra yanıt verenlerin değerleri alınarak bir “t” testi yapılır. Veri derleme süreci başında alınan veriler ile ortası ve sonunda toplanan veriler olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Sunulan anket iki grup arasında farklılık göstermediğinden ulaşılan verilerin cevap vermeme önyargısından ya da yanlılığından oldukça uzak olduğuna işaret etmektedir. Dolayısıyla müşterek yöntem yanlılığının neticeyi etkileme gücünün belirlenmesi, firmaların bireysel

katılımı söz konusu olduğundan araştırmanın sonuç analizi için zorunludur. (Debadutyi, 2018, s.187), ilk ve daha sonraki yanıtlayanlar arasında yapılan “t” testi bu gruplar arasında anlamlı bir farkın oluşmadığı bilgisini vermektedir.

Araştırmada ölçüm aracı olarak kullanılan yapısal eşitlik modellemesi, geliştirilen modeldeki nedensellik ilişkilerinin sorgulanmasında çok değişkenli bir analiz yöntemi olarak öne çıkmaktadır. (Gürbüz, 2019, s.17) Güvenilir bir analiz yöntemi olan YEM geliştirilen ölçekteki nedensellik ilişkisini örneklemden elde edilen verilerle doğrulamaya çalışmaktadır. (Gürbüz, 2019, s.5). Çalışmada öngörülen yapısal eşitlik modeli aracı temelinde içsel tutarlılığı veren güvenilirlik ve verimlilik ölçümü üzerine “**Cronbach Alpha**” katsayılarının tespiti öngörülmektedir. Ölçeğin iç tutarlılığı için Cronbach katsayısının “0 ile 1” arasında bir sayı olması gerektiği önerilmekte, 0.50 ve üzeri ölçümler ise yeterli düzeyde kabul edilmektedir. (Sönmez Çakır, 2020, s.66). Diğer literatür dayanağına göre Bacon ve arkadaşları tarafından güvenilirliği sağlayan model uyumuna işaret edilerek 0.6’nın üzerinde belirlenen değerlerin cronbach alfa açısından güvenilir değer düzeyini ifade ettiği vurgulanmaktadır. (Raman vd., 2018, s.588)

Faktör analizleri bilindiği kadarıyla iki kısma ayrılmaktadır. Açıklayıcı faktör analizi (AFA) olarak bilinen yöntem daha önce tanımlanmamış yeni geliştirilen bir yapıyı açıklamak üzere kullanılmaktadır. Açıklayıcı faktör analizi ölçek geliştirme çalışmalarında gizli yapının olay ya da olgularını keşfetmek maksadıyla ilgili faktör sayısının belirlenmesi için dikkate alınmaktadır. Bir diğer analiz ise Doğrulamalı Faktör Analizi (DFA) olup daha önceden tanımlanmış bir ölçeğin doğrulanması için esas alınan bu yöntem elde edilen veriler ile ifadeler ve faktörler arasındaki ilişkiyi kanıtlamak için uygulanmaktadır. (Sönmez Çakır, 2020, s.13). Çalışmanın genel konsepti hazır bir ölçek üzerine kurulmadığından dolayısıyla yeni bir ölçek geliştirildiğinden ötürü DFA bu çalışmanın dışında tutulmaktadır. Açıklayıcı faktör analizi (AFA) yeni bir ölçek modelini açıklamak amacıyla tercih edildiğinden bu çalışmanın faktör analizleri için elverişli görülmektedir.

Yapısal eşitlik modellemesi kapsamında incelenen yansıtıcı ölçüm modelinde ilk aşamada 0.708 oranından yüksek saptanan gösterge değerleri, varyansın yüzde 50’si ve üzerini anlamlandırdığı için madde güvenilirliği açısından onaylanmakta ve önerilmektedir. İkincil olarak değerlendirilmesi beklenen iç tutarlılık güvenilirliği, bileşik güvenilirlik aracılığıyla açıklanmaktadır. 0.60 ve 0.70 aralığındaki değerler, keşifsel araştırmalar için uygun görülürken 0.70 ve 0.90 aralığındaki güvenilirlik oranları ise elverişli ya da iyi olarak

yorumlanmaktadır. Değerler 0.95'in üzerinde seyrediyor ise maddelerin güvenilirliğini zayıflatan bir durumdan bahsedilmekte ve yapı geçerliğini yitirmektedir. Bu durum sorunlu kabul edilmektedir. Bu sebeple bileşik güvenilirlik sayesinde daha düşük değerlerin elde edilmesini sağlayan Cronbach Alfa diğer bir değerlendirme ölçüsü olarak tercih edilmektedir. (Hair vd., 2019, s.8). Uyum geçerliliğini sağlamak adına Bileşik Güvenirlik (CR) ve Açıklayıcı Ortalama Varyans (AVE) esas alınmaktadır. Bileşik güvenirliliğin 0.70' in üzerinde seyretmesi model güvenirliliği ve uyum geçerliliği için yeterli görülmektedir. Açıklayıcı ortalama varyans değerinin 0.50 üzerinde olması uyum geçerliliği için yeterli kabul edilmektedir. Geçerliliğin sağlanmasında dikkate alınması gereken husus, bileşik güvenirlilik ölçümlerinin AVE değerlerinden daha yüksek olması gerektiğidir. (Sönmez Çakır, 2020, s.68-69). Bu değerlerin ise uyum geçerliliği ve yakınsak geçerliliğin sağlanmasında önemli olduğu ifade edilmektedir.

İlk olarak birleşme geçerliliği incelendiğinde birleşme geçerliği için faktör yüklerinin ≥ 0.70 ve AVE katsayılarının ≥ 0.50 üzeri olması gerekmektedir. Ancak Fornell ve Larcker (1981) AVE 0.50'ten küçükse ve CR (Birleşik Güvenirlik) değeri 0.60'dan yüksek ise yapının birleşme geçerliliğinin sağlandığını belirtmektedir. Eğer faktör yükleri 0.40 ile 0.70 arasında ise ve AVE ve CR katsayıların eşik değerlerinin üstünde ise maddeler ölçekten çıkarılmamaktadır. Tedarik Zinciri İş Birliği ölçeğine ait faktör yükleri incelendiğinde İzlenebilirlik, Güven, Birlikte Çalışabilirlik, SC Entegrasyonu boyutlarına ilişkin maddelerin faktör yüklerinin tamamı 0.70 ve üzeri olarak elde edildiği görülmektedir. Döngüsel Ekonomi ölçeğinin ise Ürünlerin Ekolojik Tasarımı, Kaynak Verimliliği, Atık Yönetimi ve Kaynak Geri Kazanımı alt boyut maddelerinin faktör yükleri de 0.70 ve üzeri olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ölçeklerin alt boyutlarının AVE değerleri 0.50 üzerinde ve CR değeri 0.70 üzerinde elde edilmiştir. Genel olarak faktör yüklerinin ≥ 0.70 , CR değerlerinin ≥ 0.70 ve AVE değerlerinin ≥ 0.50 , $CR > AVE$ olmasından dolayı ölçeklere ait birleşim geçerliliği sağlanmıştır. Bu kavramlar zaten birleşim geçerliliği altında yer alan kavramlardır. AVE değerinin ≥ 0.50 , $CR > AVE$ olması yakınsak geçerliliğinin sağlandığının göstergesidir. İç tutarlılık güvenirliliği için Cronbach Alfa değerinin ≥ 0.50 ve CR katsayılarının ≥ 0.70 üzeri olması gerekmektedir. (Hair vd. 2019, s.15). İç tutarlılık güvenirliliği için Cronbach Alfa ve CR katsayıları incelendiğinde alt boyutlarının Cronbach Alfa değeri 0.567 – 0.908 aralığında, CR değeri ise 0.815 – 0.936 arasında değişmektedir. Elde edilen bu katsayılara göre iç tutarlılık güvenirliliği sağlanmıştır. (Tablo 4)

Tablo 4. Ölçeklere Ait İç Tutarlılık ve Birleşim Geçerliliğinin İncelenmesi

Ölçekler	Maddeler	Faktör Yüğü	CA	CR	AVE
Tedarik Zinciri İş Birliğı					
İzlenebilirlik	Madde 1	0.814	0.567	0.822	0.697
	Madde 2	0.856			
Güven	Madde 3	0.784	0.661	0.815	0.596
	Madde 4	0.786			
	Madde 5	0.746			
Birlikte Çalışabilirlik	Madde 6	0.799	0.630	0.840	0.726
	Madde 7	0.901			
SC Entegrasyon	Madde 8	0.849	0.642	0.848	0.736
	Madde 9	0.867			
Döngüsel Ekonomi					
Ürünlerin Ekolojik Tasarımı	Madde 1	0.802	0.867	0.909	0.715
	Madde 2	0.860			
	Madde 3	0.872			
	Madde 4	0.847			
Kaynak Verimliliğı	Madde 5	0.808	0.857	0.903	0.700
	Madde 6	0.813			
	Madde 7	0.878			
	Madde 8	0.846			
Atık Yönetimi	Madde 9	0.840	0.908	0.936	0.784
	Madde 10	0.882			
	Madde 11	0.908			
	Madde 12	0.909			
Kaynak Geri Kazanımı	Madde 13	0.812	0.892	0.925	0.757
	Madde 14	0.863			
	Madde 15	0.911			
	Madde 16	0.890			

CR (Birleşik/yapı güvenirligi), AVE (Ortalama Açıklanan Varyans)

Diğer aşamalardan sonra tespiti gerekli olan ölçüm ayrışma geçerliliğinin (discriminant validity) ölçümüdür. Bu ölçüm, modeldeki faktörlerin göstergelerinin birbiri ile ilişkisinin düzeyini belirlemeye yönelik diğer bir değişle birbirinden ayrılma derecesini tespit amaçlı katsayıları vermektedir. Belirli yöntemler arasında *Fornell Larcker Kriteri*, *Cross Loadings* ve *Heterotrait Monotrait Ratio (HTMT)* (Sönmez Çakır, 2020, s.69-73) bulunmaktadır. Ayrışma geçerliliğı bilhassa model için belirtilen yöntemler arasında uyum yakalandığı takdirde sağlanması söz konusudur. Yakınsak ve ayrışma geçerliliğı yardımıyla modeldeki gizli değişkenlerin kendi içinde tutarlı olduğu ve modelin yapısal analizi için kabul edilebilir olduğu gösterilecektir. Bu sayede yakınsak güvenilirlik ve ayırt edici değerklik düzeylerinin açık şekilde yeterli olduğu görölmektedir.

Tablo 5. Ayrışma Geçerliliği (Fornell Larcker)

	Atık Yönetimini	Birlikte çalışabilirlik	Güven	Kaynak Geri Kazanımını	Kaynak Verimliliği	SC Entegrasyon	Ürünlerin ekolojik tasarımını	İzlenebilirlik
Atık Yönetimini	0.886							
Birlikte Çalışabilirlik	0.381	0.852						
Güven	0.422	0.574	0.772					
Kaynak Geri Kazanımını	0.728	0.421	0.475	0.870				
Kaynak Verimliliği	0.585	0.440	0.566	0.692	0.837			
SC Entegrasyon	0.345	0.565	0.636	0.427	0.468	0.858		
Ürünlerin Ekolojik Tasarımını	0.578	0.436	0.456	0.552	0.529	0.433	0.846	
İzlenebilirlik	0.439	0.487	0.699	0.516	0.596	0.455	0.366	0.835

Ayrıştırma geçerliliği geliştirilen Fornell-Larcker ölçütünde faktörlerin AVE katsayılarının karekökünün yapıdaki diğer faktörler arasındaki korelasyon katsayılarından yüksek olması gerekmektedir. Köşegenlerde yer alan ve koyu punto ile gösterilen değerler faktörlere ait AVE karekökü iken diğer değerler ise faktörler arasındaki korelasyon katsayısıdır. Analiz sonucunda AVE karekök katsayıların kendi satır ve sütunundaki korelasyon katsayılarından yüksek olarak elde edildiğinden ayrışma geçerliliği sağlanmıştır. Ancak Henseler ve diğerleri (2015), Fornell-Larcker ölçütünde yapılar için tespit edilen gösterge yükleri minimal düzeyde farklı değerler aldığından iyi bir başarı göstergesi olarak algılanmamaktadır. Değerler 0.65 – 0.85 arasında seyrediyorsa bu durum geçerli kabul edilmektedir. Öyle ki diğer bir ölçüt olarak HTMT oranlarına bakılması da uygun görülmektedir. (Hair vd., 2019, s.9).

Tablo 6. Ayrıştırma Geçerliliği (HTMT)

	Atık Yönetimi	Birlikte Çalışabilirlik	Güven	Kaynak Geri Kazanımını	Kaynak Verimliliği	SC Entegrasyon	Ürünlerin Ekolojik Tasarımı
Atık Yönetimini							
Birlikte Çalışabilirlik	0.495						
Güven	0.541	0.888					
Kaynak Geri Kazanımını	0.806	0.536	0.615				
Kaynak Verimliliği	0.663	0.584	0.749	0.789			
SC Entegrasyon	0.442	0.875	0.976	0.558	0.634		
Ürünlerin Ekolojik Tasarımı	0.651	0.570	0.596	0.625	0.615	0.575	
İzlenebilirlik	0.609	0.818	1.128	0.723	0.854	0.745	0.522

Yapısal model bağlamında ölçek yapısındaki boyutların ampirik olarak farklılığının değerlendirilmesi ayırt edici geçerliliğin tespit edilmesiyle sağlanmaktadır. Ayrıştırma geçerliliği için geliştirilen diğer bir ölçüt ise HTMT katsayılarıdır. Henseler ve diğerleri (2015), korelasyonların heterotrait-monotrait (HTMT) oranının verilmesinin uygun olduğunu belirtmektedir. Maddelerin aynı yapıyı test ettiği bir durumda ilgili korelasyonların ortalama değeri için HTMT oranlarının saptanması önerilmektedir. HTMT oranlarının belirli bir değerin üzerine çıkmaması beklenmektedir. Bu değer, 0.90 olarak belirtilmektedir. (Hair vd., 2019, s.9). Henseler vd. (2015) göre Ayrıştırma geçerliliğinin sağlanması için HTMT katsayılarının 0.90'ın altında olması gerekmektedir. Güven ile SC Entegrasyonu ve İzlenebilirlik arasındaki HTMT katsayıları 0.90 üzerinde elde edildiği için güven boyutunda yer alan maddeler çapraz yüklerine göre ölçekten çıkarılmıştır. Dolayısıyla güven boyutu ölçekten çekilmektedir. Güven faktörünün yapısı doğrulanamadığı için ilgili hipotez de **(H1B)** test edilememektedir. Elde edilen veriler güven alt faktörünün yapısını sağlayamadığından ilgili hipotez sınanmayarak hipotez seti içerisinden çıkarılmaktadır.

Tablo 7. Güven Boyutu Ölçekten Çıkarıldıktan Sonra Elde Edilen İç Tutarlılık ve Birleşim Geçerliliğinin İncelenmesi

Ölçekler			CA	CR	AVE
Tedarik Zinciri İş Birliği					
İzlenebilirlik	Madde 1	0.814	0.567	0.822	0.697
	Madde 2	0.856			
Birlikte Çalışabilirlik	Madde 6	0.799	0.630	0.840	0.726
	Madde 7	0.901			
SC Entegrasyon	Madde 8	0.849	0.642	0.848	0.736
	Madde 9	0.867			
Döngüsel Tedarik Zinciri					
Ürünlerin Ekolojik Tasarım	Madde 1	0.801	0.867	0.909	0.715
	Madde 2	0.860			
	Madde 3	0.872			
	Madde 4	0.848			
Kaynak Verimliliği	Madde 5	0.807	0.857	0.903	0.700
	Madde 6	0.813			
	Madde 7	0.878			
	Madde 8	0.847			
Atık Yönetimi	Madde 9	0.842	0.908	0.936	0.784
	Madde 10	0.882			
	Madde 11	0.909			
	Madde 12	0.908			
Kaynak Geri Kazanımı	Madde 13	0.812	0.892	0.925	0.757
	Madde 14	0.862			
	Madde 15	0.912			
	Madde 16	0.890			

CR: Composite Reliability (Birleşik/Yapı Güvenirliği), AVE: Average Variance Extracted (Ortalama Açıklanan Varyans)

Güven boyutu çıkarıldıktan sonra genel olarak faktör yüklerinin ≥ 0.70 , CR değerlerinin ≥ 0.70 ve AVE değerlerinin ≥ 0.50 , $CR > AVE$ olmasından dolayı ölçeklere ait birleşim geçerliliği sağlanmıştır. Burada açıklanması gereken husus, elde edilen veriler güven alt faktörünün yapısını sağlamadığı için ilgili hipotezin değerlendirilmesi mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla güven faktörünün yapısı doğrulanamadığı için ilgili hipotez test edilememektedir.

İç tutarlılık güvenirliği için Cronbach Alfa ve CR katsayıları incelendiğinde alt boyutlarının Cronbach Alfa değeri 0.567 – 0.908 aralığında, CR değeri ise 0.822 – 0.936 arasında değişmektedir. Elde edilen bu katsayılara göre iç tutarlılık güvenirliği sağlanmıştır.

Tablo 8. Güven Boyutu Ölçekten Çıkarıldıktan Sonra Ayrışma Geçerliliği (Fornell-Larcker)

	Atık Yönetimini	Birlikte çalışabilirlik	Kaynak Geri Kazanımını	Kaynak Verimliliği	SC Entegrasyon	Ürünlerin ekolojik tasarımını	İzlenebilirlik
Atık Yönetimi	0.886						
Birlikte Çalışabilirlik	0.381	0.852					
Kaynak Geri Kazanımı	0.728	0.421	0.870				
Kaynak Verimliliği	0.585	0.440	0.693	0.837			
SC Entegrasyon	0.345	0.565	0.427	0.468	0.858		
Ürünlerin Ekolojik Tasarımı	0.577	0.436	0.553	0.529	0.434	0.846	
İzlenebilirlik	0.439	0.487	0.516	0.596	0.455	0.365	0.835

Ayrıştırma geçerliliği geliştirilen Fornell-Larcker ölçütünde faktörlerin AVE katsayılarının karekökünün yapıdaki diğer faktörler arasındaki korelasyon katsayılarından yüksek olması gerekmektedir. Köşegenlerde yer alan ve koyu punto ile gösterilen değerler faktörlere ait AVE karekökü iken diğer değerler ise faktörler arasındaki korelasyon katsayısıdır. Analiz sonucunda AVE karekök katsayıların kendi satır ve sütunundaki korelasyon katsayılarından yüksek olarak elde edildiğinden ayrışma geçerliliği sağlanmıştır.

Tablo 9. Güven Boyutu Ölçekten Çıkarıldıktan Sonra Ayrışma Geçerliliği (HTMT)

	Atık Yönetimini	Birlikte Çalışabilirlik	Kaynak Geri Kazanımını	Kaynak Verimliliği	SC Entegrasyon	Ürünlerin Ekolojik Tasarımı
Birlikte Çalışabilirlik	0.495					
Kaynak Geri Kazanımı	0.806	0.536				
Kaynak Verimliliği	0.663	0.584	0.789			
SC Entegrasyon	0.442	0.875	0.558	0.634		
Ürünlerin Ekolojik Tasarımı	0.651	0.570	0.625	0.615	0.575	
İzlenebilirlik	0.609	0.818	0.723	0.854	0.745	0.522

Ayrıştırma geçerliliği için geliştirilen diğer bir ölçüt ise HTMT katsayılarıdır. Ayrıştırma geçerliliğinin sağlanması için HTMT katsayılarının 0.90'nın altında olması gerekmektedir. Elde edilen HTMT katsayılarının tamamı 0.90'nın altında elde edildiği için ayrışma geçerliliği sağlanmıştır.

Tablo 10. Ayrışma Geçerliliği için Çapraz Yüklerin İncelenmesi

	Atık Yönetimi	Birlikte Çalışabilirlik	Kaynak Geri Kazanımı	Kaynak Verimliliği	SC Entegrasyon	Ürünlerin Ekolojik Tasarımı	İzlenebilirlik
ay1	0.842	0.281	0.568	0.499	0.177	0.428	0.439
ay2	0.882	0.286	0.665	0.514	0.294	0.544	0.364
ay3	0.909	0.381	0.659	0.497	0.409	0.538	0.337
ay4	0.908	0.386	0.682	0.560	0.322	0.529	0.422
et1	0.500	0.292	0.437	0.433	0.280	0.801	0.348
et2	0.500	0.364	0.505	0.433	0.400	0.860	0.304
et3	0.508	0.365	0.431	0.438	0.366	0.872	0.300
et4	0.452	0.440	0.492	0.484	0.406	0.848	0.293
kgk1	0.551	0.271	0.812	0.621	0.269	0.404	0.475
kgk2	0.663	0.338	0.862	0.478	0.372	0.511	0.358
kgk3	0.651	0.402	0.912	0.669	0.403	0.521	0.482
kgk4	0.663	0.432	0.890	0.629	0.424	0.484	0.475
kv1	0.486	0.342	0.541	0.807	0.352	0.398	0.537
kv2	0.489	0.337	0.608	0.813	0.425	0.480	0.436
kv3	0.463	0.344	0.579	0.878	0.384	0.487	0.535
kv4	0.518	0.445	0.591	0.847	0.408	0.409	0.486
scbc1	0.303	0.799	0.270	0.311	0.414	0.296	0.418
scbc2	0.345	0.901	0.428	0.426	0.537	0.431	0.418
sce1	0.231	0.490	0.367	0.432	0.849	0.350	0.398
sce2	0.358	0.480	0.366	0.374	0.867	0.393	0.384
sciz1	0.305	0.392	0.421	0.487	0.285	0.281	0.814
sciz2	0.422	0.422	0.442	0.508	0.466	0.327	0.856

Ay: Atık Yönetimi, ET: Ürünlerin Ekolojik Tasarımı, KGK: Kaynak Geri Kazanımı, KV: Kaynak Verimliliği, SCBC: Birlikte Çalışabilirlik, SCE: SC Entegrasyon, SCİZ: İzlenebilirlik

Yıldız (2020)'a göre ayrışma geçerliliğinde ilk olarak maddelerin binişik madde olup olmadıklarının incelenmesi gerekir. Modelde yer alan her bir maddenin en yüksek faktör yükü değeri kendi alt boyutu içerisinde olmalı ve diğer boyutlardaki faktör yükü arasında 0.1'den daha az fark olmamalıdır. Eğer bu fark 0.1'den az ise binişik madde olarak ifade edilir ve bu maddeleri modelden çıkarılması gereklidir. Maddelere ait çapraz yükler incelendiğinde ise ölçekte binişik madde yer almamaktadır.

Genel itibarıyla ölçeklere ait birleşim, iç tutarlılık ve ayrışma geçerlilik sonuçları incelendiğinde Tedarik Zinciri İş Birliği ölçeğinde güven boyutu olan 3 madde çıkarılmışken Döngüsel Ekonomi ölçeğinde herhangi bir madde çıkarılmamıştır. Bu şekilde ölçeklerin ve modelin birleşim, iç tutarlılık ve ayrışma geçerlilikleri sağlanmıştır.

Tablo 11. Yapısal Eşitlik Modellemesi Sonucu

	(β) Katsayı	S. sapma	t-değeri	P	f ²	VIF	R ²	Düzeltilmiş R ²
Birlikte Çalışabilirlik -> Atık Yönetimini	0.150	0.102	1.468	0.142	0.018	1.689	0.244	0.221
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru -> Atık Yönetimini	0.089	0.081	1.095	0.274	0.010	1.090		
SC Entegrasyon -> Atık Yönetimini	0.097	0.090	1.082	0.279	0.008	1.571		
İzlenebilirlik -> Atık Yönetimini	0.307	0.093	3.311	0.001	0.089	1.405		
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru -> Birlikte Çalışabilirlik (H1C)	0.277	0.075	3.690	<0.001	0.083	1.000	0.077	0.070
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru -> İzlenebilirlik (H1A)	0.200	0.077	2.602	0.009	0.042	1.000	0.040	0.033
Birlikte Çalışabilirlik -> Kaynak Geri Kazanımını	0.101	0.099	1.025	0.306	0.009	1.689	0.353	0.333
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru -> Kaynak Geri Kazanımını	0.173	0.072	2.407	0.016	0.043	1.090		
SC Entegrasyon -> Kaynak Geri Kazanımını	0.176	0.097	1.814	0.070	0.030	1.571		
İzlenebilirlik -> Kaynak Geri Kazanımını	0.353	0.102	3.471	0.001	0.137	1.405		
Birlikte Çalışabilirlik -> Kaynak Verimliliği	0.065	0.093	0.701	0.483	0.004	1.689	0.438	0.421
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru -> Kaynak Verimliliği	0.170	0.065	2.609	0.009	0.047	1.090		
SC Entegrasyon -> Kaynak Verimliliği	0.202	0.081	2.496	0.013	0.046	1.571		
İzlenebilirlik -> Kaynak Verimliliği	0.439	0.078	5.601	<0.001	0.244	1.405		
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru -> SC Entegrasyon	0.179	0.086	2.085	0.037	0.033	1.000	0.032	0.025
Birlikte Çalışabilirlik -> Ürünlerin Ekolojik Tasarımı	0.230	0.115	1.993	0.046	0.042	1.689	0.257	0.235
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru -> Ürünlerin Ekolojik Tasarımı	0.023	0.077	0.300	0.764	0.001	1.090		
SC Entegrasyon -> Ürünlerin Ekolojik Tasarımı	0.234	0.105	2.224	0.026	0.047	1.571		
İzlenebilirlik -> Ürünlerin Ekolojik tasarımı	0.142	0.099	1.430	0.153	0.019	1.405		

Hipotezler p değerleri, yol katsayıları ve t değerleri esas alınarak sınanmaktadır. Öncelikle bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerinde etkisinin olup olmadığı p değerine göre karar verilmektedir. Burada F^2 ise var olan etkinin büyüklüğünü ifade etmektedir. Elde edilen p değeri anlamlı ise etki vardır ($p < 0.050$), p değeri anlamlı değilse etki yoktur. ($p > 0.050$) P değerinin etki oranı ve anlam düzeyi önem arz etmektedir. F^2 aslında dışsal bir değişkenin modelden çıkarılmasıyla R^2 değerinde ne kadarlık değişimin meydana geldiğinin göstergesidir. F^2 'nin yüksek olması o parametrenin etkisinin yüksek olduğunu göstermektedir. Q^2 ise modelin tahminleme gücüyle ilişkilendirilmektedir. Hipotezlerin test edilmesinde öncelikle p değerleri esas alınmaktadır. İlgili literatür dayanakları devamında verilmektedir.

Yol katsayılarının (β) 0.1'e eşit ya da daha büyük değerler alması beklenildiği gibi, Hair ve arkadaşlarının önerisine göre t değerinin ise 1.96 oranında ya da bu değerin üzerinde değerler alması nispeten anlamlı bir model için tavsiye edilmektedir. (Delic ve Eysers, 2020, s.9). Birlikte Çalışabilirlik ile Atık Yönetimi arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı bulunmadığından Birlikte Çalışabilirliğin Atık Yönetimi üzerinde bir etkisi olmamaktadır. ($\beta=0.15$; $p=0.142$ ($p < 0.05$)). Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile Atık Yönetimi arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı elde edilmemiş olup Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun Atık Yönetimi üzerinde bir etkisi yoktur. ($\beta=0.089$; $p=0.274$ ($p < 0.05$)). SC Entegrasyon ile Atık Yönetimi arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı olmadığından SC Entegrasyonunun Atık Yönetimi üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır. ($\beta=0.097$; $p=0.279$). İzlenebilirlik ile Atık Yönetimi arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı elde edildiği için İzlenebilirliğin Atık Yönetimi üzerinde pozitif bir etkisi vardır. ($\beta=0.307$; $p=0.001$ ($p < 0.050$)). Birlikte Çalışabilirlik, Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru, SC Entegrasyon, İzlenebilirlik değişkenleri ile Atık Yönetiminin %22.1'lik kısmı açıklanabilmektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile Birlikte çalışabilirlik arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu sebeple Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun Birlikte Çalışabilirlik üzerinde pozitif bir etkisi vardır. ($\beta=0.277$; $p=0.001$; $t=3.690$). **(H1C)**. Bu verilere dayanarak Hipotez 1C kabul edilmektedir.

Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile Birlikte çalışabilirliğin %7'lik kısmı açıklanabilmektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile İzlenebilirlik arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiyi göstermekte ve böylelikle Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun İzlenebilirlik üzerinde pozitif bir etkisi olduğu görülmektedir. ($\beta=0.2$; $p=0.009$; $t=2.602$). **(H1A)**. Burada verilen değerlerin elverişli kabul edilen değer aralığında olması Hipotez 1A'nın desteklenmesi için yeterli görülmektedir. Dolayısıyla Hipotez 1A desteklenmektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile izlenebilirliğin %3.3'lük kısmı açıklanabilmektedir. Bu nedenle H1A ve H1C hipotezleri desteklenmektedir.

Birlikte Çalışabilirlik ile Kaynak Geri Kazanımını arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı değildir. Dolayısıyla Birlikte çalışabilirliğin Kaynak Geri Kazanımı üzerinde bir etkisi olmamaktadır. ($\beta=0.101$; $p=0.306$). Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile Kaynak Geri Kazanımı arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiyi göstermekte olup bu da Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun Kaynak Geri Kazanımı üzerinde pozitif bir etkisine işaret etmektedir. ($\beta=0.173$; $p=0.016$) ($p<0.050$). SC Entegrasyon ile Kaynak Geri Kazanımı arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı elde edilmemiştir. Bu nedenle SC Entegrasyonunun Kaynak Geri Kazanımı üzerinde bir etkisi görünmemektedir. ($\beta=0.176$; $p=0.07$). İzlenebilirlik ile Kaynak Geri Kazanımı arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı olduğund.n İzlenebilirliğin Kaynak Geri Kazanımı üzerinde pozitif bir etkisi var olmaktadır. ($\beta=0.353$; $p=0.001$). Birlikte çalışabilirlik, Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru, SC Entegrasyon, İzlenebilirlik değişkenleri ile kaynak geri kazanımının %33.3'lük kısmı açıklanabilmektedir.

Birlikte Çalışabilirlik ile Kaynak Verimliliği arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı tespit edilmemiştir. Bu yüzden Birlikte Çalışabilirliğin Kaynak Verimliliği üzerinde bir etkisi mevcut değildir. ($\beta=0.065$; $p=0.483$). Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile Kaynak Verimliliği arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı elde edilmiş olup, Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun Kaynak Verimliliği üzerinde pozitif bir etkisi bulunmaktadır. ($\beta=0.17$; $p=0.009$). SC Entegrasyon ile Kaynak Verimliliği arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı elde edilmiştir. Bu sebeple SC Entegrasyonunun Kaynak Verimliliği üzerinde pozitif bir etkisi vardır. ($\beta=0.202$; $p=0.013$). İzlenebilirlik ile Kaynak Verimliliği arasındaki yol katsayısı

istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiye işaret etmektedir. Dolayısıyla bu sonuç, İzlenebilirliğin Kaynak Verimliliği üzerinde pozitif bir etkisini yansıtmaktadır. ($\beta=0.439$; $p=0$). Birlikte çalışabilirlik, Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru, SC Entegrasyon, İzlenebilirlik değişkenleri ile kaynak verimliliğinin %42.1'lik kısmı açıklanabilmektedir.

Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile SC Entegrasyonu arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak olumlu bir ilişkiyi temsil etmektedir. Bu katsayılar, Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun SC Entegrasyonu üzerinde pozitif bir etkisini simgelemektedir. ($\beta=0.179$; $p=0.037$; $t=2.085$)(**H1D**). Sonuçlar, Hipotez 1D'nin kabulü için yeterli ve elverişli görülmektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile SC Entegrasyonunun %2.5'lik kısmı açıklanabilmektedir. Buradaki değerlere göre H1D hipotezi kabul edilmektedir.

Birlikte Çalışabilirlik ile Ürünlerin Ekolojik Tasarımı arasındaki ilişki incelendiğinde, yol katsayılarına ilişkin istatistiki verilerin olumlu yönde olduğu görülmektedir. Bu da Birlikte Çalışabilirliğin Ürünlerin Ekolojik Tasarımı üzerinde olumlu etkilerine işaret etmektedir. ($\beta=0.23$; $p=0.046$).

Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile Ürünlerin ekolojik tasarımı arasındaki ilişkiye bakıldığında, katsayılara göre istatistiksel olarak anlamlı gözükmemekte, bu nedenle Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun Ürünlerin ekolojik tasarımı üzerinde bir etkisi olmadığı tespit edilmektedir. ($\beta=0.023$; $p=0.764$). SC Entegrasyon ile Ürünlerin Ekolojik Tasarımı arasındaki yol katsayısı, istatistiksel olarak olumludur. SC Entegrasyonunun Ürünlerin Ekolojik Tasarımı üzerindeki etkisinin olumlu yönde seyrettiğini söylemek mümkündür. ($\beta=0.234$; $p=0.026$).

Son olarak Tedarik Zincirinde İş Birliği ölçeğindeki İzlenebilirlik boyutunun verileri incelenmektedir. İstatistiki verilerin genel bulgularına göre İzlenebilirlik ve Ürünlerin Ekolojik Tasarımını açıklayan katsayılar ($\beta=0.142$; $p=0.153$), olumlu bir ilişkinin varlığını göstermeyerek ilgili faktörler arasındaki pozitif ilişkiyi desteklememektedir. Görüldüğü üzere İzlenebilirliğin Ekolojik Tasarıma etkileri negatif yöndedir. Birlikte Çalışabilirlik, Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru, SC Entegrasyon, İzlenebilirlik değişkenleri ile Ekolojik Tasarımın %23.5'lik kısmı açıklanabilmektedir. PLS SEM ile ölçme ve değerlendirmeyi içeren yapılarda tahmine dayalı etkileri saptayabilmek

bakımından yapısal modelin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle literatürde işaret edilen ölçümlerin yapılması gerekmektedir.

Literatür araştırması konuyla ilgili ölçümlere yer vermektedir. İki endojen değişkenli modelin tahminleme gücünü belirlemek üzere Chin'in mevcut yol yapılarını tespit amaçlı R^2 'nin incelenmesi amaçlanmaktadır. (Delic ve Eysers 2020, s.9). Buna göre geliştirilen modelde endojen (içsel) değişkenlerin varlığı, öyle ki tedarik zincirinde iş birliği ve döngüsel ekonomi yapılarının alt faktörleri ile birlikte yer alması bu analizin yapılabileceğini göstermektedir.

Cohen, gizli değişkenin ne derecede diğer gizli değişken tarafından temsil edildiğini ifade eden R^2 değerinin 0.26'dan daha büyük olmasının beklenen bir değer olduğunu bildirilmektedir. Henseler vd., R^2 değerlerini 0.75, 0.50 ve 0.25 olarak sırasıyla yüksek, orta ve zayıf şeklinde nitelendirmektedir. (Sönmez Çakır, 2020, s.64-65). Buradan hareketle R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerleri, 0.25'ten büyük olduğunda gizli değişkenler arasında orta düzeyde bir ilişkinin varlığından söz edilmektedir.

Değerlendirme kriterleri R^2 belirleme katsayıları, Q^2 tahmin değerleri ve yol katsayıları istatistiki önemin ortaya koyulması açısından ilgili ilişki düzeyin verilmesini sağlayacaktır. İlk olarak doğrusallığı tespit etmek amacıyla regresyon analizlerinin yanlılığa neden olmadığının ortaya koyulması gerekmektedir. Daha sonrasında yapısal ilişkiler incelenmelidir. Doğrusallığın saptanmasında VIF (The variance inflation factor) değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu sebeple VIF'de regresyon esnasında öngörücü yapılardan elde edilen puanlar hesaba katılmaktadır. Daha sonrasında R^2 değerinin incelenmesi ise bir sonraki aşamayı ifade etmektedir. R^2 içsel yani endojen yapılarda ifade edilen değişkenleri ölçtüğünden ötürü modelin aydınlatılmasında önemli bir gücü temsil etmektedir. R^2 için yukarıda belirtilen referans değerlerine ilaveten 0-1 aralığındaki değer, yüksek ise modelin açıklanmasında tahmin edici yapıların sayısının ne kadar fazla olduğuna kanıttır. Burada 0.75 önemli bir değerlendirme kriteridir. Model ile veriler arasındaki uyum yükseldikçe R^2 oranı da artmaktadır. Bunun yanı sıra F^2 değerleri de tahmine dayalı yapının devre dışı bırakılmasıyla herhangi bir endojen yapının R^2 oranına etkisini saptamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu ölçüt, F^2 etki düzeyi olarak değer sağlamaktadır. Tahmine dayalı yapıların birbiri ile ilişkisinin araştırıldığı yapısal modellerde genellikle yol katsayılarının oranı ve F^2 değerleri birbiri ile benzerlik

göstermektedir. Yapıların ilişki boyutu, yol katsayı oranları ve F^2 değerleri farklılık gösterdiği takdirde kısmi ya da tam manasıyla aracılık etkisi ortaya koyulmalıdır. Cohen'e göre 0.35 önemli bir değeri yansıtırken 0.02 ve 0.15 ise sırasıyla düşük ve ortalama F^2 etki büyüklüğünü göstermektedir. Diğer bir ilave değerlendirilmesi muhtemel analiz ise PLS yol modelinin geçerliliği üzerine Q^2 etkisini saptamaktır. Q^2 , model parametrelerini tahmin etmek için kullanılmaktadır. (Hair vd., 2019, s.11). Bu metot, model dışı öngörüsül değerin modelin içeriğiyle bütünleştirilmesini sağlayarak PLS yol modeli tahmin düzeyinin sağlamlığını incelemeyi hedeflemektedir. (Hair vd., 2019, s.12). Bildirilen yönergeler doğrultusunda R^2 belirleme katsayıları, Q^2 tahmin doğruluğunun değerlendirilmesi, F^2 etki büyüklüğünün saptanması ve bunların birbiri ile ilişki düzeyini belirlemek amacıyla VIF doğrusallık istatistikleri kullanılarak ilgili incelemeler yapılmaya çalışılmıştır. (Tablo 11)

Göstergelerin doğrusallığını tespit etmede çoğunlukla varyans enflasyon faktörü uygulandığı bilinmektedir. Elverişli görülen VIF değer aralığı, 3'e yakın olabileceği gibi bu oranın altındaki değerler de makul görülmektedir. Yapısal göstergelerin değerlendirilmesinde VIF değerlerinin 5 ya da daha yüksek değerler alması öngörücü yapılar arasındaki ilişkinin eş doğrusallık sorunlarının varlığına işaret etmektedir. (Hair vd., 2019, s.10). VIF değerleri incelendiğinde, elde edilen VIF değerleri 5'in altında değerler aldığı için değişkenler arasında çoklu bağlantı problemi yoktur. (Tablo 11) F^2 etki büyüklüğü değerleri ise her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni açıklama oranındaki paylarını göstermektedir ($R^2/(1- R^2)$). Hair vd. (2019), 0.02 ve üzeri olması düşük, 0.15 ve üzeri olması orta, 0.35 ve üzeri olması ise yüksek olarak ifade edilmiştir. Tablo 11'e göre kavramsal metot ve yöntemler ışığında Birlikte Çalışabilirliğin Atık yönetimi üzerinde bir etkisinin olmadığı F^2 değerleri ile saptanmaktadır. Aynı şekilde Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun ise döngüsel ekonominin alt faktörü bağlamında Atık Yönetimi üzerinde bir etkisi olmamakla beraber SC Entegrasyonunun Atık Yönetimi üzerinde de gerçek etkileri görülmemektedir. Ancak tedarik zincirinde iş birliğinin alt segmentlerinden sayılan İzlenebilirliğin Atık Yönetimi üzerinde zayıf da olsa düşük düzeyde etki büyüklüğüne sahip olduğu fark edilmektedir. Buna benzer değerler alan Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun ise Birlikte Çalışabilirlik üzerinde düşük düzeyde etki büyüklüğüne sahip olduğu dikkatleri çekmektedir.

F^2 'nin etki kapsamı çerçevesinde Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun İzlenebilirlik üzerinde düşük düzeyde etki büyüklüğüne sahip olduğu sayısal değerlerle

açıkça ortaya koyulmaktadır. Devamında ele alınan Birlikte Çalışabilirlik faktörünün Kaynak Geri Kazanımı üzerinde etkileri görülmemektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun ise Kaynak Geri Kazanımı üzerinde etkisi zayıftır. SC Entegrasyonunun Kaynak Geri Kazanımı ile etkileşiminde de zayıf bir etki tespit edilmiştir. İzlenebilirliğin Kaynak Geri Kazanımı üzerindeki yansımaları ise aynı şekilde düşük orandadır. Bundan başka Birlikte Çalışabilirliğin Kaynak Verimliliğine görünür etkisi hâlihazırda mevcut değildir. Tespit edildiği kadarıyla ölçeklerin alt boyutları ile etkileşiminde çoğunlukla zayıf bir etki büyüklüğü kendini göstermektedir. Bunu destekler nitelikte Fayda skorunun Kaynak verimliliğine etkisi düşük düzeyde olduğu gibi SC Entegrasyonunun Kaynak Verimliliği üzerinde de etkisi düşük orandadır.

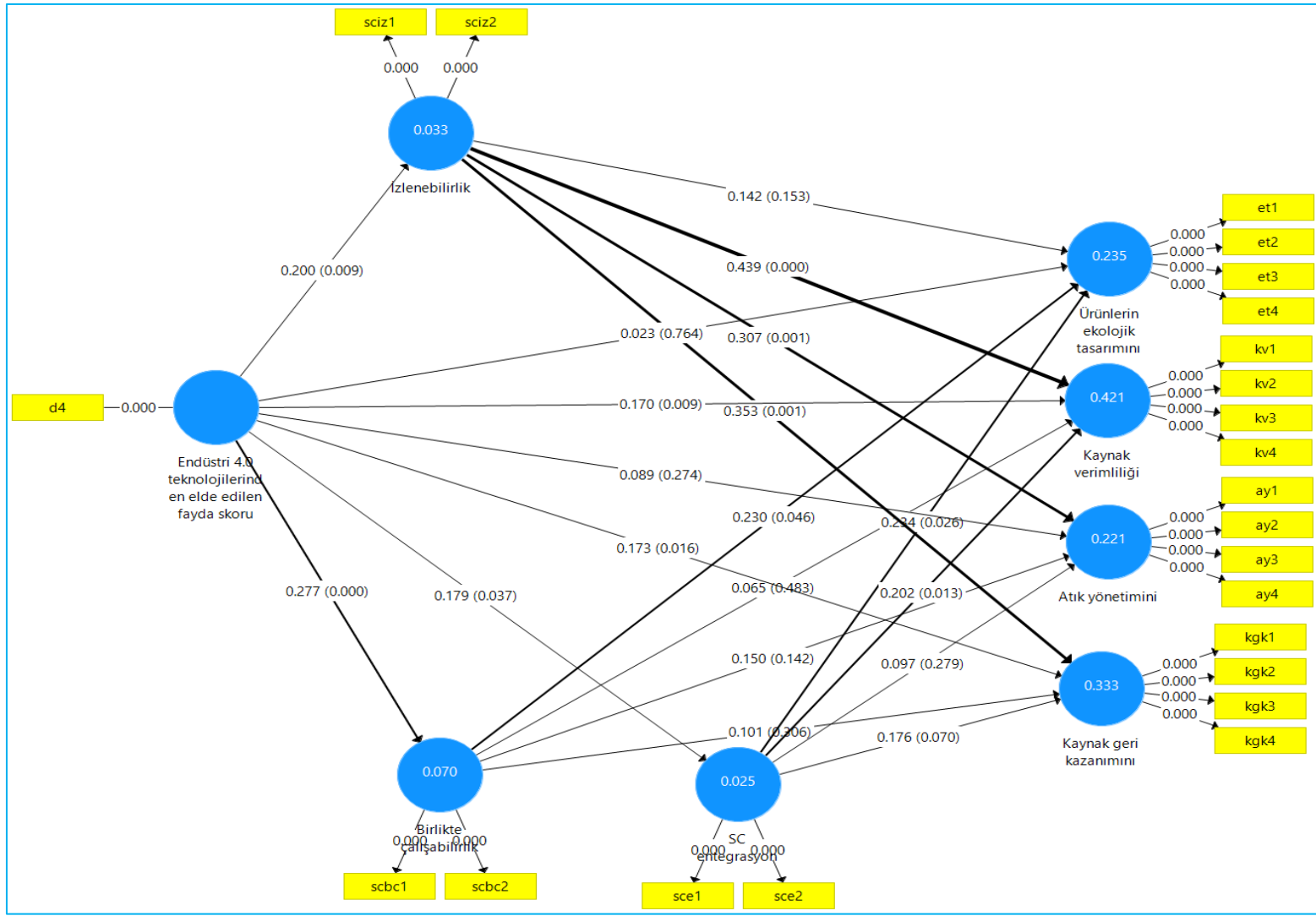
Diğer göstergelere kıyasla İzlenebilirliğin Kaynak Verimliliğine yansıması 0.244 ile orta düzeyin üzerinde bir etkiyi simgelediğinden ilgili parametreler arası daha yüksek etkileşimin olduğunu söyleyebiliriz. Aynı şekilde İzlenebilirliğin Kaynak Geri Dönüşümüne yansımaları 0.137'lik bir etki göstererek ortalama etkiyi gösteren 0.15'lik değere yakın bir oranla düşük düzeydeki etkinin orta düzeyi zorladığı görülmektedir. Ölçek boyutlarının diğer yapıdaki göstergelere düşük düzeydeki etkileri bağlamında E.4.0 Fayda Skorunun SC Entegrasyonuna ve aynı zamanda Birlikte Çalışabilirliğin Ürünlerin Ekolojik Tasarımına etkileri zayıf orandadır. SC Entegrasyonunun Ürünlerin Ekolojik Tasarımı üzerinde 0.047 değeriyle düşük değerlendirilen aynı seviyedeki etkiler görülmektedir. Bundan başka E.4.0 Fayda skorunun ve İzlenebilirliğin Ürünlerin Ekolojik Tasarımına etkileri görülmemektedir. Tablo 13'e göre sonuçlar Tedarik Zincirinde İş Birliğinin Döngüsel Ekonomi endojen değişkeni üzerindeki etkisinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. $F^2=0.597$, aynı şekilde Tablo 15'de Tedarik Zincirinde İş Birliği gizil değişken olarak ele alındığında Kaynak Verimliliği parametresi üzerinde de yüksek bir etkiye sahip olduğu tespit edilmektedir. $F^2=0.518$. Yukarıda F^2 için en yüksek referans aralığı 0.35 ve üzeri olarak verilmektedir.

Genel değerlendirmede ölçek boyutlarının bütünleşik etkiden bağımsız tekil olarak ele alınmasında etki büyüklüğü ya da hacminin düşük ya da görülemeyecek şekilde azaldığı gözlenmektedir.

Tablo 12. Model Tahmin Gücü Sonuçları

	Q ²
Atık Yönetimi	0.18
Birlikte Çalışabilirlik	0.05
Kaynak Geri Kazanımı	0.24
Kaynak Verimliliği	0.28
SC Entegrasyon	0.02
Ürünlerin Ekolojik Tasarım	0.16
İzlenebilirlik	0.02

Q² değerlerinin 0'dan yüksek olması modelin bağımlı değişkenleri tahmin gücüne sahip olduğunu ve elde edilen değerlerin anlamlı olduğunu göstermektedir. 0, 0.25, 0.50'den yüksek değerler sırasıyla düşük, orta, yüksek tahmin doğruluğunu göstermektedir.



Şekil 3. Yol Katsayıları (Alt boyut için)

Tablo 13. Yapısal Eşitlik Modellemesi Sonucu (Toplam)

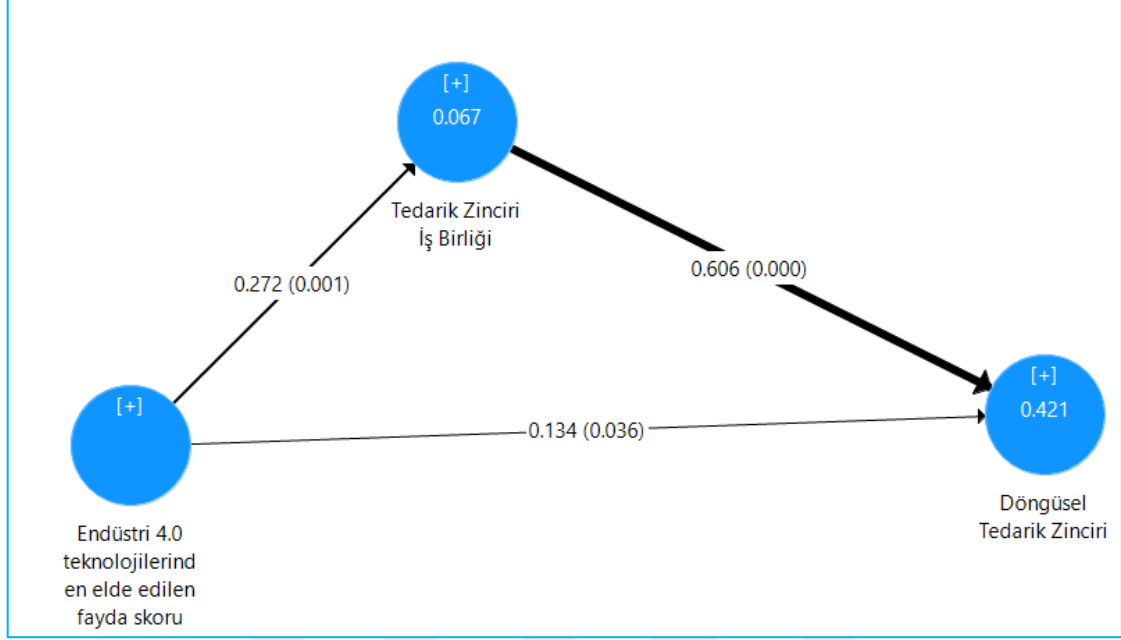
		Katsayı	S. sapma	t-değeri	p	f ²	VIF	R ²	Düzeltilmiş R ²
Hipotez 3	Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru -> Döngüsel Tedarik Zinciri(Döngüsel Ekonomi)	0.134	0.064	2.094	0.036	0.029	1.080	0.430	0.421
Hipotez 2	Tedarik Zincirinde İş Birliği -> Döngüsel Tedarik Zinciri (Döngüsel Ekonomi)	0.606	0.097	6.237	<0.001	0.597	1.080		
Hipotez 1	Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru -> Tedarik Zinciri İş Birliği	0.272	0.081	3.343	0.001	0.080	1.000	0.074	0.067

Yapısal eşitlik modellemesi kapsamında incelenen yol katsayıları, Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru bağlamında Endüstri 4.0'ın benimsenmesi ve Döngüsel Tedarik Zinciri (Döngüsel Ekonomi) arasındaki istatistiksel değerler anlamlı elde edilmiş olup, Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun Döngüsel Tedarik Zinciri (Döngüsel Ekonomi) üzerinde pozitif bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. ($\beta=0.134$; $p=0.036$; $t=2.094$).**(H3)**. Buradaki veri setleri Hipotez 3'ün desteklendiğini göstermektedir. Tedarik Zinciri İş Birliği ile Döngüsel Tedarik Zinciri (Döngüsel Ekonomi) arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı olduğundan Tedarik Zinciri İş Birliğinin Döngüsel Tedarik Zinciri üzerinde pozitif bir etkisi olduğu açıkça görülmektedir. ($\beta=0.606$; $p=0$; $t=6.237$).**(H2)**. Hipotez 2 için saptanan değer kümeleri sayesinde ilgili hipotez desteklenmekte ve kabul edilmektedir.

Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ve Tedarik Zinciri İş Birliği değişkenleri ile Döngüsel Tedarik Zincirinin %42.1'lik kısmı açıklanmaktadır.

P değerinin önemi istatistiksel ağırlığına göre değişmektedir. P değeri güven aralığının %95 olması beklenmekte, değerleri ise $p<0.050$ 'den daha küçük değerler alması tercih edilmektedir. (Hair, 2019, s.15). Elde edilen p değeri anlamlı ise etki vardır ($p<0.050$), p değeri anlamlı değilse etki yoktur. ($p>0.050$). Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile Tedarik Zinciri İş Birliği arasındaki yol katsayısı istatistiki oranlara göre anlamlı veriler sağladığından Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun Tedarik Zinciri İş Birliği üzerinde pozitif bir etkisi vardır ($\beta=0.272$; $p=0.001$; $t=3.343$).**(H1)**. Bu veriler doğrultusunda H1 onaylanmaktadır. Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile Tedarik Zinciri İş Birliğinin %6.7'lik kısmı açıklanmaktadır. Bu göstergelerin VIF değerleri incelendiğinde, elde edilen VIF değerleri 5 değerinden daha az değerler yansıttığı için değişkenler arasında çoklu bağlantı problemi söz konusu değildir. F^2 etki büyüklüğü değerleri ise her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni açıklama oranındaki paylarını göstermektedir ($r^2/(1-r^2)$). Daha öncesinden bu değerlerin 0.02 ve üzeri değerler alması düşük, 0.15 ve üzeri değerleri yansıtması orta, 0.35 ve üzeri oranları göstermesi ise yüksek olarak ifade edilmiştir. Buna göre Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun Döngüsel Tedarik Zinciri üzerinde düşük düzeyde etki büyüklüğüne sahip olduğu saptanmaktadır. Tedarik Zinciri İş Birliğinin Döngüsel ekonomi bağlamında Döngüsel Tedarik Zinciri üzerinde ise yüksek etki büyüklüğüne sahiptir.

Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun Tedarik Zinciri İş Birliği üzerinde düşük düzeyde etki büyüklüğüne sahiptir.



Şekil 4. Yol Katsayıları (Toplam için)

Tablo 14. Model Tahmin Gücü Sonuçları

	Q ²
Döngüsel Tedarik Zinciri/Döngüsel Ekonomi	0.210
Tedarik Zincirinde İş Birliği	0.031

Q² değerlerinin 0'dan yüksek olması modelin bağımlı değişkenleri tahmin gücüne sahip olduğunu ve elde edilen değerlerin anlamlı olduğunu göstermektedir. 0, 0.25, 0.50'den yüksek değerler sırasıyla düşük, orta, yüksek tahmin doğruluğunu göstermektedir. Döngüsel Tedarik Zinciri ve Tedarik Zinciri İş Birliği bağımlı değişkenleri için oluşturulan modellerin tahmin gücü düşük olarak elde edilmiştir.

Tablo 15. Yapısal Model Sonucu (Model 3)

	Katsayı	S. sapma	t-değeri	p	f ²	VIF	R ²	Düzeltilmiş R ²
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru -> Atık Yönetimini	0.087	0.080	1.084	0.279	0.009	1.077	0.234	0.222
Tedarik Zincirinde İş Birliği -> Atık Yönetimi (H2C)	0.453	0.095	4.773	<0.001	0.248	1.077		
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru -> Kaynak Geri Kazanımı	0.166	0.073	2.281	0.023	0.039	1.077	0.338	0.328
Tedarik Zincirinde İş Birliği -> Kaynak Geri Kazanımı (H2D)	0.514	0.090	5.732	<0.001	0.371	1.077		
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru -> Kaynak Verimliliği	0.159	0.064	2.475	0.013	0.040	1.077	0.406	0.397
Tedarik Zincirinde İş Birliği -> Kaynak Verimliliği (H2B)	0.576	0.105	5.496	<0.001	0.518	1.077		
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru -> Tedarik Zincirinde İş Birliği (H1)	0.267	0.080	3.343	0.001	0.077	1.000	0.071	0.064
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru -> Ürünlerin Ekolojik Tasarımı	0.027	0.075	0.357	0.721	0.001	1.077	0.252	0.241
Tedarik Zincirinde İş Birliği -> Ürünlerin Ekolojik Tasarımı (H2A)	0.495	0.090	5.482	<0.001	0.304	1.077		

Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile Atık yönetimini arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı elde edilmemiş olup, Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun Atık yönetimini üzerinde bir etkisi yoktur. ($\beta=0.087$; $p=0.279$). Tedarik zincirinde iş birliği ile Atık yönetimi arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu sebeple Tedarik zincirinde iş birliğinin Atık yönetimi üzerinde pozitif bir etkisi vardır ($\beta=0.453$; $p<0.001$; $t=4.773$). **(H2C)**. Sonuçlara dayalı parametrelerin pozitif ilişkisi Hipotez 2C'yi desteklemektedir.

Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile Kaynak Geri Kazanımı arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı elde edilmiş olup, Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun Kaynak geri kazanımı üzerinde pozitif bir etkisi vardır ($\beta=0.166$; $p=0.023$). Tedarik Zincirinde İş Birliği ile Kaynak geri kazanımı arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı değerler yansıttığından, Tedarik zincirinde iş birliğinin Kaynak Geri Kazanımı üzerinde pozitif bir etkisi vardır ($\beta=0.514$; $p<0.001$; $t=5.732$). **(H2D)**. Burada işaret edilen sayısal göstergeler Hipotez 2D'nin kabul edildiğini kanıtlamaktadır.

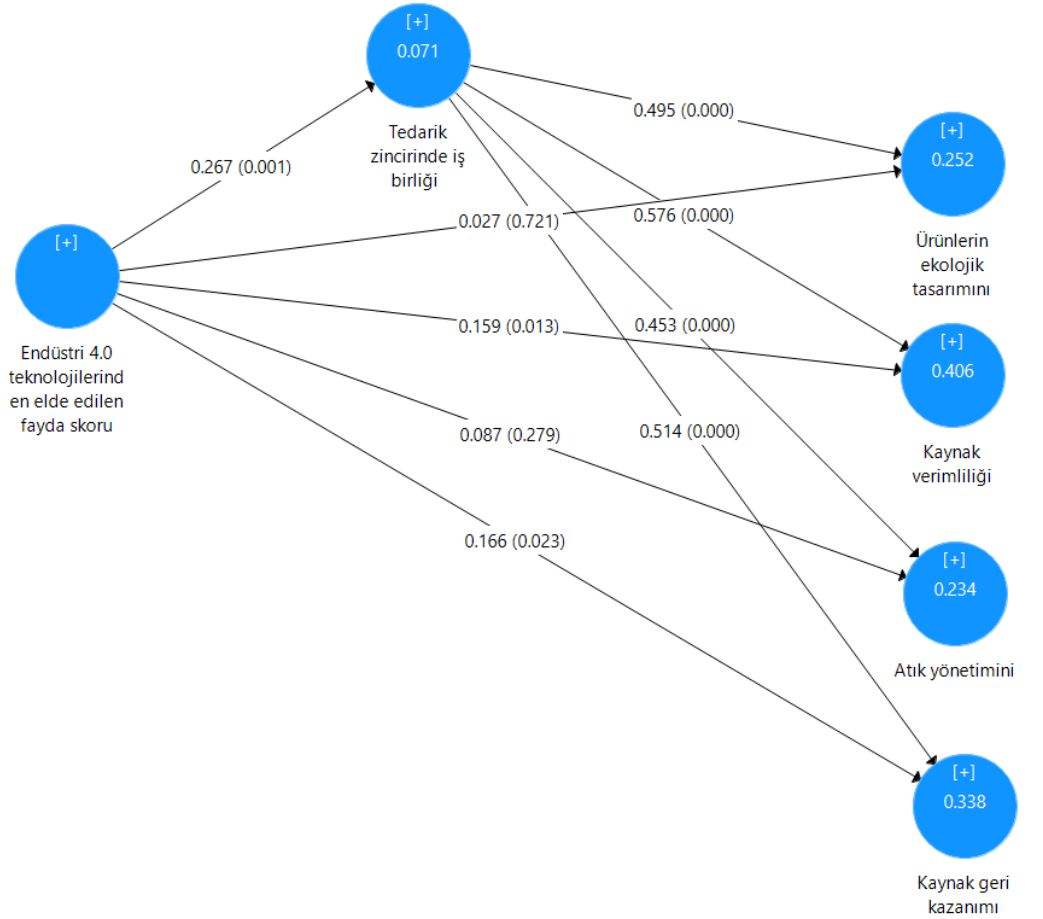
Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile Kaynak Verimliliği arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin varlığını temsil etmekte olup, Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun Kaynak Verimliliği üzerinde pozitif bir etkisine işaret etmektedir. ($\beta=0.159$; $p=0.013$). Tedarik Zincirinde İş Birliği ile Kaynak Verimliliği arasındaki yol katsayısı istatistiki verilere göre anlamlıdır. Bundan ötürü Tedarik Zincirinde İş Birliğinin Kaynak Verimliliği üzerinde pozitif bir etkisi vardır. ($\beta=0.576$; $p<0.001$; $t=5.496$). **(H2B)**. Hipotez 2B bu değerler neticesinde desteklenmektedir.

Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile Tedarik Zincirinde İş Birliği arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı elde edilmiş olup, Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun Tedarik Zincirinde İş Birliği üzerinde pozitif bir etkisi vardır ($\beta=0.267$; $p=0.001$). Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skoru ile Ürünlerin Ekolojik Tasarımı arasındaki yol katsayısı istatistiksel olarak anlamlı elde edilmemiş olup, Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde edilen fayda skorunun Ürünlerin Ekolojik Tasarımı üzerinde bir etkisi yoktur ($\beta=0.027$; $p=0.721$). Tedarik Zincirinde İş Birliği ile Ürünlerin Ekolojik Tasarımı arasındaki değerler anlamlı istatistiki verilere dayanan yol katsayılarını vermektedir. Dolayısıyla Tedarik Zincirinde İş Birliğinin

Ürünlerin Ekolojik Tasarımı üzerinde pozitif bir etkisi vardır. ($\beta=0.495$; $p<0.001$; $t=5.482$). **(H2A)**. Açıkça ortaya koyulan uyumlu sayısal değer aralığı Hipotez 2A'nın kabul edilebilirliği için elverişli görülmektedir.

Tablo 16. Model tahmin gücü sonuçları (Model 3)

	Q ²
Atık Yönetimini	0.175
Kaynak Geri Kazanımı	0.235
Kaynak Verimliliği	0.261
Tedarik Zincirinde İş Birliği	0.030
Ürünlerin Ekolojik Tasarımı	0.171



Şekil 5. Yol Katsayıları (Model 3 için)

ALTINCI BÖLÜM

TARTIŞMA VE GENEL ÇIKARIMLAR

6.1 Tartışma

Bu ampirik çalışma genel itibarıyla dördüncü sanayi devrimi teknolojilerinin otomotiv sektörüne sunduğu kurumsal yeteneklerle sağlanan Tedarik zincirinde İş birliği başarı faktörüne odaklanmaktadır. Çalışma, modern teknolojilerin potansiyel becerileri üzerine Endüstri 4.0 devrimiyle Döngüsel ekonomiyi birleştirerek döngüsel üretim ve tedarik süreçlerinde yaratacağı değişimi konu edinmektedir. Dördüncü sanayi devrimi ve bileşenlerine yönelik genel kabul düzeyi nicel verilerle kanıtlanmaya çalışılmıştır. Hipotezler, hipotez seti içerisinde çıkarılan Hipotez 1B dışında sağlanan verilerle desteklenmektedir. Hipotez 1B verilerinde ayırt edici geçerlilik sorunları tespit edildiğinden ölçekten çıkarılmıştır. İstatiksel verilere göre H1 kapsamında Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin Tedarik Zincirinin İş Birliği üzerinde pozitif bir etki yarattığı tespit edilmektedir. Parametreler arası daha güçlü bir ilişkiyi temsil eden H2'de ise Tedarik Zincirinde İş Birliği üzerinden Döngüsel ekonomiye güçlü bir etkinin varlığı kanıtlanmaktadır. Buna istinaden Endüstri 4.0'ın Benimsenmesinin Döngüsel Ekonomi üzerindeki etkileri nispeten düşük düzeyde değerlendirilmektedir. Buna rağmen Hipotez 3 ile Endüstri 4.0'ın Döngüsel ekonomiyle ilişkisini belirleyen önemli bulgular desteklenmektedir. Sektörel bazdaki bulgulara göre Endüstri 4.0'ın benimsenmesiyle etkin şekilde gerçekleştirilebilecek döngüsel uygulamalara karşı bilincin gelişmemesi, bu iki yaklaşım arasındaki etki büyüklüğünü de azaltmaktadır. Burada Endüstri 4.0'ın döngüsel gelişmelere yönelik teknolojik potansiyelleri üzerine işletmeler arasında kararlı bir farkındalığın oluşmadığı gözlenmektedir. Daha çok yeni bir uygulama olarak gözlemlenen döngüsel ekonomi yaklaşımı üzerine temel prensiplerin dikkate alındığı örnek modellerin geliştirilmesi ve bilhassa bu noktada dördüncü sanayi devrimine yol açan dijital teknolojilere ağırlık verilmesi elzem görülmektedir.

Bu çalışma, Türkiye otomotiv sektöründe Endüstri 4.0'ı Döngüsel ekonomiyle bağdaştıran değerli ve önemli bilgilere aracılık etmektedir. Endüstri 4.0 kapsamca geniş bir yelpazeye sahip teknolojik bileşenleri konu edindiğinden çalışmada birden fazla teknolojik unsurun değerlendirilmesi dördüncü sanayi devriminin döngüsel ekonomiye gerçek etkilerini ortaya koyabilmenin bir yolu olarak görülmektedir. Güncel literatür araştırması ve çoğu

uygulamaya ilişkin örneklere göre bilimsel birçok çalışma, Endüstri 4.0'ı üretim fonksiyonlarını iyileştirmeye odaklı değerlendirmekte bundan hareketle tedarik tarafı genellikle ihmal edilmektedir. Buradaki araştırma Endüstri 4.0 çerçevesinde ele alınan fayda fonksiyonlarını operasyonel ve tedarik süreçlerindeki iyileşmeye yönelterek fayda kapsamını genişletmektedir. Literatür örneklerine paralel bu çalışmanın bulguları, Endüstri 4.0 bileşenlerinin üretim ve tedarik süreçleri üzerinde potansiyel etkilerinin hissedildiğini ortaya koymaktadır. Geleneksel metot ve yaklaşımların gereklilikleri, yeni çağın teknolojilerine yön veremediğinden bugünkü sistem yaklaşımlarının da revize edilerek yeni yaklaşımların uyarlanması zaruri hâle getirmektedir.

Kuruluşlar arasında güvenin temin edilmesi ancak şeffaflık ve izlenebilirliğin sağlanması ile mümkün olmaktadır. (Silva vd., 2020, s.334). Burada Güven olgusunun bir araç değil bütünüyle temel fayda girdileri vasıtasıyla sağlanan bir sonuç olarak belirtildiği görece varsayılmaktadır. Literatür örneğinde ve araştırma bulgularına göre şeffaflık ve izlenebilirlik temel beklentiler içerisinde sayılan unsurlar arasında yer aldığından birincil düzeyde etkiye sahip fayda faktörleri arasında değerlendirilirken ilişkileri destekleyen Güven olgusu ise ilişkilerden doğan bir sonuç faydası olarak algılanmaktadır. Bulgulara göre Güven faktörü ile ilgili maddelerin ortalama korelasyon değerlerinin iç tutarlılığı sağlayamadığı gözlenmektedir. Hair vd. (2019), HTMT madde korelasyonlarının ortalama değeri aynı yapıyla ilişkilendirilen maddeler aracılığıyla saptamaktadır. Bu değer in yüksekliği ayırıcı geçerlilik problemlerini göstermektedir. Bu durum, Güven faktörünün alt maddeleri ile ilişkilendirildiğinde gözlemlenmiş olup bu sebeple ilgili maddeler ölçekten çıkarılmıştır. Düzeltilmiş yapısal model çerçevesinde sonuçlar Tedarik zincirinde iş birliği değişkeninin Döngüsel Ekonomi endojen değişkeni üzerinde Endüstri 4.0'ın Benimsenmesinin Tedarik Zincirinde İş Birliğine etkisine kıyasla daha büyük ölçekte bir etki yarattığına işaret etmektedir. Araştırma daha çok modern teknolojilerin bütünleşik potansiyel etkisinin bir neticesi olarak iyileştirilen üretim ve tedarik süreçlerine hizmet etmektedir. Bu araştırma, özellikle belirli dijital teknolojilere odaklı otomotiv sektörü ya da modern teknolojilerin birincil derecede önemli olduğu diğer sektörlerde de çalışmaların yapılmasını önermektedir. Literatüre dayalı operasyonlara ve tedarik süreçlerine daha fazla değer sağlayacak kriterlerin belirlendiği araştırmalara da ihtiyaç duyulmaktadır. Endüstri 4.0 ekseninde belirlenen ikili ya da üçlü dijital bileşen kombinasyonları yapılarak literatüre değerli katkılar sağlamak bir diğer ilave katkılar arasında sayılabilir.

6.2 Pratik Çıkarımlar

Araştırma sonuçları, otomotiv alanındaki uzmanların tedarik süreçlerinin dijitalleştirilmesi konusunda duyarlı olduğunu ve bu aşamaların operasyonel ve tedarik süreçlerini şekillendirdiği bilincinde olduklarını ortaya koymaktadır. Hatta otomotiv sektöründe tedarik zincirinde iş birliğinin yüksek oranda kaynak verimliliğine etkisiyle döngüsellik kavramının yerleştiği tespit edilmektedir. Öncelikle tedarik ve üretim süreçlerindeki operasyonel verimlilik, maliyet, şeffaflık ve izlenebilirlik kapsamındaki faydalar, gerekli yaklaşımlara olan ilgiyi güçlendirmektedir. İlk olarak işlem verimliliğinde artış ile ilgili fayda fonksiyonu 95 firmanın ilgili yaklaşımlar esasında ilgi odağı hâline gelirken, ikinci sırayı maliyetlerde iyileşmenin gerçekleşmesi almaktadır. Bu avantajlar ile beraber gerçek zamanlı ve güvenilir veri alışverişi 74 firmanın tercihi ile üçüncü sırada benimsenmektedir. Diğer taraftan yeni teknolojilerin enerji verimliliği ile işlem süreçlerinde sağlayacağı şeffaflık ise dördüncü derecede katkı sağlayacak kriterler arasında sayılmaktadır. Daha sonrasında firmaların Endüstri 4.0'ın kabulü üzerine gerçek algısı ölçülmektedir. Dijital teknolojilerin benimsenmesi konusunda daha çok kararsızlığı simgeleyen “ne yeterli ne de yetersiz” şeklindeki seçenek 55 firma tarafından %40.4'lük yüzdelik oranıyla onaylanmıştır. Endüstri 4.0'ın benimsenmesine yönelik kendilerini yeterli olgunluğa sahip gören firma sayısı ise 25 firma ile %18.4'lük dilimi temsil etmektedir. Çok yeterli olarak temsil edilen firma oranı %3.7'yi geçememektedir. Bulgulara göre Endüstri 4.0'ın döngüsel ekonomi süreçlerine zayıf etkisi esasında döngüsellik ilkelerine bakış açısını değiştirecek bilgiden ve örnek modellerin eksikliğinden kaynaklanabileceği gibi yeni teknolojileri uyarlama olgunluğundaki zayıf düzeyinde belirleyici olduğu tahmin edilmektedir. Döngüsel ekonominin dördüncü endüstriyel gelişime nazaran daha yeni bir yaklaşım olarak benimsenmesi nedeniyle Endüstri 4.0 ile bütünleşen politik uygulamaların gerekliliği ve teşviki de önemle üzerinde durulması gereken bir husustur. Endüstri uzmanlarının üretimin hızlandırılmasıyla artan kaynak tüketimi neticesinde artan çevresel etkileri azaltabilmek amacıyla gerekli önlemleri politik gücün desteğiyle daha etkin şekilde hayata geçirebileceği tahmin edilmektedir. Uygulayıcılar, tek yönlü bir bakış açısını yadsıyan Döngüsel ekonomi uygulamalarını Endüstri 4.0 bileşenleri ile birleştirerek çok yönlü bir perspektifi süreçlerin dönüştürülmesine dâhil etmek zorundadır. Endüstri 4.0'ı hedefleyen sektör yöneticilerinin yüzleşmesi gereken temel olgu, Yeşil mutabakat eylemleri kapsamında üretim ve tedarik işlemlerini iyileştirebilmesinin ancak ekolojik

ürünlerin üretimini ve ekolojik ekosistemin sürdürülmesini kolaylaştıran döngüsel ekonomi temelindeki prensiplere bağlı kalarak gerçekleştireceğidir.

6.3 Teorik Çıkarımlar

Literatüre dayalı teorik temelde öne sürülen sürdürülebilirlik etmenlerine eğilim aynı düzeyde araştırma bulgularında da tespit edilmektedir. Çalışmada literatüre dayalı Endüstri 4.0 ve bileşenlerinin sunduğu avantajların bütüncül etkisinin farklı dijital kombinasyonlarla mümkün olacağını işaret eden birçok örneğe yer verilmiştir. Otomotiv sektöründe yapılan araştırmanın bulgularında birden fazla Endüstri 4.0 bileşenine odaklanılması teknolojik bileşenlerin entegre uygulanmasından sağlanacak yararları dikkatleri çekmektedir. Otomotiv sektörünün öncüleri, teknolojik bileşenlere dair Bulut Bilişim sistemlerine yoğun ilgiyi göstererek ilgili teknolojiyi birincil düzeyde sistemlerine uyarlamayı ya da organizasyonları için planlamayı önceliğine alırken ikincil değerlerde Nesnelerin İnternetini kullanmayı tercih etmektedir. Bunları takiben Büyük Veri Analitiği üçüncü derecede bir önem arz etmekte olup Eklemeli üretim sistemleri ise dördüncü sıraya dâhil olmaktadır. Entegre dijital sistemleri kullanan otomotiv temsilcileri yoğun olarak Eklemeli üretim Bulut Bilişim ve Nesnelerin İnternetini birleştirmenin elverişli olduğu kanaatindedir. Eş değer bir ağırlığa sahip Bulut Bilişim, Büyük Veri Analitiği ve Nesnelerin İnterneti de birbirine entegre edilmesi uygun görülen sistemler olarak tercih edilmektedir. İkili teknolojik kombinasyonlara bakıldığında Bulut Bilişimin Büyük Veri Analitiği ile Büyük Verinin ise Nesnelerin İnterneti ile bütünleştirildiği tespit edilmiştir. Diğer taraftan Bulut Bilişimin ise yine Nesnelerin İnterneti ile birleştirilerek sistemlere uyarlanmasına yönelik benimsendiği ya da tercih edildiği gözlenmektedir. Buradaki her bir dijital bileşenin dâhil olduğu bütüncül entegre yapıların otomotiv sektörü açısından nadiren tercih edildiği saptanmıştır. Araştırma verilerine dayanarak tespit edilen bu dijital kombinasyonların bir sonraki ampirik ve teorik çalışmalara ışık tutacağı tahmin edilmektedir. Elde edilen bulguların önemi açısından genel sonuçların Endüstri 4.0 teknolojilerinin sunduğu olanaklardan payını almayı bekleyen ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamayı hedefleyen farklı sektör yetkililerine yön vereceği ümit edilmektedir.

YEDİNCİ BÖLÜM

SONUÇ DEĞERLENDİRMESİ

Uluslararası arenada ülkelerin zengin doğal kaynaklarını doğru kanalize etmesi önemli bir adımı simgelerken sosyal gelişmişlikleri ve ekonomilerini ayakta tutan firmaların etkisi farkındalık yaratan önemli unsurlar arasında nitelendirilmektedir. Hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ekonomilerin sürdürülebilir kalkınmayı sağlamasının temel koşulları içinde etkili yönetim sistemleri, kendisini sürekli iyileştiren insan kaynakları ve bunun yanı sıra öncü kültür ve değerleri taşıyan firmaların varlığı sayılabilmektedir. Günümüzde yenilikçiliğin küreselleşmeden ayrı mı düşünülmesi gerektiği, güçlü organizasyonların önemli bir koşulu mu temsil ettiği üzerine tartışmalar devam etmektedir. Bunların dışında insan faktörünün yeri ve önemi öyle ki sürdürülebilirlik konusunda neler yapılabileceği etrafında yöneltilen sorulara ilişkin tek bir tanımlamanın olmadığı ileri sürülmektedir. Bir firmanın her alanda sürdürülebilirliği sağlayabilmesi sahip olduğu tüm unsurları ile yarın da varlığını sürdürmeyi başarabilmesine bağlı olduğu ifade edilmektedir. Bilhassa doğal kaynakların yok olması ve çevreye verilen zararlar sanayi devriminin önemli sonuçları olarak ortaya çıkmaktadır. CEO'ların %90'lara varan büyük çoğunluğu sürdürülebilirliğin önemini vurgulamakta ancak bu çerçevede kendilerini yeterli görmemekle beraber gerekli donanıma sahip olmadıklarını da düşünmektedirler. Bu kapsamda devreye alınması gerekenler konusunda sadece gelecekte artış gösteren yasal zorunluluklar değil iş ortakları, müşteriler, ilgili tedarikçiler ve çalışanlar dahi belirleyici unsurlar arasında gösterilmektedir. Yenilenebilir enerji, atık yönetimi, geri dönüşüm sistemleri, akıllı bina ve üretim sistemleri gibi alanlarda ekolojik planlamaya öncelik vermeyen firmaların kendiliğinden kaybolması kaçınılmaz olarak değerlendirilmektedir. (Aytaman, 2021, s.24-26). Dolayısıyla burada döngüsel ekonomiyi çevreleyen birçok olgu arasında Endüstri 4.0'ı temsil eden bileşenlerin önemine de vurgu yapılmaktadır. Akıllı bina ve üretim sistemlerini destekleyen Endüstri 4.0'ın döngüsel ekonominin önemli bir ayağını temsil ettiği ve döngüsel ekonomi ile iç içe geçmiş bir sistemin parçası hâline geldiği açıkça ifade edilmektedir. Sonuç bakımından Endüstri 4.0'ın uygulama alanlarının yaygınlaşması ve döngüsel ekonominin konumu itibarıyla katkısının bugüne değin süregelen çalışmalara ve

gelecekteki araştırma önerilerine ışık tutacağı ümit edilmektedir. Buna benzer farklı yaklaşımları içeren bütünleşik konseptte yönelik çalışmalar, beklenen iş ve çalışma modellerinin gündeme gelmesine öncülük edeceği gibi küresel ölçekteki araştırma örneklerine de değerli katkılar sağlayacaktır. Bu niyet, bu ve benzeri araştırmaların genel amacını yansıtmaktadır. İnteraktif bir ilişkiyi yansıtan Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi yaklaşımları sektörel ve küresel belirsizliklerin artmasıyla simbiyotik bir ilişkinin ürünü olarak yeni oluşumlara sinyal verdiği açıkça görülmektedir. Bu minvalde simbiyotik bir bağın gereği olarak endüstriyel ekosistemlerin etkileşimli iş birliği çerçevesinde iklimdeki değişkenlik ve küresel belirsizlik nedeniyle Endüstri 4.0'ın katkısıyla geliştirilen endüstriyel süreçlerin çevresel duyarlılığa sahip olması gerekmektedir. Çalışmanın önerileri incelendiğinde benzer entegre dijital yapıların diğer modellerle valide edilmesinin modelin güçlendirilmesi ve hedeflenen katkılarının anlamlı biçimde doğrulanması açısından değerli katkılar getireceği düşünülmektedir. Bu çalışma, yeşil ve dijital dönüşümü belirli bir sektörü odağına alarak bilimsel katkısını daha spesifik bir çerçevede anlamlandırmaktadır. Bu çalışma, Endüstri 4.0'ı otomotiv sektöründeki gelişmelerle ilişkilendirerek daha sonraki çalışmaların ilgili sektör odağındaki elektrikli araçların üretilmesine ve yeşil dönüşüme bakan tarafla derinlemesine irdelenmesine teşvik etmektedir. Bununla ilintili olarak konunun güncelliği nedeniyle ilgili konsept etrafında bateri sorunlarına ve ilgili çözümlere yönelinmesi çalışmanın belirgin kısıtları arasında sayılmaktadır.

Otomotivde olduğu gibi diğer sektörleri de bağlayan Paris Anlaşması ve Avrupa Birliği'nin Yeşil mutabakat uygulamaları kapsamında dijital becerilerin etkisiyle sıfır emisyon odaklı kirliliğin azaltılması, enerji dönüşümü, ekolojik ekosistemin yenilenmesi ve iyileştirilmesi doğrultusunda döngüsel ekonomi prensiplerine dayalı önlemlerin alınması ve hayata geçirilmesi önemli adımlar olarak değerlendirilebilir. Döngüsel dönüşümün göz ardı edildiği bir dijital dönüşüm uzun vadede ekonomik gerileme, sosyal statü kaybı ve çevresel kirliliğe yol açan sonuçları ile ulusal ve uluslararası saygınlığı zedeleyecektir. Bu düşünceyle Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi arasındaki anlamlı ilişki ulusal ve uluslararası düzeyde irdelenip birbirini bütünleyen ve ayrışan yönleriyle tedarik zinciri yönetiminin sürdürülebilirliği açısından değerlendirilmelidir. Bu araştırma, Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonominin kavramsal çerçevesi dikkate alınarak tespit edilen fonksiyonel etkileri doğrultusunda Türkiye otomotiv sektöründe ilgili yaklaşımların kendi dinamikleri

ile nasıl yer edindiğine ve yaklaşımlar arasındaki etkileşimi de belirleme amaçlı bir ampirik araştırmanın yürütülmesine aracılık etmektedir.



KAYNAKLAR

1. ABEYRATNE Saveen A., MONFARED Radmehr P. (2016) ‘Dağıtık Defter Kullanarak Blok zincirine Dayalı Üretim Tedarik Zinciri’ *International Journal of Research in Engineering and Technology* 5, S.9, s.1-10.
2. NIEBAUER J., RIEMATH A. Klasik İşyerinde Değişiklik’: ANDELFINGER Volker P. HANİSCH Till (Ed.) (2017), Endüstri. 4.0 Siber-fiziksel Sistemler İş Dünyasını Nasıl Değiştiriyor? Springer Yayınevi, s.215-228
3. AFUM Ebenezer, AHENKAN Victoria Yaa Osei, MENSAH Yaw Agyabeng, OWUSU Joseph Amponsah, KUSİ Lawrence Yaw, ANKOMAH Joseph (2020) ‘Ganalı İmalat KOBİ’leri Arasında Yeşil Üretim Uygulamaları ve Sürdürülebilir Performans: Yeşil Tedarik Zinciri Entegrasyonunun Açıklayıcı Bağlantısı, *Management of Environmental Quality*, 31, S.6, s.1457-1475
4. ALKIŞ, Begüm Nur (2021) ‘Ford Otosan’ın Büyüme Hedefleri’ *Fortune* Temmuz, s.168-172
5. ALTUNIŞIK, R. (2008) ‘Anketlerde Veri Kalitesinin İyileştirilmesi için Ön Test Yöntemleri’ *Pazarlama ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, Haziran, S.2, s.1-17
6. ATTARAN Mohsen (2020) Dijital Teknoloji Sağlayıcıları ve Bunların Tedarik Zinciri Yönetimi Üzerindeki Etkileri, *Supply Chain Forum: An International Journal* 21, S.3, s.158-172.
7. AY TÜRKMEN, M., KILIÇ, F. (2020), Sürdürülebilir Kalkınma Anlayışına Yönelik Döngüsel Ekonomi Modeli, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 55, S.4, s.2538-2556
8. AYDIN Tayfun (2022) ‘Sadece Çevreci Değil, Aynı Zamanda Ekonomik’ Enerji ve Çevre Dünyası Dergisi, Kasım- Aralık S.178.s.3
9. AYTAMAN Osman (2021) ‘Sürdürülebilir Ekonomilerin Kalbi, Sürdürülebilir Firmalar, *Fortune*, Haziran s.24-26
10. BAG Surajit, TELUKDARIE Arnesh, PRETORIUS J.H.C., GUPTA Shivam (2018) ‘Endüstri 4.0 ve Tedarik Zinciri Sürdürülebilirliği: Çerçeve ve Gelecekteki Araştırma Yönleri’ *Benchmarking: An International Journal* 28, S. 5, s.1410-1450
11. BAG Surajit, WOOD Lincoln C., MANGLAC Sachin K., LUTHRAD Sunil (2020) ‘Tedarik 4.0 ve Döngüsel Bir Ekonomide İş Süreci Performansı Üzerindeki Etkileri’ *Resources, Conservation & Recycling* 152, s.1-14

12. BAG Surajit, PRETORIUS Jan Ham Christiaan, GUPTA Shivam, DWIVEDI Yogesh K. (2021) 'Büyük Veri Analitiği Destekli Yapay Zeka, Sürdürülebilir Üretim Uygulamaları ve Döngüsel Ekonomi Yeteneklerinin Benimsenmesinde Kurumsal Baskıların ve Kaynakların Rolü' *Technological Forecasting & Social Change*, S.163, s.1-14
13. BARTODZIEJ Christoph Jan (2017), Endüstri 4.0 Konsepti. Üretim Lojistiğinde Teknolojilerin ve Uygulamaların Ampirik Bir Analizi. Springer Gabler Yayınevi. s. 32-33
14. BECHİNİ Alessio, CİMİNO Mario G.C.A., MARCELLONİ Francesco, TOMASİ Andrea (2008) 'İşbirlikçi E-iş Yoluyla Tedarik Zinciri İzlenebilirliğini Sağlamak için Modeller ve Teknolojiler' *Information and Software Technology*, 50, s.342-359
15. BEN-DAYA Mohamed, HASSİNİ Elkafi, BAHROUN Zied, BANİMFREG, Bayan H. (2021) 'Gıda Tedarik Zinciri Kalite Yönetiminde Nesnelerin İnternetinin Rolü' *Quality Management Journal*, 28,1, s.17-40.
16. BENDEL Oliver 'Etik Bir Bakış Açısıyla Endüstri 4.0: Reinheimer, Stefan (Ed.) (2017) 'Endüstri 4.0 Zorluklar, Kavramlar ve Pratik Örnekler' Springer Yayınevi, Wiesbaden.
17. BENZİDİA Smail, MAKAOUI Naouel, BENTAHAR Omar (2021) Büyük Veri Analitiği ve Yapay Zekanın Yeşil Tedarik Zinciri Süreç Entegrasyonu ve Hastane Çevresel Performansı Üzerindeki Etkisi, *Technological Forecasting & Social change*, C.165 s.1-13
18. BHARADWAJ Anandhi, EL SAWY Omar A., PAVLOU Paul A., VENKATRAMAN Venkat N. (2013) 'Dijital İş Stratejisi: Yeni Nesil İç görüye Doğru' *MIS Quarterly*, 37, s.471–482
19. BOTTHOF Alfons, HARTMANN, Ernst Andreas (2015) Endüstri 4.0'da İşin Geleceği, Springer Yayınevi.
20. BRYMAN, A. ve CRAMER, D. (2001). Windows için SPSS Sürüm 10 ile Nicel Veri Analizi. London: Routledge Press.
21. CAMANA Daniela, MANZARDO Alessandro, TONİOLO Sara, GALLO Federico, SCİPİONİ Antonio (2021) 'İtalya'daki Yerel Atık Yönetimi Politikalarının Çevresel Sürdürülebilirliğini Döngüsel Ekonomi Perspektifinden Değerlendirmek. Mevcut Araçlara Genel Bakış' *Sustainable Production and Consumption* 27, s.613–629
22. CARİDİ Maria, MORETTO Antonella, PEREGO Alessandro, TUMİNO Angela (2014) 'Tedarik Zinciri Görünürlüğünün Faydaları: Bir Değer Ölçme Modeli *Int. Journal Production Economics* 151, s. 1–19

23. CASALET Monica STEZANO Federico (2020) ‘Meksika’da Dijitalleşmenin İlerlemesi İçin Riskler ve Fırsatlar’ *Economics of Innovation and New Technology* 29, S.7, 689-704, DOI: 10.1080/10438599.2020.1719643
24. CHİARONİ Davide, DEL VECCHİO Pasquale, PECK David, URBİNATİ Andrea, DEMETRİS Vrontis (2021) ‘İş Modelinde Dijital Teknolojiler ile Döngüsel Ekonomiye Geçiş’ *Resources, Conservation & Recycling*, S. 168, s.1-2
25. CİCCULLO Federica, CAGLIANO Raffaella, BARTEZZAGHİ Giulia, PEREGO Alessandro (2021) ‘Tarımsal Gıda Tedarik Zincirinde Döngüsel Ekonomi Paradigmasının Uygulanması: Gıda İsrafını Önleme Teknolojilerinin Rolü, *Resources, Conservation & Recycling* 164, s.1-15
26. DA SİLVA Vander Luiz, KOVALESKİ João Luiz, PAGANİ Regina Negri, DE MATOS SİLVA Jaqueline, CORSİ Alana (2020) ‘Endüstri 4.0 Konseptinin Şirketlerde Uygulanması: Ampirik Kanıtlar’ *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33, S. 4, s.325-342
27. DALENOGARE Lucas Santos, BENİTEZ Guilherme Brittes, AYALA Néstor Fabián, FRANK Alejandro Germán (2018) ‘Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Endüstriyel Performansa Beklenen Katkısı’ *International Journal of Production Economics*, 204, s. 383–394
28. DANTAS T.E.T., DE-SOUZA E.D., DESTRO, I.R., HAMMES G., RODRÍGUEZ C.M.T., SOARES S.R. (2021) ‘Döngüsel Ekonomi ve Endüstri 4.0 Kombinasyonu, Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine Ulaşmak için Nasıl Katkıda Bulunabilir? *Sustainable Production and Consumption*, S. 26, s. 213–227, doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.005
29. DE MATTOS NASCIMENTO Daniel Luiz, ALENCASTRO Viviam, QUELHAS Osvaldo Luiz G., CAÍADO Rodrigo Goyannes G., GARZA-REYES Jose Arturo, ROCHA-LONA Luis, TORTORELLA Guilherme, (2018) ‘Üretim Bağlamında Döngüsel Ekonomi Uygulamalarını Etkinleştirmek İçin Endüstri 4.0 Teknolojilerini Keşfet: Bir İş Modeli Önerisi’ *Journal of Manufacturing Technology Management* C. 30 S. 3, s.607-627
30. DEBADYUTİ D. (2018) ‘Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamalarının Firma Performansı Üzerindeki Etkisi: Hintli Kuruluşlardan Dersler’ *Journal of Cleaner Production*, S.203, s.179-196
31. DELİC M., EYERS D., R. (2020) ‘Katmanlı İmalatın Benimsenmesinin Tedarik Zinciri Esnekliği ve Performansı Üzerindeki Etkisi: Otomotiv Endüstrisinden Ampirik Bir Analiz’ *Int. J. Production Economics*, S. 228, s.1-15

32. DIEMER Johannes ‘Komuniti- Buluta Dayalı Güvenli Endüstri 4.0 Platformları’: Bauernhansl Thomas, Hompel Michael/Vogel-Heuser Birgit (Ed.) (2014) ‘Üretimde Endüstri 4.0. Otomasyon ve Lojistik’ Springer Fachmedien Wiesbaden.
33. DİNG Baoyang (2018) ‘Farma Endüstrisi 4.0: Sürdürülebilir Farmasötik Tedarik Zincirlerinde Literatür Taraması ve Araştırma Fırsatları’ *Process Safety and Environmental Protection*, 119, s.115–130
34. DOMBROWSKI Uwe, STEFANAK Tobias, KRENKELS Philipp ‘Endüstri 4.0'a Uyum İçin Fabrika Planlamasının Yönleri’ (Ed) Reinhart, Gunther (2017) ‘Endüstri 4.0 El Kitabı, İş Modelleri, Süreçler, Teknoloji, Carl Hanser Yayınevi, München. S. 169-188
35. DULIA Esrat Farhana, ALI Syed Mithun, GARSHASBI Maryam, KABIR Golam (2021) ‘Döngüsel Ekonomi Uygulamaları ve Stratejilerine Yönelik Riskleri Kabul Etmek. Tedarik Zinciri Perspektifinden Ampirik Bir Test, *Journal of Cleaner Production* 317, s. 1-15
36. DURAN Aram Ekin (2021a) ‘Almanya İle İlişkiler Çok Daha İyi Olabilir’ *Ekonomist*, Ekim S.20, s.68-69
37. DURAN Aram Ekin (2021b) ‘Türkiye Yeşil Üretim Üssü Olabilir’ *Ekonomist*, Kasım, S. 22 s. 46-47
38. ERNST Florian, FRISCHE Patrick (2015) ‘Endüstri 4.0 / Endüstriyel Nesnelerin İnterneti – Başarılı Bir Dijital Dönüşüm için İlgili Teknolojiler ve Gereklilikler: Dünya Çapında İmalat İşletmelerinin İncelenmesi, Strathclyde Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, s.1-111
39. EIGNER Martin ‘Endüstriyel İnternet. Mühendislik Süreçleri ve BT Çözümleri’: Sendler Ulrich (Ed.)(2016) ‘Sınır Tanımayan Endüstri 4.0’ Springer Yayınevi, Berlin, Heidelberg. s.142-143
40. ESKANDARPOUR Majid, DEJAX Pierre, MIEMCZYK Joe, PÉTON Olivier (2015), ‘Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı: Optimizasyon Odaklı Bir İnceleme’ *Omega* 54/ *The International Journal of Management Science*, s.11-32
41. ESMAELIAN Behzad, SARKIS Joe, LEWIS Kemper, BEHDAD Sara (2020) ‘Endüstri 4.0'da Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetiminin Geleceği için Blok Zinciri’ *Resources, Conservation & Recycling*, 163, s.1-15
42. FABBE-COSTES Nathalie, ROUSSAT Christine, TAYLOR Margaret, TAYLOR Andrew (2014) ‘Sürdürülebilir Tedarik Zincirleri: Çevresel Tarama Uygulamaları İçin Bir Çerçeve’ *International Journal of Operations & Production Management*, 34,5, s.664 - 694.

43. FACCHINI Francesco, OLESKÓW-SZŁAPKA Joanna, RANIERI Luigi, URBINATI Andrea (2020) ‘Lojistik 4.0 için Bir Olgunluk Modeli: Ampirik Bir Analiz ve Gelecekteki Araştırmalar İçin Bir Yol Haritası’ *Sustainability* (Switzerland), 12(1), s.1–18
44. FAN Yee Van, LEE Chew Tin, LIM Jeng Shiun, KLEMES Jiri Jaromir, LE Phung T. K. (2019) Akıllı, Dayanıklı ve Sürdürülebilir Döngüsel Ekonomiye Yönelik Disiplinler arası Yaklaşımlar *Journal of Cleaner Production* 232 s.1482- 1491
45. Fang vd. (2017) ‘Kentsel Geçişin Karbon Ayak İzleri: Guiyang, Çin’de Döngüsel Ekonomi Promosyonlarını İzleme, *Ecological Modelling* 365, s.30–44
46. FAROOQUE, Muhammad, ZHANG Abraham, THÜRER Matthias, QU Thing, HUISINGH Donald (2019) ‘Döngüsel Tedarik Zinciri Yönetimi: Tanım ve Yapılandırılmış Literatür İncelemesi’ *Journal of Cleaner Production* 228, s.882-900
47. FATIMAH Yun Arifatul, GOVINDAN Kannan, MURNINGSIH Rochiyati, SETIAWAN Agus (2020) ‘Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine Ulaşmak için Akıllı Atık Yönetim Sistemi için Endüstri 4.0 Tabanlı Sürdürülebilir Döngüsel Ekonomi Yaklaşımı: Endonezya Örneği, *Journal of Cleaner Production* 269, s.1-15
48. FATORACHIAN H., HADI KAZEMI H. (2021) ‘Endüstri 4.0’ ın Tedarik Zinciri Performansına Etkisi, *Production Planning & Control*, 32,1, s.63-81, DOI:10.1080/09537287.2020.1712487 (Baskıda)
49. FENG Taiwen, JIANG Yisa, XU Dehui (2020) ‘Yeşil Tedarikçi İş Birliği ve Firma Arasındaki İkili Süreç Performans: Davranışsal Bir Bakış Açısı’ Yeşil Tedarikçi İş Birliği ve Firma Arasındaki İkili Süreç Performans: Davranışsal Bir Bakış Açısı, *Journal of Cleaner Production* 260, s.1-17
50. FORNELL Claes, LARCKER David F. (1981). “Gözlenemeyen Değişkenler ve Ölçüm Hatası Olan Yapısal Eşitlik Modellerinin Değerlendirilmesi”, *Journal of Marketing Research*, 18,1. s.39-50
51. FREJE Inmaculada, DE LA CALLE Alberto, UGARTE Jos’e V. (2021) ‘Hizmet Verilen İmalat Şirketlerinin Ürün İnovasyon Kabiliyetinde Tedarik Zinciri Entegrasyonunun Rolü’ *Technovation*, doi.org/10.1016/j.technovation.2020.102216 (Baskıda), s.1-12
52. FRIEGE H., DORNACK C. (2019), Sürdürülebilir Atık Yönetiminde Neredeyiz? Atık ve Kaynak Ed: ENGLERT M., TERNES A.; Sürdürülebilir Yönetim. Mükemmel Bir Yönetim Yaklaşımı Olarak Sürdürülebilirliği Geliştirin, Berlin, Springer Yayınevi, s.596-603

53. GEDİK Y. (2020) ‘Döngüsel Ekonomiye Anlamak: Teorik Bir Çerçeve’ *Turkish Business Journal* 1,2, s.13- 40
54. GEISSDOERFER Martin, MORİOKA Sandra Naomi, CARVALHO Marly Monteiro, EVANS Steve (2018) ‘Döngüsel Ekonomi için İş Modelleri ve Tedarik Zincirleri’ *Journal of Cleaner Production*, C.190, s.712- 721
55. GHADGE Abhijeet, MOGALE D.G., BOURLAKİS Michael, MAİYAR Lohithaksha M., HAMİD Moradlou (2022) ‘Endüstri 4.0 ve Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi Arasındaki Bağlantı: Otomotiv Endüstrisinden Kanıtlar’ *Computers & Industrial Engineering* 169 s.1-14
56. GLEICH Ronald (2014), Enerji Kontrolü. Enerji Maliyetlerinin Sistemik Olarak Kontrolü ve Azaltılması. Schätzl Druck & Medien, Donauwörth.
57. GOYAL Sandeep, CHAUHAN Sumedha, MİSHRA Pavitra (2021) ‘Döngüsel ekonomi araştırması: Bir Bibliyometrik Analiz (2000e2019) ve Gelecekteki Araştırma Bilgileri’ *Journal of Cleaner Production* 287, s.1-21
58. GÖNGEN Mehmet Ali (2013) ‘Küreselleşmenin Ekonomik Boyutu. Küreselleşmeyi Yöneten Üç Ana Kurum: IMF, Dünya Bankası, Dünya Ticaret Örgütü, SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi, *Sosyal Bilimler Dergisi*, Ağustos 2013, Sayı:29, ss.117-134
59. GUALANDRİS Jury, KLASSEN Robert D., VACHON Stephan, KALCHSCHMİDT Matteo (2015) ‘Tedarik Zincirlerinde Sürdürülebilir Değerlendirme ve Doğrulama: Paydaşlara Karşı Hesap Verebilirliğin Düzenlenmesi ve Geliştirilmesi, *Journal of Operations Management* 38, s.1-13
60. GÜRBÜZ Sait (2019), AMOS ile Yapısal Eşitlik Modellemesi. Temel İlkeler ve Uygulamalı Analizler,1. Baskı. Seçkin Yayıncılık.
61. HAİR Joseph F., RİSHER Jeffrey J., SARSTEDT Marko, RİNGLE Christian M. (2019) ‘PLS-SEM Sonuçları Ne Zaman ve Nasıl Rapor Edilir?’ *European Business Review*, (31), 1, s. 2-24
62. HALANG Wolfgang A., UNGER Herwig (2014) ‘Endüstri 4.0 ve Gerçek Zamanlı’ Springer Yayınevi Berlin, Heidelberg, s.1-128
63. HAO Yuqiuge, HELO Petri, GUNASEKARAN Angappa (2020) ‘Uzaktan İzleme Sistemi için Bulut Platformları: Karşılaştırmalı bir Vaka Çalışması, *Production Planning & Control*, 31,2-3, s.186-202
64. HART Jim, ADAMS Katherine, DENSLEY TİNGLEY Danielle, GİESEKAM Jannik, POMPONİ Francesco (2019) ‘Döngüsel Bir Ekonomide Engeller ve İtici Güçler:

Yapılı Çevre Örneği' 26th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, Procedia CIRP 80, s.619-624

65. HARTLIEB Erich, KANDOLF Thomas, KANZIAN Rudolf, ROTH Michael 'Endüstri 4.0 ve IoT Bağlamında İnovasyon İş Birliğinin Geliştirilmesi': Granig Peter, Hartlieb Erich, Heiden Bernhard (Ed.) (2018) 'İnovasyon Yöntemi ile Endüstri 4.0'a Doğru, Temel Bilgiler, Stratejiler, Başarı Faktörleri ve Pratik Örnekler, Springer Yayınevi, Wiesbaden, s.1-14

66. HAUPT Melanie, VADENBO Carl, HELLWEG Stefanie (2017) 'Döngüsel Ekonomi için Doğru Performans Göstergelerine Sahip miyiz?: İsviçre Atık Yönetim Sistemine İlişkin İç Görü' *Journal of Industrial Ecology*, C. 21, S.3, s.615-627.

67. HAZEN Benjamin T., BRADLEY Randy V., BELL John E., IN Joonhwan, BYRD Terry A. (2017). Kurumsal Mimari: Çeviklik ve Firma Performansı Elde Etmeye Yönelik Yetkinliğe Dayalı Bir Yaklaşım. *International Journal of Production Economics*,193, s.566–577,

68. HENSELER Jörg, RİNGLE Christian M., SARSTEDT Marko (2015) 'Varyansa Dayalı Yapısal Eşitlik Modellemesinde Ayırt Edici Geçerliliği Değerlendirmek için Yeni bir Kriter' *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43(1),115–135

69. HERMANN Mario, PENTEK Tobias, OTTO Boris (2016) 'Endüstri 4.0 Senaryoları için Tasarım İlkeleri' Working Paper No.01, Teknik Üniversite Dortmund.s.1-16

70. HOFMANN Erik, RÜSCH Marco (2017) 'Endüstri 4.0 ve Mevcut Durum ile Lojistikte Geleceğe Yönelik Beklentiler, *Computers in Industry*, 89, s.23–34

71. HOMPEL Michael, SCHMİDT Thorsten, DREGGER Johannes (2018) 'Malzeme akış Sistemleri. Konveyör ve Depolama Teknolojisi, 4. Baskı, Springer Yayınevi, Berlin, s.341

72. HOOFF Bart Van, THİELL Marcus, (2014) 'Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi İçin İş Birliği Kapasitesi: Meksika'daki Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler' *Journal of Cleaner Production*, 67, s.239-248.

73. HUNG VO Paul (2016) 'Otomotiv Sektörü ve Yenilikçi Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Önemi' Hamburg, Diplomica Yayınevi.

74. HUSSEİN Matloub, MALİK Mohsin (2020) 'Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi Bağlamında Döngüsel Ekonomi için Organizasyonel Sağlayıcılar' *Journal of Cleaner Production* 256, s.1-13

75. INGEMARSDOTTER Emilia, JAMSİN Ella, BALKENENDE Ruud (2020) ‘IoT Özellikli Döngüsel İş Modeli Uygulamasında Fırsatlar ve Zorluklar - Bir Vaka Çalışması’ *Resources, Conservation & Recycling*, S.162, s.1-11
76. JULIANELLIA Vivianne, CAIADO Rodrigo Goyannes Gusmão, SCAVARDA Luiz Felipe, CRUZ Stephanie Pinto de Mesquita Ferreira (2020) ‘Tersine Lojistik ve Döngüsel Ekonomi Arasındaki Etkileşim: Kritik Başarı Faktörlerine Dayalı Sınıflandırma ve Çerçeve’ *Resources, Conservation & Recycling*, 158, s.12
77. JUNAİD Muhammad, ZHANGA Qingyu, SYED Muzzammil W. (2022) ‘Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Entegrasyonunun Yeşil İnovasyon ve Firma Performansı Üzerindeki Etkileri’ *Sustainable Production and Consumption* 30, s.145-157
78. KAGERMANN Henning, WAHLSTER Wolfgang, HELBIG Johannes (2013) ‘Bir Üretim Yeri Olarak Almanya'nın Geleceğini Güvence Altına Alın. Gelecekteki Endüstri 4.0 Projesi İçin Uygulama Önerileri’ Endüstri 4.0 Çalışma Grubunun Nihai Raporu. <<https://www.acatech.de>> s.e.t. 01.04.2022.
79. KAISER Thomas, STAHL Rüdiger (2015) ‘İmalathanede Endüstri 4.0. Endüstri 4.0’a geç kalanların yarın bir şirketi olmayabilir’ *Markt & Technik*, Markt Technik Diskussionrunde, Nr. 49/2015, s.33-34
80. KALKINMA BAKANLIĞI (2018) ‘On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023), Otomotiv Sanayi Çalışma Grubu Raporu <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/OtomotivSanayiiCalismaGrubuRaporu.pdf> > s.e.t (15.12.2021)
81. KAMBLE Sachin S., GÜNASEKARAN Angappa, GAWANKAR Shradha A.(2018) ‘Sürdürülebilir Endüstri 4.0 Çerçevesi: Mevcut Eğilimleri ve Gelecek Perspektiflerini Belirleyen Sistematik Bir Literatür Taraması, *Process Safety and Environmental Protection* 117, s.408–425
82. KAMBLE Sachin S., BELHADİ Amine, GUNASEKARAN Angappa, GANAPATHY L., VERMA Surabhi (2021) Otomobil Bileşeni İmalat Endüstrisinde Büyük Veriye Dayalı Döngüsel Ekonomi Uygulamalarına Öncelik Vermek için Büyük Çok Gruplu Karar Verme Tekniği, *Technological Forecasting & Social Change* 165, s.1-13
83. KASLOWSKI Simone (2021), Avrupa Yeşil Mutabakatı – Döngüsel Ekonomi Eylem Planı Türk İş Dünyasına Neler Getirecek? Tüsiad Raporu 2021.
84. KASLOWSKI Simone, SEVİM Serkan. (2022) ‘Tüsiad Dijital Türkiye Konferansı. Geleceğe Güçlü Hazırlanmak Gerektiğinin Altını Çizdi’ *Fortune* Şubat, s. 48 – 51

85. KERDLAP Piya, LOW Jonathan S. C., RAMAKRISHNA Seeram (2019) ‘Sıfır Atık Üretimi: Singapur'da Döngüsel bir Ekonomi Geçişini Sağlamak için Teknoloji, Araştırma ve Uygulama Engellerine İlişkin bir Çerçeve ve İnceleme’ *Resources, Conservation & Recycling* 151, s.1-19
86. KİM Joonhyeong Joseph (2017) ‘Tedarik Zinciri Yönetimini ve Tedarik Zinciri Düzeyinde Sürdürülebilir Performansı Destekleyen Teorik Temeller’ *International Journal of Tourism Sciences*, 17, 3, s. 213-229, DOI: 10.1080/15980634.2017.1351155
87. KOÇ Erdinç (2020) ‘Tedarik Zinciri İzlenebilirliği ve Sürdürülebilirliğinde Yeni Paradigma: Blok zincir’ *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, S. 20 s.432-433
88. KOLMYKOVA Anna (2016) ‘Tedarik Zinciri Entegrasyonu. Küresel Tedarik Zinciri için Bir Entegratör’ ün Geliştirilmesi, *Doktora tezi* Bremen Üniversitesi, Wiesbaden, Springer Yayınevi.
89. KOSZEWSKA Malgorzata (2018) ‘Döngüsel Ekonomi — Tekstil ve Giyim Endüstrisi için Zorluklar’ *AUTEX Research Journal*, C.18, S.4, s.337-347
90. KOTZAB Herbert, TELLER Christoph, GRANT David B., FRİİS Anders (2015) ‘Tedarik Zinciri Yönetimi Kaynakları, Yetenekleri ve Yürütülmesi’ *Production Planning & Control*, 26, 7, s.525-542
91. KUKA BELGELERİ (2018): ‘İnsan Robot İş Birliğinin Zaferi’ *SCOPE - Üretim için Endüstriyel Dergi*, Bölüm Robotik + Elleçleme, S. 6, s.26 <https://www.wiso-net.de/document/SCOP__9674499> s.e.t.(17.5.2019)
92. KUMAR Pravin, SİNGH Rajesh Kr, KUMAR Vikas (2021) ‘Endüstri 4.0 ve Döngüsel Ekonomi Çağında Sürdürülebilir Operasyonlar için Tedarik Zincirlerini Yönetme: Engellerin Analizi. *Resources, Conservation & Recycling* 164, s.1-12
93. KUSİ-SARPONG Simonov, GUPTA Himanshu, SARKİS Joseph (2018) ‘Bir Tedarik Zinciri Sürdürülebilirlik İnovasyon Çerçevesi ve Değerlendirme Metodolojisi’ *International Journal of Production Research* , 57, s.1-20
94. KUZMİNA Ksenija, PRENDEVİLLE Sharon, WALKER Dale, CHARNLEY Fiona (2019) Döngüsel bir Ekonomide Hızlı Tüketim Malları için Gelecek Senaryoları, *Futures* 107, s.74-88
95. LALELİ Şule. (2021) ‘Yeni Değişim Sürecine Doğru’ *Fortune Türkiye*, Kasım, s.28

96. Lİ Clyde Zhengdao, CHEN Zhe, XUE Fan, KONG Xiang T.R., XIAO Bing, LAI Xulu, ZHAO Yiyu (2021) ‘Prefabrik Konut İnşaatının Sürdürülebilirliği için Blok Zinciri ve IoT tabanlı Akıllı Ürün Hizmet Sistemi, *Journal of Cleaner Production* 286, s.1-17
97. Lİ Ying, DAİ Jing, CUI Li (2020) ‘Endüstri 4.0 Bağlamında Dijital Teknolojilerin Ekonomik ve Çevresel Performans Üzerindeki Etkisi: Yönetilen bir Arabuluculuk Modeli, *Int. J. Production Economics*, 229, s.1-13
98. Lİ Jinying, MAITI Ananda, SPRINGER Matthew, GRAY Tony (2020) ‘Tedarik Zinciri Kalite Yönetimi için Blok Zinciri: Açık Üretim ve Endüstriyel Nesnelerin İnterneti Bağlamında Zorluklar ve Fırsatlar, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33, n.12, s.1321–1355
99. LIEBEROTH-LEDEN, Christian ROSCHINGER, Marcus LECHNER, Johannes, GUNTHNER Willibald A. ‘Lojistik 4.0’(Ed) Reinhart, Gunther (2017) ‘Endüstri 4.0 El Kitabı, İş Modelleri, Süreçler, Teknoloji, Carl Hanser Yayınevi, München. S. 451-452
100. LINDÉN Tilda, PERSSON Johanna (2021) ‘Tarım-Gıda Tedarik Zincirlerinde Blok Zinciri Teknolojisinin Benimsenmesi: Neden Olsun ya da Olmasın?’ İşletme Yönetimi, Bachelor Tezi, Jönköping Üniversitesi, s.1-75
101. LOZANO Rodrigo (2007) ‘Sürdürülebilirliğin Bir Yolu Olarak İş birliği’ *Sustainable Development, Wiley InterScience* v.15,6, s. 370- 381
102. MACHADO Carla, G., WINROTH Mats P., SILVA Elias Hans Dener Ribeiro da (2020) ‘Endüstri 4.0’da Sürdürülebilir Üretim. Yükselen Bir Araştırma Gündemi’ *International Journal of Production Research*, 58/5, s.1462-1484, DOI: 10.1080/00207543.2019.1652777
103. MACKEVISION (2019) ‘Akıllı Ayna Görüntüsü’ *Automobil Industrie/ Partner der Digitalisierung* <www.wiso-net.de> s.e.t 17.05.2019, s.24-25
104. MAHLMANN KIPPER Liane, FURSTENAU Leonardo Bertolin, HOPPE Daniel, FROZZA Rejane, IEPSEN Sandra (2020) ‘Endüstri 4.0’da (2011–2018) Scopus Bilimsel Harita Üretimi: Bibliyometrik bir Analiz’ *International Journal of Production Research*, 58/6, s.1605-1627
105. MAHROOF Kamran, OMAR Amizan, RANA Nripendra P., SIVARAJAH Uthayasankar, WEERAKKODY Vishanth (2021) ‘Temiz Tarımsal Üretimi ve Döngüsel Ekonomiye Teşvik Etmede Etik Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Gelişimi için Hizmet olarak Drone (DaaS) *Journal of Cleaner Production* 287, s.1-16

- 106.** MANAVALAN E. JAYAKRISHNA K. (2019) ‘Döngüsel Ekonomi için Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Üzerine Bir Analiz’ *Procedia Manufacturing*, 33, s.477-484.
- 107.** MANKY D. (2022) ‘Siber Saldırlara Hazır mıyız? *Harvard Business Review*, Şubat s.26
- 108.** MANYİKA James, CHUİ Michael, BRAD Brown, BUGHİN Jacques, DOBBS, Richard, CHARLES Roxburgh, HUNG BYERS, Angela (2011) ‘Büyük veri; Yenilik, Rekabet ve Üretkenlik İçin Bir Sonraki Sınır’ McKinsey Global Institute, <https://bigdatawg.nist.gov/pdf/MGI_big_data_full_report.pdf> s.e.t. 27.03.2022
- 109.** MEHERİSHİ Lavanya, NARAYANA Sushmita A., RANJANİ K.S. (2019) ‘Döngüsel Ekonomide Tedarik Zinciri Yönetimi İçin Sürdürülebilir Paketleme: Bir İnceleme’ *Journal of Cleaner Production*, C. 237, s.1-23
- 110.** MEYDAN, C.H., ŞEŞEN, H. (2011), Yapısal Eşitlik Modellemesi AMOS Uygulamaları. 1. Baskı, Ankara, Detay Yayıncılık.
- 111.** MOMETE Daniela Cristina (2020) ‘Avrupa Birliği Ekonomilerinin Döngüsel bir Modellemeye Geçişe Hazır Olup Olmadığını Değerlendirmek için Birleşik bir Çerçeve’ *Science of the Total Environment* 718, s.1-9
- 112.** MONDRAGON Adrian E. Coronado, MONDRAGON Christian E. Coronado, CORONADO Etienne S. (2021) ‘Dijitalleşme Çağında Gıda Tedarik Zincirini Yönetmek: Balıkçılık Sektöründe Kavramsal Bir Yaklaşım’ *Production Planning & Control*, 32/3, 242-255,
- 113.** MURRAY Alan, SKENE Keith, HAYNES Kathryn (2017) ‘Döngüsel Ekonomi: Kavramın Disiplinler Arası Bir Keşfi ve Küresel Bağlamda Uygulanması’ *Journal of Business Ethics* 140, s.369-380
- 114.** NANDİ Santosh, SARKİS Joseph, HERVANİ Aref Aghaei, HELMS Marilyn M. (2021) ‘Blok Zinciri Etkin Döngüsel Ekonomi ve COVID-19 Deneyimlerini Kullanarak Tedarik Zincirlerini Yeniden Tasarlama’ *Sustainable Production and Consumption* 27, s.10-22
- 115.** NIEBAUER Jan, RIEMATH Adrian ‘Klasik İşyerinde Değişim’: Andelfinger, Volker P., Hänisch Till (Ed.) (2017), Endüstri. 4.0 Siber-fiziksel Sistemler İş Dünyasını Nasıl Değiştiriyor? Springer Yayınevi.
- 116.** NUNNUALLY, J.C. (1978). Psikometrik Teori. New York: McGraw-Hill Companies.

117. ORTA Hazal (2022) ‘Elektrikli Araç Bataryaları için Bulut Dönemi Başlıyor’ <<https://shiftdelete.net/elektrikli-arac-bataryalari-icin-bulut-donemi-basliyor>>
s.e.t 26.11.2022
118. OSBORNE C, CHEN H. (2019) ‘2019-20 OMEGA Center Seminer Programı, University College London, Londra, Birleşik Krallık, 21st Century Megaproject Liman Geliştirme ve Lojistiği: Blok Zinciri Kullanımı, Wolfgang Lehmacher, *Journal of Mega Infrastructure & Sustainable Development*, 1, 2, s.211-213
119. ÖZKAN Aysun, GÜNKAYA Zerrin, ÖZDEMİR Alp, BANAR Müfide (2017) Sanayide Temiz Üretim Ve Döngüsel Ekonomiye Geçişte Endüstriyel Simbiyoz Yaklaşımı: Bir Değerlendirme Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B- Teorik Bilimler, C.6, S.1, s.84-87
120. ÖZKAN Taylan Özgür (2019) ‘Lojistik, Ulaşım ve Tedarik Zinciri Yönetimi açısından Endüstri 4.0’ın Modern Analizi, Bahçeşehir Üniversitesi, Master Tezi, İstanbul.
121. ÖZKAN Şahinbey Andaç (2021) ‘Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi ve İş Birliğinin Firma Performansı Üzerine Etkisi, *Doktora Tezi*, s.1-130
122. PAMUK Nurten Sinem, SOSYAL Mehmet (2018) ‘Yeni Sanayi Devrimi Endüstri 4.0 Üzerine Bir İnceleme’ *Verimlilik Dergisi*, S.1, s.41-66
123. PATWA Nitin, SIVARAJAH Uthayasankar, SEETHARAMAN Arumugam, SARKAR Sabyasachi, MAITĪ Kausik, HINGORANĪ Kunal (2021) ‘Döngüsel Bir Ekonomiye Doğru: Yükselen Ekonomiler Bağlamı’ *Journal of Business Research*, S.122, s.725-735
124. PAXĪAN Sascha (2017) ‘Otomotiv Sanayi ve Makine Mühendisliğinde Sanayi 4.0 ve Dijitalleşme Üzerine’ *Automobilwoche | Spezial*, Ağustos 2017, s.30-31
125. PFENNİG Roland (2019), Entegre Bir Sürdürülebilirlik Yönetiminin Bir Unsuru Olarak Sürdürülebilir Lojistik, Ed. Englert, M. Ternes A. Sürdürülebilir Yönetim. Mükemmel Bir Yönetim Yaklaşımı Olarak Sürdürülebilirliği Geliştirin, Berlin, Springer Yayınevi, s.581-592
126. PEİRÓ Laura Talens, POLVERİNĪ Davide, ARDENTE Fulvio, MATHĪEUX Fabrice (2020) ‘AB’de Döngüsel Ekonomi Politikalarına Yönelik Gelişmeler: Kurumsal Sunucuların Yeni Ekolojik Dizayn Yönetmeliği’ *Resources, Conservation & Recycling* 154, s.1-11
127. PLAKAS G., PONİS S. T., AGALĪANOS K. ARETOULAKĪ E. (2020) ‘Endüstriyel IoT ve LPWAN Teknolojilerini Kullanarak Ömrünü Tamamlamış Plastiklerin Tersine Lojistiği – Şişelenmiş Su Endüstrisi için Önerilen Bir Çözüm’ 30. Uluslararası

Esnek Otomasyon ve Akıllı Üretim Konferansı (FAIM2021), 15-18 Haziran 2021, Atina, *Procedia Manufacturing* 51, s.1680-1687

128. POPP J. (2018) ‘Hatsız ve Esnek Otomobil Üretimi İçin Yenilikçi Lojistik Konseptleri’ *Berichte aus dem Institut für Fördertechnik und Logistik*, s.1-202

129. POURNADER Mehrdokht, SHI Yangyan, SEURING Stefan, KOH Lenny S.C. (2020) Tedarik Zincirlerinde, Nakliyyede ve Lojistikte Blok Zinciri Uygulamaları: Literatürün Sistematiik Bir İncelemesi, *International Journal of Production Research*, 58/7, 2063-2081

130. QUEIROZ Maciel M., FOSSO WAMBA Samuel, DE BOURMONT Marc, TELLES Renato (2020) ‘Operasyonlarda ve Tedarik Zinciri Yönetiminde Blok Zincirinin Benimsenmesi: Gelişmekte olan bir Ekonomiden Ampirik Kanıt. *International Journal of Production Research*, s.1-18

131. RAJPUT Shubhangini, SINGH, Surya Prakash (2020) ‘Döngüsel Ekonomi ve Temiz Üretim için Endüstri 4.0 Modeli’ *Journal of Cleaner Production*, S. 277, s. 1-21

132. RAMAN Seetha, PATWA Nitin, NIRANJAN Indu, RANJAN Ujjwal, MOORTHY Krishna, MEHTA Ami (2018) ‘Büyük Verinin Tedarik Zinciri Yönetimi üzerindeki Etkisi’ *International Journal of Logistics Research and Applications*, 21:6, s.579-596,

133. REINHEIMER Stefan (2017) ‘Endüstri 4.0. Zorluklar, Kavramlar ve Pratik Örnekler, Springer Yayınevi, Wiesbaden.

134. REINHART Gunther, KNOLL Dino, TESCHEMACHER Ulrich, LUX Gregor SCHNELL Joscha, ENDRES Florian, DISTEL Fabian, SEIDEL Christian, BERGER Christoph/ KLÖBER-KOCH Jan, PIELMEIER Julia, BRAUNREUTHER Stefan ‘Otomotiv Endüstrisi’nin Uygulama Alanı’: (Ed) Reinhart, Gunther (2017) ‘Endüstri 4.0 El Kitabı, İş Modelleri, Süreçler, Teknoloji, Carl Hanser Yayınevi, München, s.709-710

135. REDDY Kotha Raj Kumar, GUNASEKARAN Angappa, KALPANA, P., SREEDHARAN V. Raja, KUMAR, S. Arvind (2021) ‘Otomotiv Tedarik Zinciri için Bir Blockchain Çerçevesi Geliştirmek. Sistematiik Bir İnceleme, *Bilgisayar ve Endüstri Mühendisliği* 157, s.1-2

136. RICHTER Alexander, HEINRICH Peter, STOCKER, Alexander, STEINHÜSER Melanie ‘Geleceğin Dijital Fabrikasında Çalışanın Yeni Rolü’: Reinheimer, Stefan (Ed.) (2017) ‘Endüstri 4.0. Zorluklar, Kavramlar ve Pratik Örnekler’ Springer Yayınevi, Wiesbaden.

137. ROY Daniel Thomas ‘Endüstri 4.0 – Akıllı Fabrikada Lojistik Yönetimini Desteklemek için Siber-Fiziksel Lojistik Sistemlerinin Tasarımı’: Straube Frank,

Baumgarten Helmut, Klinkner Raimund (Ed.) (2017), Lojistik Üzerine Yazı Dizisi, Berlin Teknik Üniversitesi, Üniversite Yayınevi Band 38.

138. SABERİ Sara, KOUHİZADEH Mahtab, SARKİS Joseph, SHEN Lejia (2019), ‘Blok zinciri Teknolojisi ve Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi ile İlişkileri, *International Journal of Production Research*, C.57, S.7, s.2117–2135

139. SAİDANİ Michael, YANNOU Bernard, LEROY Yann, CLUZEL François (2017) ‘Döngüsel Ekonomide Ürün Performansı Nasıl Değerlendirilir?

Dairesellik Ölçüm Çerçevesinin Tasarımı için Önerilen Gereksinimler’ *Recycling*, 2 (1), 6, s.1-18

140. SANCHEZ Manuel, EXPOSİTO Ernesto, AGUİLAR Jose (2020) Endüstri 4.0: Sistem Entegrasyonu Perspektifinden Anket *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33, n.10-11, s.1017-1041

141. SAPMAZ VERAL E. (2021) ‘Döngüsel Ekonomi: Engeller, Stratejiler ve İş Modelleri’ *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 8, 1, s.7-18

142. SAYDAM A. (2021) ‘Elektrikli ve Otonom Araçlar Geliyor’ *KobiEfor*, Kasım, s.52-57

143. SCHNETZLER Matthias. J., SCHÖNSLEBEN Paul (2007) ‘Tedarik Zincirlerinde Bilgi Yönetiminin Katkısı ve Rolü: Ayırıştırma Temelli Bir Yaklaşım’ *Production Planning & Control* 18/ 6, s.497-513.

144. SCHMERTOSCH Thomas, KRABBES Markus (2018) ‘Otomasyon 4.0. Dijital Üretim için Modüler Makinelerin Nesne Odaklı Geliştirilmesi’ Carl Hanser Yayınevi München, s.1-12

145. SCHÖNSLEBEN Paul, HIEBER Ralf ‘Tedarik Zinciri Yönetiminde Verimli Değer Yaratan Ortaklıkların Tasarımı’: BUSCH Axel, DANGELMAIER Wilhelm (Ed.) (2004) ‘Entegre Tedarik Zinciri Yönetimi. Etkili Şirketler Arası İş Süreçlerinin Teorisi ve Pratiği’ Wiesbaden, Gabler Yayınevi, s.47-64

146. SCHÜTTE G. (2013) ‘Dijital Endüstriyel Çağda İş Organizasyonu ve İş Tasarımı, (Ed) Kagermann, H. vd. ‘Bir Üretim Yeri olarak Almanya’nın Geleceğini Güvence Altına Alın. Gelecekteki Endüstri 4.0 Projesi için Uygulama Önerileri’ Endüstri 4.0 Çalışma Grubunun Nihai Raporu. (06.04.2022), s.1-112

147. SCHÜTTE Reinhard, VETTER Thomas ‘Ticari İşletmelerin Dijitalleşme Potansiyellerinin Analizi’: Gläß Rainer, Leukert Bernd (Ed.) (2017), Ticaret 4.0. Ticaretin Dijitalleşmesi–Stratejiler, Teknolojiler, Dönüşüm’ Springer Yayınevi, Berlin Heidelberg,

148. SEHNEM, Simone/ VAZQUEZ-BRUST, Diego A./ PEREIRA, SUSANA C. F./ CAMPOS, Lucila M. S. (2019) 'Dairesel Ekonomi: Faydalar, Etkiler ve Örtüşenler' *Supply Chain Management: An International Journal*, 24, 6, s.784-804.
149. SENDLER Ulrich (2016) 'Sınır Tanımayan Endüstri 4.0' Springer Yayınevi, Berlin Heidelberg.
150. SEURING Stefan (2015) 'Tedarik Zinciri Yönetimi' Center Für Lebenslanges Lernen C3L, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, s.1-20
151. SEYEDGHORBAN Zahra, TAHERNEJAD Hossein, MERİTON Royston, GRAHAM Gary (2020). Tedarik Zinciri Dijitalleşmesi: Geçmiş, Bugün ve Gelecek, *Production Planning & Control*, 31:2-3, s.96-114.
152. SHARMA Mahak, KAMBLE Sachin, MANİ Venkatesh, SEHRAWAT Rajat, BELHADİ Amine, SHARMA Vardaan (2021) 'Gelişmekte Olan Ekonomilerde Çok Katmanlı Üretim Tedarik Zincirinde Sürdürülebilirlik için Endüstri 4.0'ın Benimsenmesi' *Journal of Cleaner Production* 281, s. 1-17
153. SHOJAEİ Alireza, KETABİ Roozbeh, RAZKENARİ Mohamad, HAKİM Hamed, WANG Jun (2021) 'Blok Zinciri Teknolojisi ile Yapılı Çevre Sektöründe Döngüsel Bir Ekonominin Sağlanması' *Journal of Cleaner Production* 294, s.1-13
154. SHOU Yongyi, ZHAO Xinyu, DAİ Jing, XU Dong (2021) İzlenebilirlik ve Tedarik Zinciri Koordinasyon Uyumu: Üstün Performans için Operasyonel Yeniliği Ulaşma *Transportation Research Part E* 145, s.1-14
155. SINGH Chandra Shekhar, SONİ Gunjan, BADHOTİYA Gaurav Kumar (2019) 'Tedarik Zinciri Esnekliği için Performans Göstergeleri: Gözden Geçirme ve Kavramsal Çerçeve' *Journal of Industrial Engineering International C*. 15, s.105-117
156. SOMOHANO-RODRÍGUEZ Francisco M., MADRİD-GUİJARRO Antonia, LÓPEZ-FERNÁNDEZ José Manuel (2020): Endüstri 4.0 Gerçekten KOBİ İnovasyonu için Önemli mi?, *Journal of Small Business Management*, s.1-29
157. SONY Michael, NAIK Subhash (2020) 'Endüstri 4.0'ın Başarılı Bir Şekilde Uygulanması için Kritik Faktörler: Bir İnceleme ve Gelecekteki Araştırma Yönü, *Production Planning & Control. The Management of Operations*, 31/10, s.799-815
158. SOYLU Ali (2018) 'Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar', *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 32, Denizli, s.43-57.
159. SÖNMEZ ÇAKIR Fatma (2020), Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Modellemesi, 1. Baskı, Ankara, Gazi Kitabevi.

- 160.** SPÖTTLE Georg, WİNDELBAND Lars (2020) '4. Sanayi Devrimi – Mesleki Beceriler Üzerindeki Etkisi' *Journal of Education and Work*, s.29-52
- 161.** ŞAHİN Melek Gülşah, BOZTUNÇ ÖZTÜRK Nagihan (2018) 'Eğitim Alanında Ölçek Geliştirme Süreci: Bir İçerik Analizi Çalışması' *Kastamonu Eğitim Dergisi*, C. 26 Sayı. 1, s.191-199
- 162.** REDER Laura, STEVEN Marion, KLÜNDER Timo (2018) 'Tedarik Zinciri Ağlarının Endüstri 4.0 Hazırlığı. Otomotiv Endüstrisi Örneğini Kullanarak Nitel ve Nicel Analiz' *Industrie 4.0 Management* 34, 5, Ruhr-Üniversitesi Bochum s.11-16
- 163.** STRANGE Roger, ZUCHELLA Antonella. (2017) 'Endüstri 4.0, Küresel Değer Zincirleri ve Uluslararası İşletme', *Multinational Business Review*, C.25, S.3,s.174-184
- 164.** TACHİZAWA vd. (2015) 'Akıllı Şehirler Tedarik Zinciri Yönetimini Nasıl Değiştirecek? *Supply Chain Management: An International Journal*, C. 20 S. 3, s.237-248
- 165.** TAMAS Levente, MURAR Mircea (2019) 'Akıllı CPS: Bir Cobot ile Dikey Entegrasyona Genel Bakış ve Kullanıcı Hikayesi' *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32, 4-5, s.504-521.
- 166.** TRENKLE Andreas, FURMANS Kai 'Endüstri 4.0'ın Bir Unsuru Olarak İnsanlar: Otonom Malzeme Akış Sistemlerinde Etkileşim Mekanizması': VOGEL-HEUSER Birgit, Bauernhansl Thomas, Hompel Michael (Ed.) (2017) Endüstri 4.0 El Kitabı Band 3, Lojistik, Springer Yayınevi, Berlin. s.45-59
- 167.** TSENG Ming-Lang, TAN, Raymond R., CHİU, Anthony S.F., CHİEN Chen-Fu, KUO Tsai Chi (2018) 'Döngüsel Ekonomi Endüstri 4.0 ile Buluşuyor: Büyük Veri Endüstriyel Simbiyozu Yönlendirebilir mi?' *Resources, Conservation & Recycling*, S.131, s.146-147
- 168.** TORO Carlos, SEİF Alejandro, AKHTAR Humza (2020) 'Mini Fabrikalar, Siberetik ve Sistemler için Varlık Yönetim Yapı İskeletini Modelleme ve Bağlama', 51/2, s.232-245
- 169.** TOWA Edgar, ZELLER Vanessa, ACHTEN Wouter M.J. (2021) 'Çok Bölgeli hibrit input-output Modeli Kullanan Döngüsel Ekonomi Senaryosu Modellemesi: Belçika ve Bölgeleri Örneği' *Sustainable Production and Consumption* 27, s.889-904
- 170.** TÜSİAD Döngüsel Ekonomi Raporu Haziran (2021)
<<https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/10790-avrupa-yesil-mutabakati-dongusel-ekonomi-eylem-plani-turk-is-dunyasina-neler-getirecek>>s.e.t (23.08.2021), s.1-50
- 171.** ULLRİCH Andre, VLADOVA Gergana, GRONAV Norbert, JUNGBAUER Nicole 'Endüstri 4.0 Fabrikasında Kabul Analizi. Organizasyonel Değişimi Tasarlamak için

Metodik bir Yaklaşım’: Obermaier Robert (Ed.) (2016) ‘Kurumsal Bir Tasarım Görevi için Endüstri 4.0. Ticari, Teknik ve Yasal Zorluklar, Springer Yayınevi, Wiesbaden.

172. ULUTAŞ Ferda (2011), Endüstriyel Ekoloji, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim. Ankara: Yayınlar-VI. s.1- 40

173. UPADHYAY Arvind, MUKHUTY Sumona, KUMAR Vikas, KAZANCOGLU Yigit (2021) ‘Blok Zinciri Teknolojisi ve Döngüsel Ekonomi: Sürdürülebilirlik ve Sosyal Sorumluluk için Çıkarımlar’ *Journal of Cleaner Production*, S.293, s.1-7

174. ÜNLÜTÜRK Şükrü, KİHTİR- ÖZTÜRK Pelin, KARDEŞ Simay, BİRDAL Merve (2020) ‘İşletmeler İçin Döngüsel Ekonomi Rehberi’ Hedefler İçin İş Dünyası Platformu, DCube Döngüsel Ekonomi Kooperatifi, s.1-29

<https://business4goals.org/PDF/Dongusel_Ekonomi_Rehberi.pdf> s.e.t.23.08.2021

175. VACHON S., KLASSEN R. (2010) ‘Kapalı Döngü Tedarik Zincirlerinde Ampirik Çalışmalar’ FERGUSON, M., SOUZA G.C. (Ed), Kapalı Döngü Tedarik Zincirleri: İş Ortaklarının Sürdürülebilirliğini Artıracak Yeni Gelişmeler, Bölüm 13, CRC Yayınevi, Boca Raton, s.215-230

176. VASS Tharaka De, SHEE Himanshu, MIAH Shah J. (2020) ‘Tedarik Zinciri Yönetiminde Nesnelerin İnterneti: Perakende Sektörü Sürdürülebilirliği Üzerine Bir Anlatı, *International Journal of Logistics Research and Applications . A Leading Journal of Supply Chain Management*, C.24, S.6, s.605-624

177. VOLKSWAGEN AG (2018), Volkswagen Aktiengesellschaft, Wolfsburg, Mali Yıl için Yıllık Mali Tablolar, 01.01.2018-31.12.2018.

178. VINANTE Christian, SACCO Pasqualina, ORZES Guido, BORGİANNİ Yuri (2021) ‘Döngüsel Ekonomi Metrikleri: Literatür Taraması ve Şirket Düzeyinde Sınıflandırma Çerçevesi’ *Journal of Cleaner Production*, C. 288, s.1-17

179. WALLMÜLLER Ernest (2017) Dijital Dönüşüm Üzerine Pratik Bilgi. Değişimi Anlayın, Çözümler Geliştirin, Katma Değeri Artırın. Hanser Yayınevi, München.

180. WANG Jianxin, LİM Ming K., WANG Chao, TSENG Ming-Lang (2021) Nesnelerin İnterneti’nin (IoT) Son 20 Yıldaki Gelişimi, *Computers & Industrial Engineering* 155, s.1-17.

181. WANG Bill, LUO Wen, ZHANG Abraham, TIAN Zonggui, Lİ Z. (2020), Blok Zinciri Özellikli Döngüsel Tedarik Zinciri Yönetimi: Hızlı Moda için Bir Sistem Mimarisi, *Computers in Industry* 123, s.1-13

182. WEISSENBERGER-EİBL Marion A./ BRAUN, Annette (2019) ‘Sürdürülebilir İşletme Gelişimi’ (Ed): ENGLERT Marco, TERNES Anabel.; Sürdürülebilir Yönetim.

Mükemmel Bir Yönetim Yaklaşımı için Sürdürülebilirliği Geliştirin, Berlin, Springer Yayınevi, s.249-270

183. YADAV Gunjan, MANGLA SACHIN Kumar, BHATTACHARYA Arijit, LUTHRA Sunil (2020) ‘Hibrit Bir Karar Destek Yaklaşımı Aracılığıyla Döngüsel Ekonomi Benimseme Çerçevesinin Göstergelerini Keşfetmek’ *Journal of Cleaner Production* 277, s.1- 11

184. YALÇINKAYA Akansel, DURMAZ Vildan, ADİLLER Leyla (2011) ‘Sürdürülebilir Kalkınma ve Kurumsal Sürdürülebilirlik için Yeni Ölçümleme: Üçlü Performans’ Uluslararası 9. Bilgi, Ekonomi ve Yönetim Kongresi Bildirileri, Saraybosna-Bosna Hersek, s.3320-3332

185. YILDIZ Erkan (2020). Smart PLS ile Yapısal Eşitlik Modellemesi. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

186. YILMAZ Fevzi (2022) ‘Lityum Madenciliği, Bataryalar Elektrikli Araçlar ve TOGG’ Enerji ve Çevre Dünyası Dergisi, Kasım- Aralık 178, s.31-34

187. ZHANG, Abraham/ VENKATESH V.G./ LIU, Yang/ WAN, Ming/ QU, Ting/ HUISINGH, Donald (2019) ‘Çin’de Döngüsel Bir Ekonomi için Akıllı Atık Yönetiminin Önündeki Engeller’ *Journal of Cleaner Production* S.240, s.1-12

188. ZHANG, Xianyu/ MING, Xinguo (2020) ‘Akıllı Üretim İş birliği Sistemi (SMCS) için Çoklu Süreçlerden, Çoklu Kesişme Noktalarından ve Çoklu Operatörlerden Referans Alt Sistemleri, Enterprise Information Systems, C.14, S.3, s.282-307

189. ZHENG, Ting/ ARDOLINO, Marco/ BACCHETTI, Andrea/ PERONA, Marco (2020) ‘Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Üretim Bağlamındaki Uygulamaları: Sistematik Bir Literatür Taraması’ *International Journal of Production Research* 59, S.6, s.1922-1954

190. ZSIFKOVITS Helmut E., ALTENDORFER-KAISER Susanne (2015) Lojistik Bilgi Akışlarının Yönetimi. Leoben’de (Wild) 3. Bilimsel Endüstriyel Lojistik Diyalogu. Rainer Hampp Yayınevi, Münih ve Mering 20,146, s.26-27

EKLER

1. Anket
2. İş Birliği Bağlamında Yapı Unsurları ve Göstergeleri
3. Etik Kurulu Onay Formu



TEZ FOTOKOPİSİ İZİN FORMU

ENSTİTÜ

Fen Bilimleri Enstitüsü

☐

Sosyal Bilimler Enstitüsü

☒

YAZARIN

Soyadı : KOL TETİK

Adı : Ebru

Bölümü : İşletme

Medeni Durumu : Evli

TEZİN ADI : Endüstri 4.0'ın Döngüsel Ekonomi Performansına İş Birliği Bağlamında Etkileri: Türkiye Otomotiv Tedarik Zincirinde Bir Uygulama

TEZİN TÜRÜ : Yüksek Lisans

☐

Doktora

☒

1. Tezimin tamamından kaynak gösterilmek şartıyla fotokopi alınabilir.

☐

2. Tezimin içindekiler sayfası, özet, indeks sayfalarından ve/veya bir bölümünden kaynak gösterilmek şartıyla fotokopi alınabilir.

☒

3. Tezimden bir (1) yıl süreyle fotokopi alınamaz.

☐

TEZİN KÜTÜPHANEYE TESLİM TARİHİ:

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Soyadı, Adı: Kol Tetik, Ebru Uyruğu: TC
Doğum Tarihi: 22 Ağustos 1979 Doğum Yeri: İstanbul
e-mail: ebrukol@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Doktora	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi	2014-
Yüksek Lisans/Lisans	Kassel Üniversitesi/Almanya (İktisat Bölümü- Marketing ve Uluslararası Yönetim & Finansal Piyasalar ve Finans Yönetimi) Tez Konusu: “Seçilen Türk İşletmelerinde Süreç Yönetimi Uygulamalarının Analizi”, Dipl. Ekonomist: 3,53	2006-2012
Ön Lisans	Kassel Üniversitesi/Almanya (İktisat Bölümü/ Ekonomi Pedagojisi)	2004-2006
Ön Lisans	Anadolu Üniversitesi Kamu Yönetimi-Yönetim ve Organizasyon & Kamu ve Finans	1999-2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	İşletme
02.08.2010 – 12.10.2010	Sanofi Aventis GmbH Frankfurt Main/DE Departman Steril Çözümler (Teknik), Staj
03.09.2007 – 12.10.2007	Robert Bosch GmbH, Rutesheim/DE Kalite Yönetimi Departmanı, QM Kontrol SAP Modülleri Deneyimi, Staj
25.07.2006 – 25.01.2007	Sigorta Center Group A.Ş Ankara/Staj /TR
04.09.2006 – 29.09.2006	Robert Bosch GmbH, Rutesheim/DE Kalite Kontrol Departmanı, Staj
29.08.2005 – 30.09.2005	Robert Bosch GmbH Stuttgart/DE Müşteri Lojistiği, Staj

YABANCI DİLLER

Almanca : İleri Seviye

İngilizce : Orta Seviye

YAYIN

Kol, E., Cebeci, C. (2013) ‘Analysis for the Implementation of the Business Process Management in Selected Turkish Enterprises’ *International Journal of Economics and Financial Issues*, Kassel Üniversitesi, Master Tezi, Cilt 3, Sayı 2, 420 – 425.



EK-1. ANKET

Sayın Yönetici,

Doktora çalışması kapsamında “Endüstri 4.0’ın Türkiye Otomotiv Sektöründe Döngüsel ve Sürdürülebilir Tedarik Zincirine Etkileri” konulu bir tez çalışması yürütülmektedir. Çalışmada Endüstri 4.0 teknolojilerinin tedarik zincirinde iş birliği üzerinden döngüsel ve sürdürülebilir tedarik zincirine etkileri araştırılmaktadır. Bu çerçevede geliştirilen Anket, firmaların Endüstri 4.0 ile ilgili girişimleri, eğilimleri, uygulamaları ve performans göstergelerini araştırmaya yöneliktir. Araştırmada ampirik (deneye dayalı) uygulama için gerekli verinin derlenmesi amacıyla firmaların değerli katkıları beklenmektedir. Elinizdeki Anket formu, tedarik zincirinde iş birliği esasında Endüstri 4.0 girişimlerine ilişkin firma statükosu, performansı ve döngüsel ekonomiye dayalı prensiplerinin değerlendirilmesini konu edinmektedir.

Ankete katılımınız ile Türkiye otomotiv sektöründe yapılacak olan bu bilimsel çalışmanın uluslararası düzeyde değer kazanarak bilime katkı sağlaması hedeflenmektedir. Her firmanın değerli katkısı anonim şeklinde değerlendirileceğinden firma düzeyinde veri gizliliğinin ve güvenliğinin korunacağını önemle bildiririz.

Hazırlanan bilimsel çalışmaya değerli katkılarınız için şimdiden teşekkür ederiz.

Saygılarımla,

Ebru Kol Tetik

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi,

Sosyal Bilimler Enstitüsü

Genel İşletme Doktora Programı

Telefon: 0553 365 4422

E-posta: ebrukol@hotmail.com

Tez Yöneticisi (Danışman)

Prof. Dr. İsmail Erol

İşletme Bölümü Anabilim Dalı Öğretim Üyesi

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

İşletme Fakültesi

Genel İşletme Bölümü

Telefon: (0530)8343197

E-posta: ierol@ybu.edu.tr



BÖLÜM I Firmaların Endüstri 4.0 Kullanımı ve Performansı

Bu bölümde, Endüstri 4.0'ın tedarik zincirinde iş birliği üzerinden döngüsel ve sürdürülebilir tedarik zincirine etkileri için firmanın performansı ve mevcut durumu değerlendirilecektir.

1. Endüstri 4.0 teknolojileri bağlamında mevcut durumunuz hangi aşamadır:

- ☐ Plan aşamasında
- ☐ Planladık, ancak uygulamaya geçmedik
- ☐ Uyguluyoruz
- ☐ İlgileniyoruz, fakat herhangi bir planımız mevcut değil
- ☐ Plan mevcut değil

2. Endüstri 4.0 teknolojilerinden hangilerini kullanmaktasınız:

(birden fazla seçenek olabilir)

- ☐ Radyo Frekans Tanımlama
- ☐ Blok Zinciri
- ☐ Bulut Bilişim
- ☐ Siber- Fiziksel sistemler
- ☐ Nesnelerin İnterneti
- ☐ Büyük Veri Analitiği
- ☐ Eklemeli Üretim
- ☐ Diğer:.....

3. Endüstri 4.0 teknolojilerinden elde ettiğiniz faydaları nasıl değerlendirirsiniz?

(birden fazla seçenekli olabilir)

- ☐ Tedarik zinciri iş birliğinde artış
- ☐ Tedarik zinciri şeffaflığında artış
- ☐ Tedarik zinciri oyuncular arasında güvenin sağlanması
- ☐ Tedarik zincirinde stratejik iş birliğinin güçlenmesi
- ☐ Tedarik zinciri yönetimi ve kontrolünde iyileşme
- ☐ İşlem süreçlerinde şeffaflık
- ☐ Maliyetlerde iyileşme
- ☐ İşlem verimliliğinde artış
- ☐ Enerji verimliliğinde artış
- ☐ Yüksek hacimli çıktılar
- ☐ Kişiselleştirilmiş ürün çeşitliliği sağlama
- ☐ İşlem süreçlerinde izlenebilirlik
- ☐ Gerçek zamanlı ve güvenilir veri alışverişi

4. Endüstri 4.0 uygulamalarında firmanızı ne düzeyde yeterli görüyorsunuz?

- ☐ Çok yeterli değil
- ☐ Yeterli değil
- ☐ Ne yeterli, ne de yetersiz
- ☐ Yeterli
- ☐ Çok yeterli

Ölçek Değerlendirme

BÖLÜM II Endüstri 4.0' ın Tedarik Zinciri İş Birliğine Etkileri

	Endüstri 4.0' ın Tedarik Zincirinde İzlenebilirlik, Güven ve Entegrasyonu etkilemesine ilişkin aşağıdaki ifadelerle ne düzeyde katıldığınızı uygun olan ifadeyi işaretleyerek lütfen belirtiniz.	En Önemli	Önemli	Ne Önemli, Ne de Önemli	Önemli	En Önemli
5	Endüstri 4.0 teknolojileri, tedarik zincirinde “izlenebilirliği” (ürün ve malzeme akışının; üretim, dağıtım ve konumunu izleme yeteneği) önemli düzeyde etkiler. H1a (SC İzlenebilirlik)					
6	Endüstri 4.0 teknolojileri, tedarik zincirinde “güven esaslı koordinasyona” katkı sağlar. H1a (SC İzlenebilirlik)					
7	Endüstri 4.0 teknolojileri, tedarik zinciri üyeleri arasındaki “güveni” güçlendirir. H1b (SC Güven)					
8	Endüstri 4.0 teknolojileri, tedarik zinciri oyuncuları arasındaki “veri paylaşımına” olanak sağlar. H1b (SC Güven)					
9	Endüstri 4.0 teknolojileri, tedarik zincirinin “işlem akışında ve koordinasyonunda oluşabilecek olası belirsizlikleri” azaltır. H1b (SC Güven)					
10	Endüstri 4.0 teknolojileri, tedarik zincirinde “bağımsız ve heterojen yapıların (farklı firmaların) entegre çalışmasında” etkilidir. H1c (SC Birlikte çalışabilirlik)					
11	Endüstri 4.0 teknolojileri, tedarik zinciri oyuncularının kullandıkları “bilgi yönetim sistemleri arasındaki uyumu” destekler. H1c (SC Birlikte çalışabilirlik)					
12	Endüstri 4.0, tedarikçilerle yapılan “ortak süreç geliştirme çaba ve projelerini” olumlu yönde etkiler. H1d (SC Entegrasyon)					
13	Endüstri 4.0 teknolojileri, tedarik zinciri oyuncuları arasında “stratejik iş birliğini” kolaylaştırır. H1d (SC Entegrasyon)					

Modelin orta bölümü ile ilgili 5’den 13 ‘a kadar olan sorular içinde her bir gösterge için 2 soru ve Sadece SC Güven için 3 soru hazırlanmıştır. Endüstri 4.0 teknolojileri bağımsız değişken olarak ele alınırken modelin orta kısmındaki parametreler (SCV, SCT, SCI) bağımlı değişken olarak belirlenmiştir.

BÖLÜM III Endüstri 4.0 Yeteneklerinin Döngüsel Tedarik Zincirine Etkileri

	A. Ekolojik Tasarım (çevreye zarar vermeyen tasarım) ile ilgili aşağıdaki ifadelere ne düzeyde katıldığınızı lütfen belirtiniz. (H2a; SCV nin belirlenen her bir alt kriteri için soru hazırlandı)).	Kesinlikle katılmıyorum	Katılmıyorum	Ne Katılıyorum, Ne Katılmıyorum	Katılıyorum	Kesinlikle katılıyorum
14	Tedarik zincirinde izlenebilirlik (ürün ve malzeme akışının; üretim, dağıtım ve konumunu izleme yeteneği) “ürünlerin ekolojik tasarımını” etkiler.					
15	Tedarik zincirinde güven “ürünlerin ekolojik tasarımını” etkiler.					
16	Tedarik zincirinde entegrasyon “ürünlerin ekolojik tasarımını” etkiler.					
17	Tedarik zincirinde birlikte çalışma (firmaların yazılım sistemlerinin uyumlu çalışması) “ürünlerin ekolojik tasarımını” etkiler.					

	B. Kaynak Verimliliği (daha az malzeme ve enerji kullanımı) ile ilgili aşağıdaki ifadelere ne düzeyde katıldığınızı uygun olan ifadeyi işaretleyerek lütfen belirtiniz. (H2b; Tedarik zincirinde iş birliğinin literatür dayanaklı belirlenen her bir alt kriteri için CE nin bir alt elementi arasındaki ilişkiye bakıldı)	Kesinlikle katılmıyorum	Katılmıyorum	Ne Katılıyorum, Ne Katılmıyorum	Katılıyorum	Kesinlikle katılıyorum
18	Tedarik zincirinde izlenebilirlik (ürün ve malzeme akışının; üretim, dağıtım ve konumunu izleme yeteneği) kaynak verimliliğini üzerinde etkilidir.					
19	Tedarik zincirinde güven “Kaynak Verimliliği” üzerinde etkilidir.					
20	Tedarik zincirinde entegrasyon (uyum) “Kaynak Verimliliği” üzerinde etkilidir.					
21	Tedarik zincirinde birlikte çalışma (firmaların yazılım sistemlerinin uyumlu çalışması) “Kaynak Verimliliği” üzerinde etkilidir.					

	C. Atık Yönetimi (atıkları azaltma, kontrol ve önleme) ile ilgili aşağıdaki ifadelere ne düzeyde katıldığınızı uygun olan ifadeyi işaretleyerek lütfen belirtiniz. (H2c; Tedarik zincirinde iş birliğinin literatür dayanaklı belirlenen her bir alt kriteri için Döngüsel ekonomi (CE)’ nin alt bileşenleri arasındaki ilişkiye bakıldı)	Kesinlikle katılmıyorum	Katılmıyorum	Ne Katılıyorum, Ne de Katılmıyorum	Katılıyorum	Kesinlikle katılıyorum
22	Tedarik zincirinde izlenebilirlik (ürün ve malzeme akışının; üretim, dağıtım ve konumunu izleme yeteneği) “Atık Yönetimini” etkiler.					
23	Tedarik zincirinde güven “Atık Yönetimini” etkiler.					
24	Tedarik zincirinde entegrasyon (uyum) “Atık Yönetimini” etkiler.					
25	Tedarik zincirinde birlikte çalışma (firmaların yazılım sistemlerinin uyumlu çalışması) “Atık Yönetimini” etkiler.					

	D. Kaynak Geri Kazanımı (geri dönüşüm, yeniden kullanım, yeniden üretim ve onarım faaliyetleri) ile ilgili aşağıdaki ifadelere ne düzeyde katıldığınızı uygun olan ifadeyi işaretleyerek lütfen belirtiniz. (H2d: Tedarik zincirinde iş birliğinin literatür dayanaklı belirlenen her bir alt kriteri için CE’ nin bir alt elementi arasındaki ilişkiye bakıldı)	Kesinlikle katılmıyorum	Katılmıyorum	Ne Katılıyorum, Ne de Katılmıyorum	Katılıyorum	Kesinlikle katılıyorum
26	Tedarik zincirinde izlenebilirlik (ürün ve malzeme akışının; üretim, dağıtım ve konumunu izleme yeteneği) “Kaynak Geri Kazanımını” etkiler.					
27	Tedarik zincirinde güven “Kaynak Geri Kazanımını” etkiler.					
28	Tedarik zincirinde birlikte çalışma (firmaların yazılım sistemlerinin uyumlu çalışması) “Kaynak Geri Kazanımını” etkiler.					
29	Tedarik zincirinde entegrasyon (uyum) “Kaynak Geri Kazanımını” etkiler.					

BÖLÜM IV Demografik Özellikler

30. Unvanınız: ☐ Kurucu ☐ Şirket Sahibi ☐ Yönetim Kurulu Başkanı ☐ Yönetim Kurulu Üyesi
☐ Üst Kademe Yönetici ☐ Orta Kademe Yönetici ☐ Diğer....

31. Firmanın dahil olduğu sektör: ☐ Ana Otomotiv Sanayi
☐ Yan Otomotiv Sanayi

32. Firmanın çalışan sayısı:
- ☐ 0 - 9 çalışan
 - ☐ 10 - 49 çalışan
 - ☐ 50 - 249 çalışan
 - ☐ 250 ve üzeri çalışan

33. Firmanın yıllık cirosu:
- ☐ max. 3 milyon TL
 - ☐ max. 25 milyon TL
 - ☐ max. 125 milyon TL
 - ☐ üzeri 125 milyon TL

H1: Endüstri 4.0 faktörü ile tedarik zincirinde iş birliği faktör kümesi arasındaki ilişki TZ iş birliği faktör kümesinden elde edilen bütünsel etki ile sinanacaktır.

H2: Tedarik zincirinde iş birliği kümesinden elde edilen bütünsel etki ile Döngüsel Ekonominin alt bileşenlerini içeren üçüncü faktör kümesi arasındaki ilişkiye bakılarak sinanacaktır. Kalan sorular demografik sorular olarak incelenenecektir.

EK-2. Tedarik Zincirinde İş Birliği Bağlamında Yapı Unsurları ve Göstergeleri		
Yapı	Unsurlar	Göstergeler
Endüstri 4.0 Benimsenmesi ve TZ İşbirliğine ilişkin Dört Temel Süreç		
TZ İş birliği; TZ Görünürlük, TZ Güven, TZ Birlikte çalışabilirlik, TZ Entegrasyon		
<i>Aşağıdaki ifadeler tedarik zincirinde görünürlük, güven, birlikte çalışabilirlik ve entegrasyon için ne ölçüde geçerlidir?</i>		
TZ Görünürlük	Görünürlük 1	TZ ortakları arasında veri erişim ve paylaşım düzeyini belirler
	Görünürlük 2	Tedarik zinciri verilerine ulaşma ve analiz etme konusunda yeterli bilgiyi sağlar
	Görünürlük 3	İyi bir öngörünün kesintileri önlenmekle beraber proaktif hareketi sağladığı ve tedarik zinciri direncini artırmasıyla beraber bu yöndeki bilinci geliştirdiği görülür
	Görünürlük 4	Tedarik zincirinde iş birliğini güçlendirip belirsizliği azaltmasını sağlayan güçlü bir bilgi paylaşım kültürünü getirir
<i>İlgili ifadeler Tedarik Zincirinde Güveni ne ölçüde temsil eder?</i>		
TZ Güven	Güven 1	Tedarikçiler arasında bilgi paylaşım hızını artıran bir etkiye sahiptir
	Güven 2	Güven seviyesi veri paylaşım olasılığını daha fazla artırır
	Güven 3	Tedarik zincirinde iş birliği ve Güven'in değer ve sinerji yaratması etkin katılımı mümkündür
<i>İlgili ifadeler Tedarik Zincirinde Birlikte çalışmayı ne ölçüde temsil eder?</i>		
TZ Birlikte çalışabilirlik	B. Çalışabilirlik 1	Teknolojik kaynakların birlikte çalışması tedarik zinciri entegrasyonuna bağlıdır

	B. Çalışabilirlik 2	Otomatik üretim ekosistemlerinde heterojen bileşenlerin birbiri ile entegre olmasına dayanır
	B. Çalışabilirlik 3	ağ üyelerinin verileri tam olarak paylaşmasını sağlar
	B. Çalışabilirlik 4	bilgi yönetim sistemleri arasındaki uyumu belirler
<i>İlgili ifadeler Tedarik Zincirinde Entegrasyonu ne ölçüde temsil eder?</i>		
• TZ Entegrasyon	Entegrasyon 1	tedarikçilerle yapılan “ortak süreç geliştirme çaba ve projeleri olarak nitelenir
	Entegrasyon 2	tedarik zinciri oyuncuları arasında “stratejik iş birliği olarak görülür



**ANKARA YILDIRIM BEYAZIT ÜNİVERSİTESİ (AYBÜ)
SOSYAL VE BEŞERİ BİLİMLER ETİK KURULU
PROJE ONAY BELGESİ**



Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesiİşletme.....
Fakültesi/Enstitüsü.....İşletme..... bölümü
akademisyenlerinden / öğrencilerinden.....Ebru Kol Tetik 'in,...adlı araştırması
değerlendirilmiştir.(Bu kısım başvuru sahibi tarafından doldurulmalıdır)

Proje etik açısından uygun bulunmuştur.

Proje etik açısından geliştirilmesi gerekmektedir.

Proje etik açısından uygun bulunmamıştır.



AYBÜ SOSYAL VE BEŞERİ BİLİMLER ETİK KURULU KARARI (Etik Kurul tarafından doldurulacaktır)	
Araştırma kodu (Yıl – Araştırma sıra no)	2021-580
Başvuru formunun Etik Kurula ulaştığı tarih	28.12.2021
Etik Kurul Karar toplantı tarihi ve karar no	06.01.2022-36
Yer	Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Esenboğa Külliyesi
Katılımcılar	Formda imzası bulunan üyelerimiz toplantıya katılmıştır.

KURUL BAŞKANI VE ÜYELER:

Prof. Dr. Hakkı ODABAŞ
Prof. Dr. Mehmet Ali ZENGİN
Doç. Dr. Behlül TOKUR
Doç. Dr. Özge GÖKBULUT ÖZDEMİR
Doç. Dr. Ali POLAT
Doç. Dr. Musa ÖZTÜRK
Doç. Dr. Ömer ASLAN
Dr. Öğr. Üyesi Recep YORULMAZ
Dr. Öğr. Üyesi Semih CEYHAN
Dr. Öğr. Üyesi Keziban Büşra KAYNAK EKİCİ
Dr. Öğr. Üyesi Gülay YAZICI

Başkan

Üye

Üye

Üye

Üye

Üye

Üye

Üye

Üye

Üye

Üye



kuraya yazın