

T.C.
İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE GELENEKSEL
YÖNTEMLER İLE BLOK ZİNCİRİ TABANLI YAKLAŞIMLARIN
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şeyma Nur BAYRAKAL

1800003045

Anabilim Dalı: İşletme

Programı: İşletme

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat Taha BİLİŞİK

EYLÜL 2025

T.C.
İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE GELENEKSEL
YÖNTEMLER İLE BLOK ZİNCİRİ TABANLI YAKLAŞIMLARIN
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şeyma Nur BAYRAKAL

1800003045

Anabilim Dalı: İşletme

Programı: İşletme

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat Taha BİLİŞİK

Jüri Üyeleri: Dr. Levent POLAT

Dr. Mustafa BEKMEZCİ

EYLÜL 2025

ÖNSÖZ

Bu tez, yalnızca akademik bir sürecin değil, aynı zamanda hayatımda değer verdiğim insanların destekleriyle şekillenen anlamlı bir yolculuğun ürünüdür. Bu yolculuk boyunca yanımda olan, bana hem bilgi hem de yürek veren herkese en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Öncelikle, sadece bir patron değil, aynı zamanda bir abi, bir yol gösterici ve kıymetli bir dost olan Fatih Keleş'e özel bir teşekkür borçluyum. Tez sürecim boyunca, bana zaman ayıran, beni motive eden ve akademik olarak her an yanımda olan bir destekçi oldu. Onun sayesinde, hem daha sağlam bir çalışma ortaya koyabildim hem de kendime olan inancım pekişti. İyi ki varsın, Fatih Keleş.

AHP hesaplamalarında desteğini esirgemeyen değerli arkadaşım Burak Şahin'e, bu teknik süreçteki yardımlarıyla sürecin en zorlu kısmını kolaylaştırdığı için teşekkür ederim. Aynı zamanda bölüm arkadaşım Emre Özdemir, tecrübelerini ve birikimlerini paylaşmaktan hiç çekinmedi; her soruma içtenlikle yanıt verdi ve sürecin benim için daha anlaşılır hale gelmesine katkı sundu. Bu yolculukta onların destekleri benim için oldukça değerliydi.

Manevi desteğiyle her an yanımda olan değerli eşim Uğur Bayrakal'a da kalpten teşekkür ederim. Her "İyi misin?", "Yardım edebileceğim bir şey var mı?" sorusu, bu süreci daha huzurlu ve anlamlı kıldı. Varlığıyla güç buldum.

Son olarak, yol haritamı çizen, beni yönlendiren, sabırla rehberlik eden çok kıymetli tez danışmanım Murat Taha Bilişik'e teşekkür ederim. Bu çalışmanın akademik temelini sağlamlaşmasında katkısı büyük.

Emekleriyle, desteğiyle ve yüreğiyle bu sürece dokunan herkese sonsuz teşekkürlerimle...

Şeyma Nur BAYRAKAL

EYLÜL 2025

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
KISALTMALAR.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	vii
GRAFİK LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
KISA ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Araştırmanın Konusu ve Önemi	2
1.2. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Tematik Literatür Analizi.....	3
2.1.1. Blok Zinciri ve Şeffaflık ve İzlenebilirlik.....	3
2.1.2. Blok Zinciri ve Maliyet Etkinliği.....	3
2.1.3. Blok Zinciri ve Çevresel-Sosyal Etki	4
2.1.4. Blok Zinciri ve Regülasyon ve Yasal Uyum	4
2.1.5. Geleneksel Yöntemin Sınırlılıkları	5
2.1.6. Araştırma Soruları ve Hipotezler.....	5
2.1.7. Literatürdeki Boşluklar	6
3. SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ	7
3.1. Tedarik Zinciri Tanımı ve Yönetimi.....	7
3.2. Tedarik Zinciri Yönetimi Tanımı Ve Önemi	7
3.3. Sürdürülebilirlik Kavramı ve Tedarik Zincirine Etkileri	8
3.4. Geleneksel Tedarik Zinciri Modelleri.....	9
3.5. Sürdürülebilir Tedarik Zincirine Geçişin Nedenleri.....	11
3.6. Çevresel, Sosyal ve Ekonomik Etkiler	12
3.6.1. Çevresel Etkiler	12
3.6.2. Sosyal Etkiler	13

3.6.3. Ekonomik Etkiler	13
3.7. Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik.....	14
4. SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ KAVRAMININ EVRİMSEL SÜRECİ	17
4.1. Geleneksel Tedarik Zinciri Modelleri.....	17
4.2. Sürdürülebilir Tedarik Zincirinin Ortaya Çıkışı	17
4.2.1. Sürdürülebilir Modellerin Ortaya Çıkışı	18
4.2.2. Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Kavramlarının Etkisi	19
4.3. Geleneksel ve Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Modellerinin Karşılaştırılması	20
5. BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ	23
5.1. Blok Zinciri Teknolojisinin Temelleri	23
5.1.1. Tanım ve Temel Yapı	23
5.1.2. Teknik Bileşenler	24
5.1.3. Blok Zincirinin Temel Avantajları.....	24
5.1.4. Blok Zinciri Türleri.....	25
5.2. Blok Zincirinin Tedarik Zincirinde Kullanım Alanları.....	26
5.2.1. Ürün ve Malzeme İzlenebilirliği	27
5.2.2. Tedarikçi Doğrulama ve Denetim	27
5.2.3. Sahteciliğin Önlenmesi	27
5.2.4. Akıllı Kontratlar ve Otomasyon.....	28
5.2.5. Karbon Ayak İzi Takibi ve Sürdürülebilirlik Raporlaması	28
5.3. Blok Zincirinin Sürdürülebilir Tedarik Zincirindeki Rolü.....	30
5.3.1. Çevresel Sürdürülebilirlik: İzlenebilirlik ve Karbon Takibi.....	30
5.3.2. Sosyal Sürdürülebilirlik: Etik Kaynak Kullanımı ve Çalışma Koşulları	31
5.3.3. Ekonomik Sürdürülebilirlik: Maliyet Azaltımı ve Risk Yönetimi	31
5.3.4. Blok Zincirinin Sürdürülebilirlik İlkeleri ile Uyumu.....	32
5.4. Sektör Uyumu ve Benimseme Zorlukları.....	33
6. BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDEKİ ROLÜ	34
6.1. Blok Zinciri Teknolojisinin Sürdürülebilir Tedarik Zincirine Katkıları.....	36
6.1.1. Teknik Avantajlar	37
6.1.2. Operasyonel Avantajlar	38
6.1.3. Çevresel Avantajlar	39
6.1.4. Stratejik Avantajlar	40
6.2. Blok Zinciri Teknolojisinin Sürdürülebilir Tedarik Zincirindeki Sınırlamaları	42

6.2.1. Yüksek Enerji Tüketimi ve Çevresel Etkiler	43
6.2.2. Ölçeklenebilirlik Sorunları	43
6.2.3. Yüksek Başlangıç Maliyetleri ve Altyapı Gereksinimleri	44
6.2.4. Hukuki ve Düzenleyici Engeller	44
6.2.5. Paydaşların Uyum Sorunları ve Teknolojik Engeller	44
6.2.6. Akıllı Sözleşmelerin ve Yazılım Hatalarının Riski	46
6.2.7. Veri Depolama Sorunları ve Kapsayıcılık	46
6.2.8. Şeffaflık ve İzlenebilirlik Kriteri	46
6.2.9. Maliyet Etkinliği Kriteri	48
6.2.10. Çevresel ve Sosyal Etki Kriteri.....	51
6.2.11. Regülasyonlara ve Yasal Uyum Kriteri.....	53
6.3. Literatürdeki Uzman Görüşleri ile Karşılaştırma.....	56
6.3.1. Uzman 1'e Ait Anket Cevapları ve Karar Matrisi	58
6.3.2. Uzman 2'e Ait Karar Matrisi	59
6.3.3. Uzman 3'e Ait Karar Matrisi	61
6.3.4. Ortak Karar Matrisi (3 Uzman Ortalaması)	62
6.3.5. İkinci Anket: Yöntemlerin Kriterlere Göre Etkililiği	63
6.3.6. Geleneksel ve Blok Zinciri Yöntemlerinin Kriterlerle Uyumu	68
7. METODOLOJİ VE YÖNTEM	69
7.1. Araştırma Yaklaşımı	69
7.2. Uzman Profilleri	70
7.3. AHP Yönteminin Uygulanması.....	70
7.3.1. Matematiksel Süreç	72
7.3.2. Karar Matrisi Örneği (AHP Puanlaması).....	73
7.3.3. Karar Matrisinin Oluşturulma Süreci ve Skala Uyarlaması.....	73
7.4. Tutarlılık Analizi: CI ve CR Hesaplaması	75
7.5. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	77
7.6. Nihai AHP Sonuçlarının Hesaplanması.....	78
8. BULGULARIN YORUMLANMASI.....	79
8.1. Hipotezlerin Test Edilmesi.....	80
9. TARTIŞMA VE SONUÇ	81
9.1. Literatürle Karşılaştırmalı Değerlendirme	81
9.2. Akademik ve Sektörel Katkıları	81
9.3. Sınırlılıklar	81

9.4. Gelecek Araştırmalar için Öneriler	82
10. GENEL SONUÇLAR, POLİTİKA ÖNERİLERİ VE KATKI.....	82
10.1. Genel Sonuçlar.....	82
10.2. Politika ve Uygulama Önerileri.....	83
10.3. Akademik ve Sektörel Katkı.....	83
KAYNAKÇA	85
EK 1. Kriterlerin Önceliklendirilme Anketi	89
EK 2. Yöntemlerin Kriterlere Göre Değerlendirilme Anketi.....	92



KISALTMALAR

- AHP: Analitik Hiyerarşi Süreci
AS: Araştırma Soruları
BZ: Blok Zinciri
CI: Tutarlılık İndeksi
CR: Tutarlılık Oranı
DLT: Dağıtık Defter Teknolojisi
ERP: Kurumsal Kaynak Planlaması
GDPR: Genel Veri Koruma Yönetmeliği
GEL: Geleneksel
GPS: Küresel Konumlama Sistemi
GRI: Küresel Raporlama Girişimi
GTZ: Geleneksel Tedarik Zinciri
GTZY: Geleneksel Tedarik Zinciri Yönetimi
IBM: Uluslararası İş Makineleri
IoT: Nesnelerin İnterneti
ISO: Uluslararası Standart Organizasyonu
NFC: Yakın Alan İletişimi
QR: Çabuk Tepki
RFID: Radyo Frekansı ile Tanımlama
RI: Rastgelelik İndeksi
SASB: Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları/Raporu
STZ. Sürdürülebilir Tedarik Zinciri
STZY: Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi
TBL: Üçlü Alt Çizgi
TZ: Tedarik Zinciri
TZY: Tedarik Zinciri Yönetimi

TABLO LİSTESİ

TABLO 3.1: ÇEVRESEL ETKİLER, SOSYAL ETKİLER, EKONOMİK ETKİLER VE ÖRNEKLER TABLOSU.....	14
TABLO 3.2: DÖNGÜSEL EKONOMİNİN PRENSİPLERİ VE AÇIKLAMALARI TABLOSU.....	16
TABLO 3.3: GELENEKSEL MODEL VE DÖNGÜSEL EKONOMİDE KAYNAK KULLANIMI VE VERİMLİLİK TABLOSU	16
TABLO 4.1: DÖNGÜSEL EKONOMİ MODELİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİNE ETKİSİ TABLOSU	20
TABLO 4.2: GELENEKSEL VE SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMA TABLOSU	22
TABLO 4.3: GELENEKSEL VE SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİNİN STRATEJİK ÖNCELİKLERİ (% OLARAK DAĞILIM).....	22
TABLO 5.1: BLOK ZİNCİRİ BİLEŞENLERİ VE İŞLEVLERİ TABLOSU.....	24
TABLO 5.2: BLOK ZİNCİRİ SİSTEMLERİ VE ERİŞİM DÜZEYLERİ.....	25
TABLO 5.3: BLOK ZİNCİRİNİN TEDARİK ZİNCİRİNDE UYGULAMA ALANLARI	29
TABLO 5.4: BLOK ZİNCİRİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLKELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ	32
TABLO 6.1: UZMAN 1'E AİT ANKET CEVAP MATRİSİ	58
TABLO 6.2: UZMAN 1'E AİT KRİTER AĞIRLIKLARI MATRİSİ	59
TABLO 6.3: UZMAN 2'E AİT ANKET CEVAPLARI.....	59
TABLO 6.4: UZMAN 2'E AİT KRİTER AĞIRLIKLARI MATRİSİ	60
TABLO 6.5: UZMAN 3'E AİT ANKET CEVAPLARI.....	61
TABLO 6.6: UZMAN 3'E AİT KRİTER AĞIRLIKLARI MATRİSİ	61
TABLO 6.7: UZMANLARIN GEOMETRİK ORTALAMASINA GÖRE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KRİTERLERİ KARAR MATRİSİ	62
TABLO 6.8: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KRİTERLERİNİN AĞIRLIKLANDIRILMIŞ ÖNCELİK SIRALAMASI.....	63
TABLO 6.9: UZMAN 1'E AİT İKİNCİ ANKET CEVAP MATRİSİ.....	64
TABLO 6.10: UZMAN 2'NİN İKİNCİ ANKET CEVAP MATRİSİ.....	65
TABLO 6.11: UZMAN 3'E AİT İKİNCİ ANKET CEVAP MATRİSİ.....	67
TABLO 6.12: AHP'YE UYUMLU NİHAİ YÖNTEM SKORLARI (KRİTER AĞIRLIKLARI İLE)	69
TABLO 7.1: UZMAN PROFİLLERİ VE SEKTÖREL DAĞILIMLARI	70
TABLO 7.2: TUTARLILIK ÖLÇÜTLERİ TABLOSU	72
TABLO 7.3: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KRİTERLERİNE GÖRE BLOK ZİNCİRİ VE GELENEKSEL YÖNTEMLERİN AHP PUANLAMASI	73
TABLO 7.4: KARAR MATRİSİNİN KRİTER AĞIRLIKLARI	74
TABLO 7.5: KRİTER SAYISI İLE RASTGELELİK İNDEKSİ ARASINDAKİ İLİŞKİ TABLOSU	76
TABLO 7.6: NORMALİZE EDİLMİŞ KRİTER AĞIRLIKLARI	77
TABLO 7.7: NİHAİ AHP KARAR SONUÇLARI: YÖNTEMLERİN AĞIRLIKLIL TOPLAM PERFORMANS DEĞERLERİ	78

GRAFİK LİSTESİ

GRAFİK 3.1: GELENEKSEL TEDARİK ZİNCİRİ AŞAMALARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	10
GRAFİK 5.1: BLOK ZİNCİRİ KULLANIMI İLE TEDARİK ZİNCİRİNDE ETKİ ALANLARI	29



ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL 4.1: GELENEKSEL VE SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ AKIŞ ŞEMASI	21
ŞEKİL 5.1: BLOK ZİNCİRİNİN BASİT YAPISI VE VERİ AKIŞI.....	26
ŞEKİL 5.2: BLOK ZİNCİRİ TABANLI SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YAPISI	32
ŞEKİL 6.1: BLOK ZİNCİR İLE TEDARİK ZİNCİRİ DÖNÜŞÜMÜ	36

Enstitüsü : Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Dalı : İşletme
Programı : İşletme
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat Taha BİLİŞİK
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Eylül 2025

KISA ÖZET

SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE GELENEKSEL YÖNTEMLER İLE BLOK ZİNCİRİ TABANLI YAKLAŞIMLARIN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Şeyma Nur BAYRAKAL

Bu tezde, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi (STZY) alanında geleneksel yöntemler ile blok zinciri teknolojisine dayalı uygulamalar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Tez çalışmasının temel amacı, blok zincirinin şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliği ve yasal uyum gibi sürdürülebilirlik kriterleri açısından geleneksel yöntemlere göre sunduğu avantaj ve dezavantajları ortaya koymaktır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak kriterler ağırlıklandırılmış ve karar vericilerin görüşlerine dayalı olarak alternatifler değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda, blok zinciri tabanlı sistemlerin sürdürülebilirlik açısından geleneksel yöntemlere göre daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Blok Zinciri, Sürdürülebilir Tedarik Zinciri, AHP, Geleneksel Yöntemler, Karar Verme.

University : Istanbul Kultur University
Institute : Institute of Graduate Studies
Department : Business Administration
Programme : Business Administration
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Murat Taha BİLİŞİK
Degree Awarded and Date : MBA September 2025

ABSTRACT

A COMPARATIVE ANALYSIS OF TRADITIONAL METHODS AND BLOCKCHAIN-BASED APPROACHES IN SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Şeyma Nur BAYRAKAL

In this thesis, traditional methods and blockchain-based applications in sustainable supply chain management (SSCM) are comparatively analyzed. The primary objective of the study is to reveal the advantages and disadvantages of blockchain technology over traditional approaches in terms of transparency, traceability, cost-effectiveness, and legal compliance. The Analytic Hierarchy Process (AHP) method was used to prioritize criteria, and alternatives were evaluated based on expert opinions. The findings indicate that blockchain-based systems offer significant advantages over traditional methods in terms of sustainability.

Keywords: Blockchain, Sustainable Supply Chain, AHP, Traditional Methods, Decision Making.

1. GİRİŞ

Küresel tedarik zincirlerinin artan karmaşıklığı, dijitalleşme ve sürdürülebilirlik beklentileri, işletmeleri daha şeffaf, dayanıklı ve veri temelli sistemler geliştirmeye zorlamaktadır (Christopher, 2016; Ivanov, 2021). Bu bağlamda, tedarik zinciri süreçlerinde izlenebilirlik, veri güvenliği ve süreç şeffaflığı sağlama potansiyeliyle öne çıkan blok zinciri teknolojisi, geleneksel yöntemlere alternatif bir yönetim yaklaşımı olarak ortaya çıkmıştır (Saberli ve diğerleri, 2019; Kouhizadeh & Sarkis, 2018; Queiroz & Wamba, 2019).

Sürdürülebilirlik ilkelerinin kurumsal stratejilere entegrasyonu, yalnızca çevresel değil, aynı zamanda sosyal ve ekonomik boyutları da içeren bütüncül bir sorumluluk anlayışını gerektirmektedir (Elkington, 1997; Carter & Rogers, 2008; Seuring & Müller, 2008). Bu nedenle, işletmelerin çevresel etkilerini azaltma, etik üretim süreçleri oluşturma ve şeffaf tedarik ağları kurma yönündeki çabaları, teknolojik yeniliklerle desteklenmek zorundadır (Geissdoerfer ve diğerleri, 2017; Rockström ve diğerleri, 2009).

Bu çerçevede, bu tez çalışması, blok zinciri tabanlı uygulamalar ile geleneksel tedarik zinciri yönetimi yöntemlerinin sürdürülebilirlik kriterleri açısından karşılaştırmalı analizini yapmayı amaçlamaktadır. Çalışma, literatürdeki mevcut teorik yaklaşımlar (Pagell & Wu, 2009; Mentzer ve diğerleri, 2001) ile uygulamalı değerlendirmeleri bir araya getirerek, blok zinciri teknolojisinin sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde uygulanabilirliğini ve katkı düzeyini analiz etmektedir. Ayrıca veri temelli karar verme süreçlerinin, işletmelerin uzun vadeli sürdürülebilirlik hedefleriyle nasıl bütünleşebileceği incelenmektedir.

1.1. Araştırmanın Konusu ve Önemi

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, yalnızca maliyet ve verimlilik odaklı olmayan; aynı zamanda çevresel ve sosyal etkileri azaltmaya yönelik stratejik bir anlayışı temsil eder. Ancak geleneksel tedarik zinciri yaklaşımları, özellikle şeffaflık ve izlenebilirlik, veri güvenliği, yasal uyum gibi alanlarda ciddi eksiklikler barındırmaktadır (Gardner vd., 2019). Bu eksiklikleri aşmak amacıyla son yıllarda öne çıkan blok zinciri teknolojisi, tedarik zincirinde yüksek düzeyde güvenlik, veri bütünlüğü, anlık bilgi paylaşımı ve doğrulanabilir kayıt yaratma kapasitesiyle dikkat çekmektedir (Kouhizadeh & Sarkis, 2021). Literatürde blok zincirinin sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağladığını öne süren çalışmalar bulunmakla birlikte, bu teknolojiyi geleneksel yöntemlerle doğrudan karşılaştıran kapsamlı analizler sınırlıdır.

1.2. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tezin temel amacı, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde blok zinciri teknolojisinin, geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında uygulanabilirlik ve etkinlik düzeyini analiz etmektir. Dijitalleşme çağında, sürdürülebilirlik odaklı tedarik zincirleri yalnızca ekonomik performansı değil; aynı zamanda çevresel, sosyal ve yönetim (ESG) kriterlerini de içermektedir (Carter & Rogers, 2008; Seuring & Müller, 2008). Bu bağlamda blok zinciri teknolojisi, şeffaflık, izlenebilirlik ve veri güvenliği gibi unsurlarda sunduğu avantajlarla, tedarik zincirlerinin sürdürülebilirlik performansını artırma potansiyeline sahiptir (Saber ve diğerleri, 2019; Kouhizadeh & Sarkis, 2018).

Çalışmanın bu genel amacı doğrultusunda aşağıdaki özgül hedefler belirlenmiştir:

Sürdürülebilirlik kriterlerinin (şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliği, çevresel ve sosyal etki, yasal ve düzenleyici uyum) her birinin görece önem düzeyini, uzman görüşlerine dayalı Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi aracılığıyla belirlemek (Saaty, 1980);

Geleneksel tedarik zinciri uygulamaları ile blok zinciri tabanlı yaklaşımların, söz konusu kriterlere verdikleri yanıtları karşılaştırmalı olarak değerlendirmek;

Elde edilen veriler ışığında karar matrisi oluşturarak, blok zincirinin sürdürülebilirlik performansına katkısını sayısal olarak ortaya koymak;

Bulguları literatürdeki güncel çalışmalarla karşılaştırarak, blok zinciri teknolojisinin sürdürülebilir tedarik zincirlerindeki uygulanabilirliğine ilişkin bilimsel bir katkı sunmak (Queiroz & Wamba, 2019; Wang ve diğerleri, 2019).

Bu bağlamda çalışma, yalnızca akademik literatüre özgün bir katkı sunmayı değil, aynı zamanda işletmelerin teknolojik dönüşüm stratejilerini sürdürülebilirlik perspektifinden değerlendirmelerine rehberlik etmeyi amaçlamaktadır. Böylelikle blok zinciri teknolojisinin, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde karar verme süreçlerine entegrasyonu konusunda hem kuramsal hem de uygulamalı düzeyde önemli bir çerçeve oluşturması hedeflenmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Tematik Literatür Analizi

2.1.1. Blok Zinciri ve Şeffaflık ve İzlenebilirlik

Şeffaflık ve İzlenebilirlik, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin temel bileşenidir. Blok zinciri, işlemleri zaman damgalı ve değiştirilemez biçimde kaydederek çok aktörlü ağlarda izlenebilirlik ve doğrulanabilirlik sağlar (Tapscott & Tapscott, 2017). Özellikle sahteciliğe açık sektörlerde ürün doğrulamasını güçlendirir ve güven inşa eder (Saberı vd., 2019; Francisco & Swanson, 2018). Buna karşılık, geleneksel yaklaşımlar merkezî veri yönetimi nedeniyle şeffaflıkta sınırlı kalmaktadır (Christopher, 2016).

2.1.2. Blok Zinciri ve Maliyet Etkinliği

Blok zinciri, araçların azaltılması ve akıllı sözleşmeler ile otomasyon yoluyla işlem maliyetlerinde düşüş potansiyeli taşır (Swan, 2015). Bu avantaj özellikle sınır ötesi süreçlerde belirgindir. Bununla birlikte ilk kurulum/entegrasyon maliyetleri ve değişim yönetimi gereksinimleri önemli zorluklardır (Peters & Panayi, 2016). Geleneksel yöntemlerin kısa vadeli kurulum maliyeti düşük olsa da, bilgi akışındaki gecikmeler ve süreç verimsizlikleri toplam maliyeti uzun vadede yükseltebilir.

2.1.3. Blok Zinciri ve Çevresel-Sosyal Etki

Karbon ayak izi, atık, adil iş gücü gibi göstergelerin uçtan uca izlenmesi ve denetlenmesi blok zinciri ile desteklenebilir (Kim vd., 2019). Otomatik ve değiştirilemez kayıtlar sayesinde sosyal sürdürülebilirlik (ör. çocuk işçiliğinin önlenmesi, etik tedarik) alanında da güçlü bir doğrulama zemini sunar. Geleneksel izleme mekanizmaları ise çoğunlukla manuel ilerler ve doğruluk/izlenebilirlikte sınırlıdır (Seuring & Müller, 2008).

2.1.4. Blok Zinciri ve Regülasyon ve Yasal Uyum

Çok aktörlü tedarik zincirlerinde regülasyon ve yasal uyum, kurumsal risklerin yönetilmesi ve denetim kapasitesinin artırılmasında kritik bir rol üstlenmektedir. Blok zinciri teknolojisi, değiştirilemez ve zaman damgalı kayıt yapısı sayesinde süreçlerin şeffaf biçimde izlenebilirliğini sağlamaktadır. Bu özellik, düzenleyici kurumlar açısından uyumun kanıtlanmasını kolaylaştırmakta ve kurumsal aktörlere hesap verebilirlik imkânı sunmaktadır (Casino ve diğerleri, 2019). Özellikle akıllı sözleşmeler aracılığıyla gümrük ve lojistik beyanları, tedarikçi uygunluk şartları ve sürdürülebilirlik sertifikasyonları gibi düzenleyici gerekliliklerin kural tabanlı ve otomatik biçimde uygulanması mümkün hale gelmektedir (Saberri ve diğerleri, 2019). Bu yapı, veri bütünlüğünü garanti altına almakta, yetki devri ve sorumluluk zincirinin açık biçimde izlenmesini sağlayarak hem denetim maliyetlerini hem de uyum ihlali risklerini azaltmaktadır.

Bununla birlikte, regülasyon bağlamında mahremiyet (ticari sırlar, kişisel veriler) ve veri yönetimi önemli tartışma alanlarını oluşturmaktadır. Blok zincirinin değiştirilemezlik ilkesi, özellikle “silinme hakkı” gibi veri koruma rejimleriyle (örn. GDPR) çatışabilmektedir (Finck, 2019). Bu nedenle uygulamada genellikle izinli blok zinciri ağları, erişim kontrollü kanallar ve zincir dışı veri depolama çözümleri tercih edilmekte; blok üzerinde yalnızca doğrulama amaçlı kanıt saklanmaktadır. Ayrıca düzenleyici uyumun etkinliği, zincire aktarılan bilginin doğruluğu, standartlara uygun veri şemaları ve kurumsal entegrasyon kapasitesine bağlıdır (Queiroz & Wamba, 2019).

Sonuç olarak blok zinciri, uygun mimari tasarımlar ve yönetim modelleri ile düzenleyici uyumun kanıtlanabilirliğini güçlendiren ve gerçek zamanlı denetim kapasitesi sunan bir altyapı sağlamaktadır. Ancak bu potansiyelin hayata geçirilebilmesi, mahremiyet, birlikte çalışabilirlik ve hukuki-işlemsel tasarım unsurlarının dikkatle ele alınmasını gerektirmektedir.

2.1.5. Geleneksel Yöntemin Sınırlılıkları

Geleneksel tedarik zinciri sistemleri, merkezî denetim mekanizmaları ve geçmiş verilere dayalı öngörüler aracılığıyla faaliyet göstermektedir. Ancak küresel ölçekte giderek daha karmaşık, çok aktörlü ve dinamik bir yapıya evrilen tedarik ağlarında bu yaklaşım, esneklik, hız ve güncellik gereksinimlerini karşılamakta sınırlı kalmaktadır (Mentzer ve diğerleri, 2001). Bu yetersizlik, özellikle izlenebilirlik, sürdürülebilirlik ve kurumsal risk yönetimi boyutlarında performans kısıtları doğurmakta ve işletmelerin stratejik karar alma süreçlerinde etkinliği azaltmaktadır (Christopher, 2016; Ivanov, 2021). Sonuç olarak, geleneksel yöntemler reaktif bir yaklaşımı temsil ederken, günümüzün belirsizlik ortamında proaktif ve dijitalleşme odaklı çözümler kaçınılmaz hale gelmektedir.

2.1.6. Araştırma Soruları ve Hipotezler

Bu çalışma, sürdürülebilir tedarik zinciri bağlamında geleneksel yöntemler ile blok zinciri tabanlı uygulamaların karşılaştırmalı analizi için AHP tabanlı bir çerçeve önermektedir. Tasarım iki aşamalıdır: (i) Anket 1 ile kriterlerin görece öncelikleri (AHP ikili karşılaştırmalar), (ii) Anket 2 ile yöntemlerin kriter bazında etkililiği sadeleştirilmiş Saaty ölçeği, bu değerlerin yerel önceliğe dönüştürülüp AHP ağırlıkları ile bütünleştirilmesi.

Araştırma Soruları:

AS1: Sürdürülebilirlik kriterlerinin (şeffaflık ve izlenebilirlik; maliyet etkinliği, çevresel ve sosyal uyum; regülasyonlara ve yasal uyum) görece öncelikleri nelerdir?

AS2: Blok zinciri ve geleneksel yöntemler bu kriterler açısından nasıl karşılaştırılmaktadır?

Hipotezler (özet ve yönlü):

- **H1:** Şeffaflık ve izlenebilirlik kriterinin önceliği, maliyet etkinliğinden yüksektir.
- **H2:** Şeffaflık ve izlenebilirlik, çevresel-sosyal etkiden yüksektir.
- **H3:** Şeffaflık ve izlenebilirlik, regülasyon-yasal uyumdan yüksektir.
- **H4:** Çevresel-sosyal etki, maliyet etkinliğinden yüksektir.
- **H5:** Regülasyon-yasal uyum, maliyet etkinliğinden yüksektir.
- **H6:** Çevresel-sosyal etki, regülasyon-yasal uyumdan yüksektir.

Yöntem karşılaştırmasına ilişkin yönlü hipotezler:

- **H7:** Blok zinciri, şeffaflık ve izlenebilirlik kriterinde geleneksel yöntemlerden üstündür.
- **H8:** Blok zinciri, çevresel-sosyal etki kriterinde geleneksel yöntemlerden üstündür.
- **H9:** Blok zinciri, regülasyon-yasal uyum kriterinde geleneksel yöntemlerden üstündür.
- **H10:** Blok zinciri, maliyet etkinliği açısından orta-uzun vadede geleneksel yöntemlerden üstündür.

2.1.7. Literatürdeki Boşluklar

Blok zincirinin sürdürülebilirlik performansına etkisini nicel olarak ölçen ve bu bulguları geleneksel yöntemlerle sistematik biçimde karşılaştıran çalışmalar literatürde oldukça sınırlıdır. Bu bağlamda, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), hem kriterlerin göreceli önem düzeylerinin belirlenmesi hem de alternatif yöntemlerin performanslarının bütünlük bir çerçevede değerlendirilmesi için etkili bir metodoloji sunmaktadır (Saaty, 1980; Büyüközkan & Göçer, 2018). Bu tez çalışması, söz konusu araştırma boşluğunu iki aşamalı bir AHP yaklaşımı ile ele almakta ve blok zinciri teknolojisinin sürdürülebilir tedarik zincirlerine katkılarını somut, karşılaştırmalı ve ölçülebilir biçimde ortaya koymaktadır (Queiroz & Wamba, 2019).

3.SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

3.1. Tedarik Zinciri Tanımı ve Yönetimi

Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), hammaddelerin tedarikinden nihai tüketiciye ulaştırılmasına kadar tüm ürün, bilgi ve finansal akışların planlanması, koordinasyonu ve optimizasyonunu kapsayan bütünlük bir yönetim yaklaşımıdır. Bu süreç yalnızca ürünlerin doğru zamanda ve doğru yerde bulunmasını değil, aynı zamanda kaynakların etkin kullanımı, operasyonel maliyetlerin azaltılması ve müşteri değerinin artırılmasını da hedeflemektedir (Mentzer ve diğerleri, 2001). Bununla birlikte, günümüzde küresel ekonomik dalgalanmalar, çevresel sorunlar ve toplumsal beklentiler, geleneksel tedarik zinciri modellerinin sürdürülebilirlik ekseninde yeniden ele alınmasını zorunlu kılmaktadır (Carter & Rogers, 2008; Seuring & Müller, 2008).

3.2. Tedarik Zinciri Yönetimi Tanımı Ve Önemi

Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), hammaddelerin tedarik edilmesinden başlayarak üretim, depolama, dağıtım ve satışa kadar tüm aşamaları kapsayan entegre bir iş yönetimi yaklaşımıdır. Bu süreç, tedarikçilerin seçimi, lojistik faaliyetlerin planlanması, envanter yönetimi ve nihai ürünün müşteriye ulaştırılması gibi kritik unsurları içermektedir. TZY'nin temel hedefi, operasyonel verimliliği artırırken maliyetleri azaltmak ve müşteri değerini en üst düzeye çıkarmaktır (Mentzer ve diğerleri, 2001).

Geleneksel TZY yaklaşımları ağırlıklı olarak kâr maksimizasyonu ve maliyet minimizasyonu odaklıdır. Ancak sürdürülebilirlik kavramının giderek önem kazanması, tedarik zincirlerinin yalnızca ekonomik performansla değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal etkilerle de ilişkilendirilmesini zorunlu kılmıştır (Carter & Rogers, 2008; Seuring & Müller, 2008). Bu çerçevede Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi (STZY), doğal kaynakların verimli kullanımı, karbon ayak izinin azaltılması, çevresel kirliliğin önlenmesi ve toplumsal refahın desteklenmesi gibi amaçlara yönelmektedir. Böylelikle işletmelerin kısa vadeli finansal kazanımların ötesinde uzun vadeli çevresel ve toplumsal etkileri de dikkate almaları gerekmektedir.

STZY, ekonomik başarı ile çevresel ve sosyal sorumlulukların dengelenmesine imkân tanıyarak işletmelerin uzun vadeli sürdürülebilirlik stratejileri geliştirmelerini mümkün kılmaktadır. Nitekim günümüzde birçok uluslararası perakende zinciri, enerji verimliliğini artırmak, atıkları azaltmak ve çevresel etkilerini en aza indirmek amacıyla yenilikçi teknolojilere yatırım yapmaktadır (Pagell & Wu, 2009). Bunun yanında, etik üretim standartlarına uyum, işçi haklarının korunması ve sosyal açıdan sorumlu tedarikçilerle iş birliği gibi ilkeler, STZY'nin önemli boyutlarını oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi yalnızca maliyet avantajları sağlamamakta; aynı zamanda marka itibarı, müşteri sadakati ve uzun vadeli rekabet üstünlüğünü de desteklemektedir. Dolayısıyla, küresel rekabet ortamında işletmelerin sürdürülebilirlik odaklı tedarik zinciri stratejileri geliştirmeleri kritik bir başarı faktörü olarak öne çıkmaktadır.

3.3. Sürdürülebilirlik Kavramı ve Tedarik Zincirine Etkileri

Sürdürülebilirlik, yalnızca çevresel korumayı değil, aynı zamanda ekonomik dayanıklılık ve toplumsal refahı da kapsayan çok boyutlu bir kavramdır. Bu yaklaşım, işletmelerin ekonomik kazanç elde ederken doğal kaynakların korunması, toplumsal adaletin gözetilmesi ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarının dikkate alınması sorumluluğunu üstlenmelerini gerektirmektedir (WCED, 1987; Elkington, 1997). İşletme stratejilerinde sürdürülebilirliğin merkezî bir ilke olarak benimsenmesi, yalnızca finansal performansın güçlendirilmesine değil, aynı zamanda kurumsal itibarın geliştirilmesine ve paydaş güveninin artırılmasına katkı sağlamaktadır (Carter & Rogers, 2008).

Tedarik zinciri bağlamında sürdürülebilirlik, ürünlerin hammaddeden nihai tüketiciye kadar olan yaşam döngüsünde çevresel etkinin en aza indirilmesini, enerji verimliliğinin artırılmasını ve atıkların azaltılmasını kapsamaktadır (Seuring & Müller, 2008). Bununla birlikte, sosyal sürdürülebilirlik ilkeleri, işçi haklarının korunması, yerel toplulukların desteklenmesi ve etik ticaretin teşvik edilmesi gibi unsurları içermektedir (Pagell & Wu, 2009). Ekonomik sürdürülebilirlik ise kaynakların etkin kullanımı, maliyet tasarrufu ve uzun vadeli kârlılığın sağlanması yoluyla işletmelerin finansal dayanıklılığını

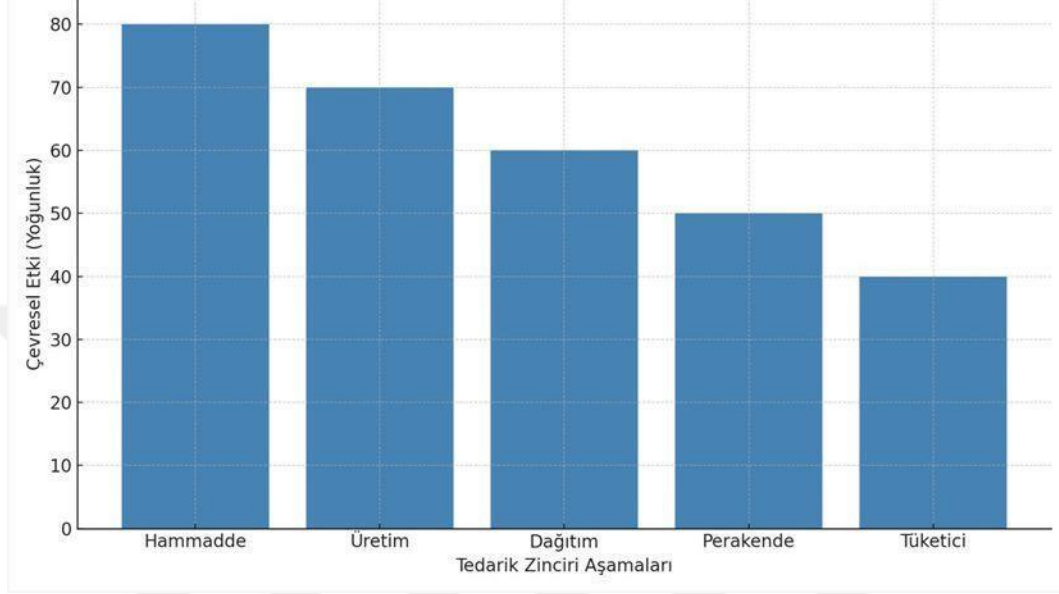
artırmaktadır.

Sonuç olarak sürdürülebilir tedarik zincirleri, yalnızca maliyet avantajları sağlamamakta; aynı zamanda marka itibarını güçlendirmekte, müşteri sadakatini artırmakta ve uzun vadeli rekabet avantajı yaratmaktadır. Dolayısıyla günümüzün küresel rekabet koşullarında sürdürülebilirlik, işletmeler için bir tercih değil, stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir.

3.4. Geleneksel Tedarik Zinciri Modelleri

Geleneksel tedarik zinciri modelleri, uzun yıllar boyunca işletmelerin üretimden nihai tüketiciye kadar uzanan süreçleri yönetmek için başvurdukları köklü yaklaşımlar olmuştur. Bu modeller; hammaddelerin tedarik edilmesi, üretim faaliyetlerinin planlanması ve optimize edilmesi, ürünlerin depolanması, dağıtılması ve tüketiciye ulaştırılması gibi temel aşamaları kapsamaktadır (Mentzer ve diğerleri, 2001). Geleneksel tedarik zincirleri büyük ölçüde merkezî bir yapıya dayanmakta; dikey entegrasyon, yüksek stok düzeyleri ve uzun tedarik süreleri ile karakterize edilmektedir. Temel amaç, maliyetlerin minimize edilmesi, üretim verimliliğinin artırılması ve müşteri taleplerinin karşılanmasıdır. Bununla birlikte, bu modeller genellikle yüksek envanter maliyetleri, düşük esneklik ve yavaş tepki süreleri gibi dezavantajlar taşımaktadır (Christopher, 2016).

Grafik 3.1: Geleneksel Tedarik Zinciri Aşamaları ve Çevresel Etkileri



Bilgi akışının büyük oranda manuel veya yarı otomatik sistemlere dayalı olması, tedarik zincirlerinde şeffaflığı sınırlamakta ve özellikle dinamik ve karmaşık piyasa koşullarında yönetim zorluklarına yol açmaktadır. Geleneksel modeller, talep tahminleri, sipariş yönetimi ve üretim planlamasında çoğunlukla tarihsel verilere dayalı kararlar almakta; bu durum ani talep değişimleri, tedarik zinciri kesintileri veya doğal afetler gibi beklenmedik durumlara karşı kırılganlığı artırmaktadır (Ivanov, 2021). Ayrıca, karbon ayak izi yüksek lojistik faaliyetler ve enerji yoğun üretim süreçleri, sürdürülebilirlik açısından önemli sorunlar doğurmaktadır (Seuring & Müller, 2008).

Sonuç olarak, geleneksel tedarik zinciri modelleri, uzun yıllar boyunca işletmelerin temel lojistik ve operasyonel ihtiyaçlarını karşılamış olmakla birlikte, günümüzün küresel ölçekte hızla değişen ve sürdürülebilirlik odaklı iş ortamında yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle işletmeler, daha yenilikçi, esnek ve çevresel açıdan duyarlı tedarik zinciri yaklaşımlarına yönelmeye başlamıştır.

3.5. Sürdürülebilir Tedarik Zincirine Geçişin Nedenleri

Sürdürülebilir tedarik zincirine geçiş, günümüz iş dünyasında giderek daha kritik hale gelen stratejik bir dönüşüm alanıdır. Bu dönüşümün temelinde, işletmelerin yalnızca kısa vadeli kâr hedeflerini değil, aynı zamanda uzun vadeli çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik amaçlarını da gözetme zorunluluğu bulunmaktadır. Geleneksel tedarik zinciri modellerinin sınırlılıkları ile paydaşların artan sürdürülebilirlik beklentileri, bu değişimi zorunlu kılan başlıca unsurlar arasında yer almaktadır (Seuring & Müller, 2008; Carter & Rogers, 2008).

Çevresel sürdürülebilirlik, söz konusu dönüşümün birincil itici gücüdür. İklim değişikliği, doğal kaynakların tükenmesi, karbon emisyonlarının artışı ve çevresel kirlilik gibi küresel sorunlar, işletmeleri daha çevre dostu üretim ve lojistik modellerine yöneltmektedir. Bu doğrultuda sürdürülebilir tedarik zincirleri; enerji tüketimini azaltma, atık üretimini en aza indirme ve doğal kaynakların verimli kullanımını sağlama hedefleri üzerine inşa edilmektedir. Nitekim birçok işletme, karbon ayak izini düşürmek ve enerji verimliliğini artırmak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmaktadır (Pagell & Wu, 2009).

Bunun yanı sıra, sosyal sürdürülebilirlik faktörleri de geçiş sürecinde kritik bir rol oynamaktadır. Tüketicilerin etik üretim, adil çalışma koşulları ve sosyal sorumluluk konularındaki artan duyarlılığı, işletmeleri maliyet odaklı stratejilerin ötesine geçerek toplumsal değerlere duyarlı tedarik zinciri politikaları geliştirmeye teşvik etmektedir. İşçi haklarının korunması, çocuk işçiliğinin engellenmesi ve yerel toplulukların refahının desteklenmesi gibi sosyal sürdürülebilirlik ilkeleri, marka itibarı ve müşteri sadakati açısından önemli bir rekabet avantajı yaratmaktadır (Yakovleva ve diğerleri, 2012).

Ekonomik sürdürülebilirlik ise bu dönüşümün üçüncü boyutunu oluşturmaktadır. Sürdürülebilir tedarik zincirleri; uzun vadeli maliyet tasarrufu, operasyonel verimlilik ve tedarik risklerinin azaltılması gibi avantajlar sunmaktadır. Kaynakların etkin kullanımı, geri dönüşüm süreçleri ve stok yönetiminin iyileştirilmesi, işletmelere hem maliyet avantajı hem de kârlılık artışı sağlamaktadır (Elkington, 1997).

Sonuç olarak, sürdürülebilir tedarik zincirine geçiş; çevresel, sosyal ve ekonomik faktörlerin bütünleşik etkisiyle ortaya çıkan kaçınılmaz bir stratejik zorunluluktur. İşletmelerin uzun vadeli başarısı yalnızca finansal performanslarına değil; aynı zamanda

çevresel etkilerini azaltma ve toplumsal sorumluluklarını yerine getirme kapasitelerine de bağlıdır. Bu bağlamda, sürdürülebilirlik odaklı tedarik zinciri stratejileri, günümüz rekabet ortamında işletmeler için bir tercih değil, stratejik bir gereklilik haline gelmiştir.

3.6. Çevresel, Sosyal ve Ekonomik Etkiler

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi (STZY), işletmelerin çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerini dengeli bir şekilde yönetmesini amaçlayan bütüncül bir yaklaşımdır. Bu üç boyut, literatürde “üçlü bilanço” (triple bottom line) olarak adlandırılmakta ve sürdürülebilirlik stratejilerinin başarısı için kritik öneme sahip görülmektedir (Elkington, 1997). İşletmeler, yalnızca kısa vadeli kârlılık hedeflerine odaklanmamalı; aynı zamanda uzun vadeli toplumsal faydaları ve çevresel koruma sorumluluklarını da gözetmelidir (Carter & Rogers, 2008). Çevresel, sosyal ve ekonomik etkiler arasında denge kurabilmek, hem rekabet avantajı elde etmenin hem de kurumsal sürdürülebilirliğin devamlılığını sağlamanın temel koşulu olarak değerlendirilmektedir (Seuring & Müller, 2008).

3.6.1. Çevresel Etkiler

Çevresel sürdürülebilirlik bağlamında işletmelerin öncelikli hedeflerinden biri, karbon emisyonlarının azaltılmasıdır. Sera gazı salınımlarının minimize edilmesi, iklim değişikliğiyle mücadelede kritik bir unsur olup, enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması yoluyla işletmelerin karbon ayak izlerini küçültmeleri mümkün olmaktadır (IPCC, 2014).

Bir diğer önemli boyut ise doğal kaynakların korunmasıdır. Sınırlı nitelikteki su, enerji ve hammaddelerin etkin ve sürdürülebilir biçimde yönetilmesi, uzun vadeli üretim kapasitesinin güvence altına alınması açısından kritik öneme sahiptir (Rockström ve diğerleri, 2009). Bu doğrultuda, doğal kaynakların verimli kullanımını destekleyen stratejiler, işletmelerin sürdürülebilirlik uygulamalarında merkezi bir rol oynamaktadır. Ayrıca, atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamaları çevresel etkilerin azaltılmasında kilit bir araçtır. Atıkların azaltılması, yeniden kullanımı ve geri dönüştürülmesi, döngüsel ekonomi yaklaşımı çerçevesinde işletmelere hem çevresel fayda hem de

ekonomik avantaj sağlamaktadır (Geissdoerfer ve diğeri, 2017). Bu bağlamda, döngüsel iş modelleri, kaynak verimliliğini artırarak sürdürülebilir üretim ve tüketim hedeflerine katkı sunmaktadır.

3.6.2. Sosyal Etkiler

Sosyal sürdürülebilirliğin temel unsurlarından biri, işçi haklarının korunmasıdır. Çalışanların güvenliğinin sağlanması, adil ücret politikalarının uygulanması ve sağlıklı çalışma koşullarının temin edilmesi, işletmelerin sürdürülebilirlik stratejilerinin vazgeçilmez boyutları arasında yer almaktadır (Carter & Rogers, 2008).

Bir diğeri kritik unsur, toplumsal refahın artırılmasıdır. İşletmelerin faaliyet gösterdikleri yerel topluluklara ekonomik ve sosyal katkılar sağlaması, uzun vadeli sosyal sürdürülebilirliği desteklemekte ve paydaş ilişkilerinin güçlenmesine katkıda bulunmaktadır (Yakovleva ve diğeri, 2012).

Ayrıca çeşitlilik ve kapsayıcılığın teşvik edilmesi, sosyal sürdürülebilirliğin önemli bir diğeri boyutunu oluşturmaktadır. Farklı kültürler, topluluklar ve sosyal gruplarla iş birliği yapılması, yalnızca eşitlikçi bir iş ortamını desteklemekle kalmamakta, aynı zamanda işletmelerin sosyal sorumluluk kapasitelerini güçlendirmektedir (Hutchins & Sutherland, 2008).

3.6.3. Ekonomik Etkiler

Ekonomik sürdürülebilirlik, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin (STZY) kritik bileşenlerinden biri olup işletmelere uzun vadeli değer yaratma kapasitesi sunmaktadır. Bu bağlamda, üç temel etki alanı öne çıkmaktadır. İlk olarak, maliyet tasarrufu, kaynakların etkin kullanımı, geri dönüşüm uygulamaları ve enerji verimliliğinin artırılması yoluyla sağlanmakta ve işletmelere uzun vadeli maliyet avantajı kazandırmaktadır. İkinci olarak, uzun vadeli kârlılık, operasyonel verimlilik ve stratejik kaynak yönetimi sayesinde sürdürülebilir tedarik zincirlerinin işletmelere kalıcı finansal fayda sağlamasına olanak tanımaktadır. Üçüncü olarak ise, tedarik risklerinin azaltılması, kaynak kıtlığı, fiyat dalgalanmaları ve küresel ölçekte meydana gelen arz kesintileri gibi unsurların minimize edilmesine katkı sağlamaktadır (Carter & Rogers,

2008; Seuring & Müller, 2008).

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarının bütünlük değerlendirilmesi, bu alanların birbirini tamamlayıcı niteliğini ortaya koymaktadır. Aşağıdaki tablo, söz konusu üç boyutun özet değerlendirmesini ve örneklerini sunmaktadır.

Tablo 3.1: Çevresel Etkiler, Sosyal Etkiler, Ekonomik Etkiler ve Örnekler Tablosu

Etkiler	Örnekler
Çevresel Etkiler	Karbon emisyonlarının azaltılması, doğal kaynakların korunması, atık yönetimi gibi örnekler verilir.
Sosyal Etkiler	İşçi haklarının korunması, toplumsal refah, çeşitlilik ve kapsayıcılık gibi örnekler verilir.
Ekonomik Etkiler	Maliyet tasarrufu, uzun vadeli karlılık, tedarik risklerinin azaltılması gibi örnekler verilir.

3.7. Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik

Döngüsel ekonomi, geleneksel doğrusal ekonomik modelin (“al–üret–tüket–at” yaklaşımı) aksine, ürünlerin ve malzemelerin yaşam döngüsünü uzatmayı, atık oluşumunu minimize etmeyi ve kaynakların daha verimli kullanımını hedefleyen yenilikçi bir ekonomik paradigma olarak tanımlanmaktadır (Geissdoerfer ve diğerleri, 2017). Bu model, üretimden tüketime kadar olan tüm süreçlerin yeniden tasarlanmasını ve sürdürülebilirlik odaklı stratejilerin bütüncül biçimde benimsenmesini gerekli kılmaktadır. Döngüsel ekonomi yalnızca ekonomik verimliliği artırmakla kalmamakta, aynı zamanda çevresel koruma ve toplumsal sürdürülebilirliğe de katkı sağlamaktadır (Kirchherr ve diğerleri, 2017).

Döngüsel ekonominin temel ilkeleri; yeniden kullanım, geri dönüşüm, yeniden tasarım ve yeniden üretim süreçlerine dayanmaktadır. Bu yaklaşım, atıkların kaynağında azaltılmasını, ürünlerin mümkün olan en uzun süre boyunca değer yaratmasını ve

böylelikle çevresel etkilerin en aza indirilmesini amaçlamaktadır. Ürünlerin yaşam döngüsünü uzatarak ekonomik değeri maksimuma çıkaran bu model, aynı zamanda işletmelere maliyet avantajı ve rekabet gücü kazandırmaktadır (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Bu bağlamda dögüsel ekonominin temel unsurları Şu Şekilde özetlenebilir:

1. Atıkların Kaynağında Azaltılması: Ürünlerin daha dayanıklı, onarılabılır ve yeniden kullanılabilir biçimde tasarlanması yoluyla atık oluşumunun en baştan minimize edilmesi.
2. Kaynak Verimliliği: Doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı kapsamında enerji, su ve hammaddelerin etkin yönetimi.
3. Ürün Yaşam Dögüsü Yönetimi: Bakım, onarım, yeniden kullanım ve yeniden üretim süreçleri aracılığıyla ürünlerin ömrünün uzatılması.
4. Değer Zinciri Optimizasyonu: Ürünlerin tüm yaşam döngüsü boyunca maksimum değer yaratılmasını sağlayacak iş modellerinin geliştirilmesi.

Sonuç olarak, dögüsel ekonomi, sürdürülebilir üretim ve tüketim hedeflerine ulaşmak için stratejik bir araç olarak görölmekte ve günümüz işletmelerinin rekabet avantajı sağlamlasında kritik bir rol üstlenmektedir.

Tablo 3.2: Döngüsel Ekonominin Prensipleri ve Açıklamaları Tablosu

Prensipler	Açıklamalar
Atıkların Kaynağında Azaltılması	Atıkların en başında minimize edilmesi, ürünlerin daha dayanıklı ve tamir edilebilir tasarlanma sürecidir.
Kaynak Verimliliği	Enerji, su ve hammaddelerin verimli kullanılmasıdır.
Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi	Ürünlerin kullanım ömrünü uzatmak için bakım, onarım ve yeniden üretim süreçlerini kapsamaktadır.
Değer Zinciri Optimizasyonu	Ürünlerin tüm yaşam döngüsü boyunca maksimum değer yaratma durumudur.

Bu dönüşüm, döngüsel ekonomi ve düşük karbon ekonomisi gibi yeni iş modellerinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Örneğin, döngüsel ekonomi modelinde, üreticiler atıkların kaynağında azaltılması, ürünlerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü üzerine odaklanarak değer zincirini optimize ederler. Bu, Apple'ın eski iPhone modellerini yeniden işlemeye yönelik geri dönüşüm programları veya IKEA'nın ikinci el mobilya alışverişine yönelik stratejileri gibi yaklaşımları kapsar.

Tablo 3.3: Geleneksel Model ve Döngüsel Ekonomide Kaynak Kullanımı ve Verimlilik Tablosu

Aşama	Geleneksel Model	Döngüsel Ekonomi
Kaynak Çıkarma	80	60
Üretim	70	50
Dağıtım	60	40
Tüketim	50	30
Geri Dönüşüm	20	80

Benzer şekilde, düşük karbon ekonomisi, karbon emisyonlarının azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması üzerine kurulu bir modeldir. Bu kapsamda Tesla, sadece

elektrikli araçlar üretmekle kalmayıp, aynı zamanda yenilenebilir enerji depolama çözümleri geliştirmekte ve bu alanda lider bir konumda bulunmaktadır. Benzer şekilde, Amazon'un sürdürülebilir enerji yatırımları ve net sıfır karbon hedefleri, düşük karbon ekonomisinin önemli örneklerindedir.

Bu tür yeni iş modelleri, işletmelere sadece maliyet avantajları sağlamakla kalmaz, aynı zamanda uzun vadeli rekabet avantajı ve marka itibarı kazandırır. Bu nedenle, döngüsel ekonomi ve düşük karbon ekonomisi gibi yaklaşımlar, sürdürülebilir tedarik zinciri stratejilerinin temel taşları haline gelmiştir.

4. SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ KAVRAMININ EVRİMSEL SÜRECİ

4.1. Geleneksel Tedarik Zinciri Modelleri

Geleneksel tedarik zinciri modelleri, üretici, tedarikçi, dağıtıcı ve müşteriler arasında malzeme, bilgi ve finansal akışların etkin biçimde yönetilmesine odaklanan yapılar olarak tanımlanmaktadır. Bu modellerin öncelikli hedefi, maliyetlerin azaltılması, operasyonel verimliliğin artırılması ve kârlılığın maksimize edilmesidir (Mentzer ve diğerleri, 2001). Bununla birlikte, söz konusu yaklaşımlarda çevresel etkiler, karbon emisyonlarının azaltılması ve sosyal sorumluluk ilkeleri gibi sürdürülebilirlik kriterleri genellikle ikincil planda kalmış ya da göz ardı edilmiştir (Seuring & Müller, 2008). Dolayısıyla geleneksel modeller, işletmelere kısa vadeli finansal faydalar sağlarken, uzun vadeli çevresel ve sosyal etkileri yeterince dikkate almamaları nedeniyle günümüzün sürdürülebilirlik odaklı iş dünyasında yetersiz görülmektedir.

4.2. Sürdürülebilir Tedarik Zincirinin Ortaya Çıkışı

Geleneksel tedarik zinciri (GTZ) yönetimi, üreticilerden nihai tüketicilere kadar malzeme, bilgi ve finansal akışların optimize edilmesine odaklanan bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemin temel hedefleri, maliyetlerin azaltılması, envanter yönetiminin iyileştirilmesi ve operasyonel verimliliğin artırılmasıdır (Christopher, 2016). Ancak geleneksel modeller, çoğunlukla ekonomik performansa odaklanmış;

çevresel etkiler, sosyal sorumluluk ve sürdürülebilirlik gibi daha geniş toplumsal boyutları yeterince dikkate almamıştır (Seuring & Müller, 2008).

GTZ yaklaşımları, genellikle lineer bir yapı sergilemekte ve “al–kullan–at” prensibine dayanmaktadır. Bu doğrusal model, yüksek enerji tüketimi, atık oluşumu ve doğal kaynakların hızla tükenmesi gibi olumsuz çevresel sonuçlar doğurmaktadır (Geissdoerfer ve diğerleri, 2017). Söz konusu sınırlılıklar, işletmeleri sürdürülebilirlik odaklı tedarik zinciri yaklaşımlarına yöneltmiş ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin (STZY) ortaya çıkışını hızlandıran temel faktörlerden biri olmuştur.

4.2.1.Sürdürülebilir Modellerin Ortaya Çıkışı

1990'ların sonlarından itibaren küresel ölçekte artan çevresel farkındalık, tüketici beklentilerindeki değişim ve regülasyon baskıları, geleneksel TZ yaklaşımlarının sürdürülemezliğini ortaya koymuştur. Bu dönemde, işletmeler sadece ekonomik karlılığı değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal etkileri de yönetme gerekliliğiyle karşı karşıya kalmıştır (Elkington, 1998).

Bu dönüşümde Elkington'un "Üçlü Alt Çizgi" (Triple Bottom Line - TBL) modeli kritik bir rol oynamıştır. TBL, işletmelerin finansal başarılarını değerlendirirken ekonomik (profit), çevresel (planet) ve sosyal (people) performanslarını da göz önünde bulundurmalarını önerir. Bu model, sürdürülebilir TZ yönetiminin temel çerçevesini oluşturmuş ve birçok sektörde yaygın kabul görmüştür.

Çevresel İtici Güçler;

- Doğal kaynakların hızla tükenmesi
- Karbon ayak izi ve iklim değişikliği
- Atık yönetimi ve geri dönüşüm ihtiyacı
- Ekosistemlerin korunması ve biyoçeşitlilik

Sosyal İtici Güçler;

- İşçi hakları ve çalışma koşulları

- Toplumsal adalet ve eşitlik
- Tedarik zinciri boyunca insan haklarının korunması
- Toplumsal itibar ve marka değeri

Ekonomik İtici Güçler;

- Maliyet tasarrufu ve operasyonel verimlilik
- Risk yönetimi ve tedarik güvenliği
- Müşteri güveni ve sadakati artırma
- Yatırımcı beklentileri ve uzun vadeli karlılık

Bu üç temel güç, işletmelerin daha sürdürülebilir tedarik zinciri stratejileri geliştirmelerini zorunlu kılmıştır. Örneğin, Avrupa Birliği'nin "Yeşil Mutabakat" (European Green Deal) girişimi, işletmeleri karbon nötr olmaya ve çevresel etkilerini azaltmaya teşvik etmektedir (European Commission, 2019).

4.2.2. Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Kavramlarının Etkisi

Döngüsel ekonomi, sürdürülebilir TZ'nin temel bileşenlerinden biridir. Bu model, kaynakların sürekli yeniden kullanımını, atıkların minimize edilmesini ve ürünlerin yaşam döngülerinin uzatılmasını hedefler. Döngüsel ekonomi, geleneksel lineer modellerin aksine, kapalı döngüde kaynakların verimli kullanımını sağlar (MacArthur, 2013).

Döngüsel ekonomi modelinde üretim, kullanım ve geri dönüşüm süreçleri aşağıdaki şekilde işler:

4.2.2.1. Döngüsel Ekonomi Aşamaları

Döngüsel ekonomi şu aşamaları kapsamaktadır:

- Kaynak Çıkarma
- Üretim
- Dağıtım

- Tüketim
- Geri Dönüşüm

Bu aşamalar, geleneksel lineer modellerin aksine, doğal kaynakların daha verimli kullanımını sağlar ve atık oluşumunu minimize eder.

Aşağıda döngüsel ekonomi modelinin sürdürülebilir tedarik zincirlerine olan etkilerini gösteren bir tablo yer almaktadır:

Tablo 4.1: Döngüsel Ekonomi Modelinin Sürdürülebilir Tedarik Zincirine Etkisi Tablosu

Aşama	Geleneksel Model	Döngüsel Ekonomi
Kaynak Kullanımı	Yüksek	Optimum
Karbon Ayak İzi	Yüksek	Düşük
Kaynak Verimliliği	Düşük	Yüksek
Atık Miktarı	Yüksek	Düşük
Sosyal Etki	Sınırlı	Yüksek

Bu yaklaşım, işletmelerin hem maliyet tasarrufu yapmalarını hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamalarını mümkün kılar. Örneğin, IKEA ve Unilever gibi şirketler, döngüsel ekonomi prensiplerini benimseyerek atıklarını minimize etmeye ve karbon ayak izlerini azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmiştir.

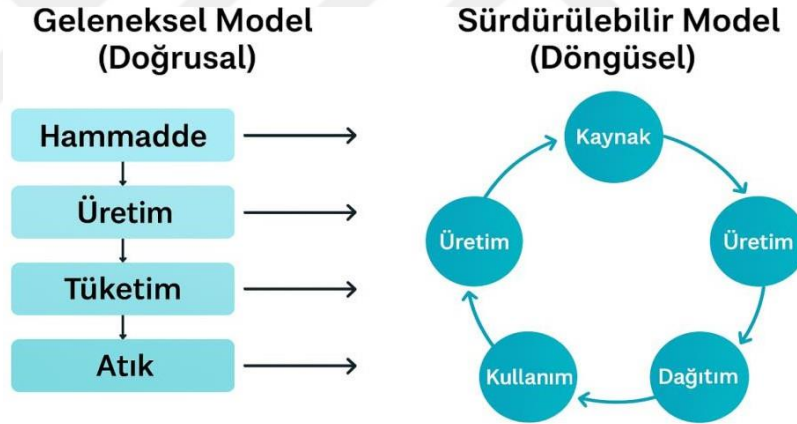
4.3. Geleneksel ve Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Modellerinin Karşılaştırılması

Tedarik zinciri yönetimi, zamanla sadece operasyonel verimliliği ve maliyet minimizasyonunu hedefleyen bir yapıdan çıkarak, çevresel sürdürülebilirlik, sosyal sorumluluk ve kurumsal etik ilkelerini kapsayan çok boyutlu bir yönetime evrilmiştir (Seuring ve Müller, 2008). Bu dönüşüm, geleneksel ve sürdürülebilir tedarik zinciri modelleri arasındaki temel farkları belirginleştirmiştir.

Geleneksel model; hammadde temininden nihai ürünün tüketiciye ulaşmasına kadar olan süreçte, genellikle maliyet düşürme, zamanında teslimat ve üretim optimizasyonuna

odaklanır. Bu sistemlerde çevresel etkiler (karbon ayak izi, su kullanımı, atık üretimi) ve sosyal etkiler (çalışma koşulları, etik kaynak kullanımı) genellikle geri planda kalmaktadır. Doğrusal bir yapıya sahip olan geleneksel model “al–kullan–at” döngüsünü takip eder ve atık yönetimi çoğunlukla sürecin sonunda ele alınır.

Sürdürülebilir tedarik zinciri modeli ise hem ekonomik verimliliği hem de çevresel ve sosyal sorumlulukları bir arada yönetmeyi hedefler. Bu model, çevresel etkilerin azaltılması, sosyal paydaşların korunması, şeffaflık ve izlenebilirlik, döngüsel ekonomi ilkeleri ve regülasyon ve yasalara uyum gibi unsurlar üzerine kuruludur. Sürdürülebilir TZ, üretim öncesinden geri dönüşüm aşamasına kadar tüm süreci çevrimsel olarak planlar.



Şekil 4.1: Geleneksel ve Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Akış Şeması

Bu şematik yapıdan da görüleceği üzere, sürdürülebilir tedarik zincirleri, atıkların geri kazanımını, ürünlerin yeniden kullanımını ve kaynakların verimli dönüşümünü sistematik olarak planlar.

Tablo 4.2: Geleneksel ve Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Modellerinin Karşılaştırılma Tablosu

Karşılaştırma Kriteri	Geleneksel TZ Modeli	Sürdürülebilir TZ Modeli
Hedef	Maliyet ve zaman optimizasyonudur.	Üçlü Alt Çizgi: ekonomik, çevresel, sosyal faktörlere öncelik verir.
Yapı	Doğrusaldır.	Döngüselidir.
Atık Yönetimi	Süreç sonunda ele alınır.	Süreç boyunca yönetilir.
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	Sınırlıdır.	Yüksektir.
Çevresel Etkiler	Göz ardı edilir.	Aktif olarak azaltılır.
Sosyal Sorumluluk	Genellikle dahi değildir.	Sürece entegredir.
Teknoloji Uyum	Geleneksel sistemlerden yararlanır.	Dijitalleşme, blok zinciri, IoT, yapay zekadan yararlanır.

Seuring ve Müller (2008) tarafından geliştirilen sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi çerçevesi, bu iki model arasındaki farklılığı kavramsal olarak açıklamaktadır. Buna göre, sürdürülebilir TZ, tedarikçi seçiminden müşteri hizmetine kadar tüm süreçleri yeniden yapılandırarak, sadece ekonomik çıktılara değil aynı zamanda sürdürülebilirliğe dayalı metriklere de odaklanır. Ayrıca, Carter ve Rogers (2008), sürdürülebilir TZ'nin sadece çevresel performans değil, aynı zamanda rekabet avantajı sağladığını da vurgular.

Tablo 4.3: Geleneksel ve Sürdürülebilir Tedarik Zincirinin Stratejik Öncelikleri (% Olarak Dağılım)

Aşama	Geleneksel Model	Döngüsel Ekonomi
Kaynak Çıkarma	80	60
Üretim	70	50
Dağıtım	60	40
Tüketim	50	30
Geri Dönüşüm	20	80

Geleneksel ve sürdürülebilir tedarik zinciri modelleri, yönetim anlayışları, önceliklendirdikleri faktörler ve sistematik yapı bakımından ciddi farklılıklar göstermektedir. Geleneksel model daha çok kısa vadeli operasyonel başarılarla

odaklanırken, sürdürülebilir model, uzun vadeli stratejik hedeflerle daha bütüncül bir değer yaratma sürecine sahiptir. Günümüz küresel iş dünyasında; regülasyonların, tüketici taleplerinin ve çevresel duyarlılığın artması, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimini artık bir tercih değil, zorunluluk haline getirmiştir.

5.BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Geleneksel tedarik zinciri sistemleri, özellikle şeffaflık ve izlenebilirlik ve güvenlik konularında yetersiz kaldıkça, bu eksikliklerin giderilmesi için dijital teknolojilere olan ihtiyaç artmıştır. Bu noktada, blok zinciri teknolojisi; merkeziyetsiz yapısı, değiştirilemez kayıt sistemi ve yüksek güvenlik düzeyi ile tedarik zinciri yönetimi için yenilikçi çözümler sunmaktadır. Tedarik zinciri boyunca ürünlerin yaşam döngüsünü takip edebilmek, sahteciliği önlemek ve paydaşlar arası güven ortamını güçlendirmek gibi birçok avantaj sağlayan blok zinciri, sürdürülebilir ve dijitalleşmiş tedarik zincirlerinin temel taşlarından biri haline gelmiştir (Saber ve diğerleri, 2019).

5.1. Blok Zinciri Teknolojisinin Temelleri

5.1.1. Tanım ve Temel Yapı

Blok zinciri, en basit tanımıyla, bir bilgisayar ağı üzerinden dağıtılmış ve şifrelenmiş işlem kayıtlarını birbirine zincirleme bağlayan bir veri yapısıdır. Her blok, önceki bloğa kriptografik olarak bağlıdır ve bu bağlantı, verilerin geçmişte değiştirilmesini neredeyse imkânsız hale getirir. Bu özellik, blok zinciri yalnızca kripto para birimleriyle değil; veri güvenliği, dijital kimlik doğrulama ve tedarik zinciri izlenebilirliği gibi alanlarda da kullanılabilir kılar (Tapscott ve Tapscott, 2016).

Blok zinciri teknolojisi şu üç temel prensip üzerine kuruludur:

- Dağıtık Defter Teknolojisi (DLT): Veriler tek bir merkezi sunucuda değil, tüm ağdaki düğümlerde (node) eş zamanlı olarak tutulur.

- Değiştirilemezlik (Immutability): Her blok, kendinden önce gelen bloğun özetini (hash) içerdiğinden, herhangi bir verinin sonradan değiştirilmesi sistemin tamamını geçersiz kılar.
- Şeffaflık ve Güven: Ağdaki her katılımcı işlem geçmişine erişebilir. Bu, güven ortamı oluşturur ve aracıya olan ihtiyacı ortadan kaldırır.

5.1.2. Teknik Bileşenler

Tablo 5.1: Blok Zinciri Bileşenleri ve İşlevleri Tablosu

Bileşen	Açıklama
Blok	Zaman damgası, işlem verileri ve önceki bloğun hash 'ini içerir.
Hash Fonksiyonu	Blok verilerini sabit uzunlukta, benzersiz bir dijital imzaya dönüştürür.
Zincir	Her blok bir öncekiyle kriptografik olarak bağlıdır.
Konsensüs Mekanizması	İşlemlerin doğruluğunu tüm ağ üzerinde onaylamak için kullanılan algoritmadır.
Düğümler	Ağa bağlı her cihaz, kayıtları saklar ve onay süreçlerine katılır.

Konsensüs mekanizmaları farklı blok zinciri türlerinde farklılık gösterir. Örneğin, Proof of Work (PoW) yoğun işlem gücü gerektirirken, Proof of Stake (PoS) daha enerji dostu bir yaklaşımdır. Özel ve kamusal blok zinciri sistemlerinde ise erişim ve yönetim kuralları değişkenlik gösterir (Yli-Huumo ve diğerleri, 2016).

5.1.3. Blok Zincirinin Temel Avantajları

Blok zinciri teknolojisinin yaygınlaşmasında etkili olan temel avantajlar şunlardır:

- Şeffaflık ve İzlenebilirlik: Her işlem izlenebilir, değiştirilemez ve kayıt altındadır.
- Veri Güvenliği: Merkezi bir otoriteye bağlı olmadan yüksek güvenlik sağlar.

- Hataların ve Dolandırıcılığın Azalması: Sahtecilik, veri kaybı ve manipülasyon riskleri önemli ölçüde düşer.
- Maliyet Azaltımı: Aracıların ortadan kalkması, işlem süresinin ve maliyetlerin düşmesini sağlar.
- Zaman Kazancı: Otomatikleşen süreçler sayesinde tedarik zinciri süreçlerinde hız ve verim artar.

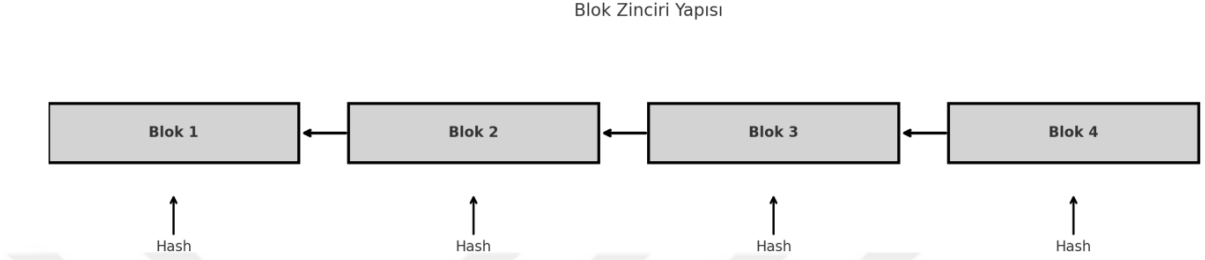
5.1.4. Blok Zinciri Türleri

Tablo 5.2: Blok Zinciri Sistemleri ve Erişim Düzeyleri

Bileşen	Erişim	Açıklama
Kamusal	Erişim herkese açıktır.	Kripto para, açık dijital kimlik sistemleri örnek verilebilir.
Özel	Sadece yetkili kullanıcılar erişebilir.	Kurumsal ağlar, tedarik zinciri, sağlık sistemleri örnek verilebilir.
Konsorsiyum	Seçili grupların erişimine açıktır.	Bankacılık, çok taraflı tedarik zinciri uygulamaları örnek verilebilir.

Tedarik zinciri özelinde, genellikle özel veya konsorsiyum blok zinciri sistemleri tercih edilir. Bu sistemler, kurumsal veri gizliliği ve kontrol ihtiyacını karşılarken aynı zamanda sistemsel güvenlikten ödün vermez (Francisco ve Swanson, 2018).

Şekil 5.1: Blok Zincirinin Basit Yapısı ve Veri Akışı



Her blok, kendinden önceki bloğun hash verisini içerdiğinden zincirin bütünlüğü korunur. Bu yapı sayesinde bir bloğa yapılacak müdahale, zincirin tamamında bozulmaya neden olur.

Blok zinciri teknolojisi, geleneksel veri yönetim sistemlerine kıyasla çok daha güvenli, şeffaf ve bütüncül bir yapı sunmaktadır. Tedarik zinciri yönetiminde bu teknolojinin uygulanması, özellikle çok paydaşlı, yüksek hacimli ve doğruluğun kritik olduğu sistemlerde stratejik bir avantaj yaratmaktadır. Blok zincirinin temel prensiplerini ve teknik altyapısını anlamak, sonraki bölümlerde ele alınacak olan blok zincirinin sürdürülebilir tedarik zincirlerindeki rolünü derinlemesine analiz edebilmek açısından kritik önem taşır.

5.2. Blok Zincirinin Tedarik Zincirinde Kullanım Alanları

Günümüzde küresel tedarik zincirleri, çok sayıda paydaşın yer aldığı, farklı coğrafyalara yayılmış karmaşık yapılardır. Bu yapıların yönetiminde karşılaşılan başlıca sorunlar arasında şeffaflık eksikliği, bilgi güvenliği, veri tutarsızlıkları, sahtecilik riski ve izlenebilirlik zayıflığı bulunmaktadır (Saberli ve diğerleri, 2019). Bu sorunlara yanıt olarak geliştirilen blok zinciri teknolojisi, tedarik zinciri yönetiminde devrim yaratacak düzeyde bir dönüşüm sağlamaktadır.

Blok zincirinin sunduğu dağıtık defter teknolojisi (DLT), tüm işlemlerin değiştirilemez bir biçimde kayıt altına alınmasını ve taraflar arasında güven ortamı oluşmasını sağlar. Bu doğrultuda blok zinciri, tedarik zinciri süreçlerinin neredeyse tüm aşamalarında kullanılabilir bir yapıya sahiptir.

5.2.1. Ürün ve Malzeme İzlenebilirliği

Tedarik zinciri süreçlerinde en çok ihtiyaç duyulan özelliklerden biri ürün izlenebilirliğidir. Blok zinciri sayesinde, bir ürünün menşei, üretim koşulları, nakliye geçmişi ve son tüketim noktası dahil olmak üzere tüm yolculuğu kayıt altına alınabilir. Bu izlenebilirlik, özellikle tarım ürünleri, ilaç, gıda ve lüks tüketim mallarında büyük önem taşır (Kamble ve diğerleri, 2020).

Örneğin:

IBM ve Walmart iş birliğiyle geliştirilen blok zinciri tabanlı platform sayesinde, bir gıda ürününün tarladan raflara ulaşma süreci sadece 2,2 saniyede takip edilebilmektedir. Oysa geleneksel sistemlerde bu işlem günler alabilmektedir (IBM Food Trust, 2020)

5.2.2. Tedarikçi Doğrulama ve Denetim

Blok zinciri teknolojisi, tedarik zincirinde yer alan firmaların doğrulamasını kolaylaştırmakta ve kayıtları dijital olarak güvenli şekilde saklamaktadır. Bu özellik, özellikle sosyal sorumluluk denetimleri, çocuk işçiliği, adil ticaret (fair trade) belgeleri ve sertifikasyon süreçleri için kritik önem taşımaktadır (Francisco ve Swanson, 2018).

Blok zinciri üzerinde yer alan kayıtlar değiştirilemez nitelikte olduğu için denetim mekanizmaları güçlenmekte, denetim süreçleri hızlanmakta ve maliyetler azalmaktadır.

5.2.3. Sahteciliğin Önlenmesi

Sahte ürünlerin piyasaya sürülmesi, özellikle ilaç, gıda ve lüks marka sektörlerinde önemli bir sorun teşkil eder. Blok zinciri, ürünlerin orijinalliğini ve bütünlüğünü belgeleyen dijital “parmak izleri” oluşturarak, bu tür sahteciliklerin önüne geçer. Her

ürün, benzersiz bir QR kod, NFC etiketi veya RFID çipi aracılığıyla blok zincirine entegre edilebilir (Kouhizadeh ve diğerleri, 2021).

Örneğin: Louis Vuitton ve Prada gibi markalar, ürünlerinin orijinalliğini doğrulamak için blok zinciri tabanlı takip sistemleri kurmuştur. Tüketiciler, satın aldıkları ürünün gerçekten marka ürünü olup olmadığını cep telefonlarından anlık olarak doğrulayabilmektedir.

5.2.4. Akıllı Kontratlar ve Otomasyon

Blok zincirinin en önemli fonksiyonlarından biri olan akıllı kontratlar (smart contracts), belirli koşullar gerçekleştiğinde otomatik olarak işlem yapan algoritmalarlardır. Bu sistem, tedarik zincirinde ödeme süreçleri, teslimat teyitleri, sigorta işlemleri gibi birçok operasyonun otomatikleştirilmesini sağlar (Zheng ve diğerleri, 2020).

Örneğin:

Bir ürün varış noktasına ulaştığında, GPS ile bu bilgi blok zincire girilir ve akıllı kontrat otomatik olarak ödemeyi başlatır. Bu sayede manuel müdahaleye gerek kalmadan süreç hızlanır ve insan hatası minimize edilir.

5.2.5. Karbon Ayak İzi Takibi ve Sürdürülebilirlik Raporlaması

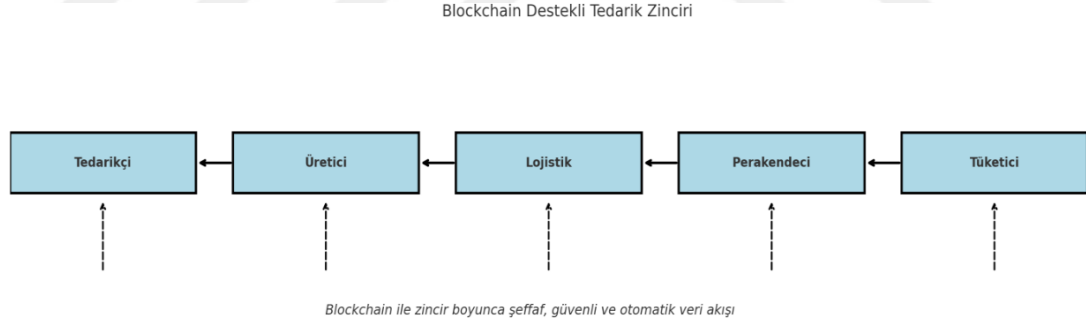
Sürdürülebilir tedarik zinciri hedefleri doğrultusunda, şirketler karbon emisyonlarını, enerji tüketimlerini ve geri dönüşüm oranlarını blok zinciri üzerinden kayıt altına alarak şeffaf raporlama yapabilmektedir. Bu veriler, hem regülasyon ve yasalara uyum sağlamak hem de çevresel sürdürülebilirliği artırmak için kullanılır (Treiblmaier, 2018). Bu bağlamda blok zinciri;

- ISO 14001 çevre yönetim sistemleriyle entegre olabilir,
- Kurumsal sürdürülebilirlik raporlamasında (GRI, SASB) kullanılabilir,
- Yeşil tedarikçilerle yapılan işlemleri takip edebilir.

Tablo 5.3: Blok Zincirinin Tedarik Zincirinde Uygulama Alanları

Uygulama Alanı	Sağladığı Fayda
Ürün İzlenebilirliği	Tarladan rafa, uçtan uca şeffaflık sağlar.
Tedarikçi Doğrulama	Güvenilir ve belgelenmiş iş ortaklığı sağlar.
Sahteciliğin Önlenmesi	Ürün orijinalliğinin tüketiciye kanıtlanmasını sağlar.
Akıllı Kontratlar	Otomatik ödeme, teslimat ve tedarik süreçlerinin kolay kontrol edilmesi sağlar.
Karbon Ayak İzi Takibi	Sürdürülebilirlik hedeflerinin dijital ve güvenli izlenilmesini sağlar.

Grafik 5.1: Blok Zinciri Kullanımı ile Tedarik Zincirinde Etki Alanları



Blok zinciri teknolojisi, tedarik zincirinin yalnızca bilgi yönetimi boyutunu değil, operasyonel verimliliğini, güvenliğini ve sürdürülebilirliğini de kökten değiştirmektedir. İzlenebilirlikten sahteciliğin önlenmesine, tedarikçi güvenliğinden akıllı kontratlara kadar geniş bir alanda uygulama imkânı sunan bu teknoloji, özellikle çok uluslu, karmaşık ve regülasyona tabi sektörlerde rekabet avantajı yaratmaktadır.

5.3. Blok Zincirinin Sürdürülebilir Tedarik Zincirindeki Rolü

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi (STZY), yalnızca operasyonel verimlilik değil; aynı zamanda çevresel etkiyi azaltma, sosyal sorumluluğu güçlendirme ve ekonomik dayanıklılığı artırma hedeflerini de içeren bütüncül bir yaklaşımdır. Bu çok katmanlı yapıyı yönetmek, özellikle küresel ve çok paydaşlı tedarik ağlarında oldukça karmaşık hale gelmiştir. Bu noktada blok zinciri teknolojisi, sürdürülebilir tedarik zinciri hedeflerinin gerçekleştirilmesinde stratejik bir araç olarak öne çıkmaktadır (Saber ve diğerleri, 2019).

Blok zincirinin sürdürülebilir tedarik zincirindeki rolü; çevresel sürdürülebilirlik, sosyal sorumluluk ve ekonomik verimlilik olmak üzere üç temel boyutta incelenebilir. Her biri, blok zinciri teknolojisinin özgün yapısal özelliklerinden (dağıtık defter, değiştirilemez kayıt, şeffaflık, otomasyon) faydalanarak daha etkin yönetilebilmektedir.

5.3.1. Çevresel Sürdürülebilirlik: İzlenebilirlik ve Karbon Takibi

Sürdürülebilir tedarik zinciri hedeflerinin başında, doğaya olan etkinin minimize edilmesi gelmektedir. Bu noktada blok zinciri teknolojisi, ürünlerin yaşam döngüsünü uçtan uca izleme, karbon ayak izi hesaplama ve enerji kullanım verilerini dijital olarak doğrulama gibi işlevleriyle çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlar (Treiblmaier, 2018).

- Örneğin, yeşil lojistik uygulamalarında araçların yakıt tüketimleri, nakliye mesafeleri ve enerji verileri blok zinciri üzerinde kayıt altına alınarak karbondioksit salınımları denetlenebilir.
- Geri dönüşüm zincirlerinde, malzemenin ne kadarının yeniden kullanıldığını veya çevreye zarar verip vermediğini şeffaf biçimde göstermek mümkündür.

Bu yapı, ISO 14001 gibi çevresel yönetim sistemlerinin dijital doğrulama süreçlerini kolaylaştırır ve sürdürülebilirlik raporlarının güvenilirliğini artırır (Kouhizadeh ve Sarkis, 2018).

5.3.2. Sosyal Sürdürülebilirlik: Etik Kaynak Kullanımı ve Çalışma Koşulları

Blok zinciri teknolojisi, sosyal sorumluluk kapsamında özellikle etik tedarikçilik ve adil iş uygulamaları konularında önemli bir denetim mekanizması sunar.

- Tedarik zincirinde çocuk işçiliği, zorla çalıştırma ve kayıt dışı istihdam gibi sorunların önlenmesinde blok zinciri, doğrulanabilir geçmiş bilgileri sayesinde kritik rol oynar.
- Madencilik, tekstil ve tarım gibi yüksek riskli sektörlerde; üreticilerin ve tedarikçilerin sosyal uygunluk sertifikaları, çalışma saatleri ve maaş ödemeleri blok zinciri üzerinde belgelenebilir.

Örneğin, Everledger gibi şirketler, elmasların kökenini blok zinciri ile takip ederek “çatışmasız maden” standartlarını denetlemektedir. Bu uygulama, tüketicilerin bilinçli seçim yapmasını ve şirketlerin şeffaf raporlama gerçekleştirmesini sağlar (Tapscott ve Tapscott, 2016).

5.3.3. Ekonomik Sürdürülebilirlik: Maliyet Azaltımı ve Risk Yönetimi

Blok zinciri, tedarik zinciri süreçlerinde verimsizliği azaltarak hem maliyet avantajı hem de uzun vadeli ekonomik sürdürülebilirlik sağlar. Bu kapsamda en belirgin katkılar şunlardır:

- Aracıların ortadan kaldırılması: Tedarikçi–üretici–dağıtıcı–perakendeci

zincirinde yer alan komisyonculara olan bağımlılık azaltılır.

- Akıllı kontratlar sayesinde işlem süreleri ve operasyonel gecikmeler minimize edilir.
- Siber saldırılara, veri manipülasyonlarına ve belgede sahteciliğe karşı dirençli bir sistem kurulur.

Bu yönüyle blok zinciri, tedarik zincirlerinde operasyonel riskleri azaltırken, finansal dayanıklılığı da artırır (Yli-Huumo ve diğerleri, 2016).

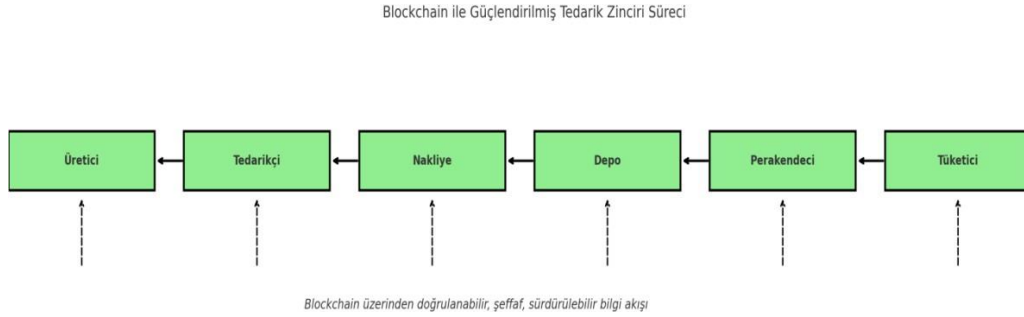
5.3.4. Blok Zincirinin Sürdürülebilirlik İlkeleri ile Uyumu

Blok zinciri teknolojisi, Elkington'un “Üçlü Alt Çizgi” (Triple Bottom Line - TBL) yaklaşımına doğrudan hizmet eden bir yapıdır. Aşağıdaki tablo, bu uyumu görsel olarak özetlemektedir:

Tablo 5.4: Blok Zinciri ve Sürdürülebilirlik İlkeleri Arasındaki İlişki

Sürdürülebilirlik Boyutu	Blok Zinciri Katkısı
Çevresel (Planet)	Karbon ayak izi takibi, yeşil lojistik, enerji verilerinin izlenebilirliğini kapsamaktadır.
Sosyal (People)	Etik tedarikçilik, işçi hakları, sosyal uygunluk sertifikalarının doğrulanmasını kapsamaktadır.
Ekonomik (Profit)	Maliyet azaltımı, verimlilik artışı, akıllı kontratlarla işlem otomasyonunu kapsamaktadır.

Şekil 5.2: Blok Zinciri Tabanlı Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yapısı



Bu yapı sayesinde hem geriye dönük denetim hem de ileriye dönük planlama mümkün hale gelir.

5.4. Sektör Uyum ve Benimseme Zorlukları

Yeni teknolojilerin başarıyla hayata geçirilebilmesi için yalnızca bireysel işletmelerin değil, tüm ekosistemin katılımı kritik önem taşımaktadır. Blok zinciri de doğası gereği ağ etkisine bağlı bir teknoloji olup, paydaş sayısı arttıkça sağladığı faydalar da katlanmaktadır. Ancak sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde blok zincirin önündeki temel sınırlamalardan biri, sektör genelinde uyumun ve yaygın benimsenmenin istenilen düzeye ulaşmamış olmasıdır. Birçok blok zincir girişimi, teknik açıdan başarılı pilot uygulamalar geliştirmiş olsa da, geniş ölçekli katılımın sağlanamaması nedeniyle ticarileşme ve ölçeklenme aşamalarında başarısız kalmıştır. Bu durumun en dikkat çekici örneklerinden biri, Maersk ve IBM ortaklığında geliştirilen TradeLens platformudur. Teknik açıdan işlevsel olan bu girişim, 600'den fazla liman ve terminalden günlük yaklaşık bir milyon nakliye olayını kaydetmeyi başarmış olmasına rağmen, tam endüstri iş birliği sağlanamadığından 2022 sonunda ticari olarak sonlandırılmıştır. Bu vaka, blok zincir tabanlı çözümlerin sektör uyumu olmaksızın sürdürülebilir bir iş modeli oluşturmakta zorlanabileceğini göstermektedir (Hackius & Petersen, 2017; Saberi ve diğerleri, 2019).

Blok zincir tabanlı tedarik zinciri projelerinin benimsenmesindeki zorluklar, birkaç temel faktöre dayanmaktadır. İlk olarak, teknik entegrasyon karmaşıklığı önemli bir engel teşkil etmektedir. ERP ve SCM gibi mevcut sistemlerle blok zincir altyapısının entegre edilmesi, zaman, beceri ve sermaye yatırımı gerektiren zorlu bir süreçtir. Uzun yıllardır yerleşik sistemleri kullanan işletmeler, bu sistemlere yeni bir katman eklemekte isteksiz davranabilmektedir. Ayrıca, blok zincir geliştirme ve uygulama konusundaki uzman insan kaynağının sınırlı olması, benimsemeyi zorlaştıran bir başka faktördür (Kshetri, 2018).

İkinci olarak, maliyetler yaygın katılımın önünde ciddi bir engeldir. Altyapı yatırımı, personel eğitimi ve süreç adaptasyonu gibi kalemlerde yüksek başlangıç maliyetleri gerekmektedir. Bu durum, özellikle KOBİ düzeyindeki tedarik zinciri aktörleri için caydırıcı olmaktadır. Büyük ölçekli işletmeler dahi, blok zincir yatırımlarının geri

dönüşünü somut biçimde garanti edemedikleri durumda bu tür projelere temkinli yaklaşmaktadır (Wang ve diğerleri, 2019).

Üçüncü olarak, veri paylaşımı konusundaki çekinceler benimseme sürecinde önemli bir bariyer oluşturmaktadır. Blok zincir şeffaflık ilkesine dayanırken, birçok işletme stratejik verilerinin rakipler tarafından görülebileceği endişesi taşımaktadır. İzinli blok zincirler kısmen çözüm sunsa da, özellikle tedarik zincirindeki güçlü aktörler bilgi üstünlüğünü kaybetme korkusuyla bu tür sistemlere mesafeli durabilmektedir (Queiroz & Wamba, 2019). TradeLens örneğinde de, rakip deniz taşımacılığı firmalarının Maersk liderliğinde geliştirilen bir platforma katılımında isteksiz davranması bu durumun somut bir yansımasıdır.

Sektör uyumu ve benimseme zorluklarının aşılabilmesi için ortak standartların geliştirilmesi ve konsorsiyum tabanlı yaklaşımların yaygınlaşması gerekmektedir. Nitekim gıda sektöründe IBM Food Trust, Walmart ve Carrefour gibi büyük perakendeciler ile üreticileri aynı ağda buluşturarak belli bir kritik kütle oluşturmayı başarmıştır. Ancak diğer sektörlerde benzer iş birlikleri henüz sınırlı düzeyde kalmaktadır. Şirketlerin blok zincir girişimlerine katılımını artırmak için, net iş modelleri ve ölçülebilir faydaların ortaya konması kritik öneme sahiptir. Aksi halde işletmeler, “bekle-gör” yaklaşımıyla teknolojinin olgunlaşmasını veya rakiplerin adım atmasını bekleyerek, ekosistemin bütünsel gelişimini geciktirmektedir.

Sonuç olarak, blok zincirin sürdürülebilir tedarik zincirlerinde tam potansiyeline ulaşabilmesi, bireysel şirketlerin başarılarının ötesinde, sektör genelinde koordineli bir benimsemeyi gerektirmektedir. Bu nedenle konsorsiyum yapıları, standartlaştırma girişimleri ve kamu-özel sektör iş birlikleri, blok zincirin ölçeklenebilir ve sürdürülebilir iş modelleri geliştirmesi açısından kritik rol oynamaktadır.

6.BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDEKİ ROLÜ

Küresel ölçekte sürdürülebilirlik ve etik iş uygulamalarına yönelik artan beklentiler, tedarik zinciri yönetiminde köklü dönüşümleri zorunlu hale getirmektedir. Bu bağlamda

yenilikçi bir çözüm olarak öne çıkan blok zincir teknolojisi, şeffaflık, güven ve hesap verebilirliği artırma potansiyeli nedeniyle işletmeler tarafından giderek daha fazla benimsenmektedir (Saber ve diğerleri, 2019). Merkeziyetsiz ve değiştirilemez bir dijital defter olan blok zincir, tedarik zincirindeki her işlemi güvenli ve doğrulanabilir şekilde kaydederek ürünlerin kaynağının, üretim süreçlerinin ve lojistik hareketlerinin gerçek zamanlı izlenmesini mümkün kılmaktadır. Böylelikle çevresel ve etik standartlara uyumun sağlanmasında güçlü bir araç işlevi görmektedir (Kouhizadeh & Sarkis, 2018).

Geleneksel tedarik zincirlerinde sıkça karşılaşılan şeffaflık eksikliği, sahtecilik ve kaynak doğrulama zorlukları, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli engeller oluşturmaktadır. Günümüz tüketicileri, ürünlerin sorumlu kaynaklardan temin edilmesini, çevresel etkilerin azaltılmasını ve insan haklarına saygılı üretim yöntemlerinin benimsenmesini talep etmektedir. Blok zincir, ham maddeden nihai perakende noktasına kadar olan süreçlerde bozulmaz kayıtlar tutarak bu beklentilere yanıt vermekte; sertifikalar, denetim raporları ve uyum belgeleri gibi kritik verilerin dijitalleştirilip doğrulanabilir hale gelmesini sağlayarak üreticiler, dağıtıcılar, perakendeciler, tüketiciler ve düzenleyici kurumlar arasında güven tesis etmektedir (Kshetri, 2018).

Literatürdeki bulgular, blok zincirin tedarik zinciri faaliyetlerinde şeffaflık ve iş birliğini artırarak yalnızca ekonomik faydalar sağlamakla kalmadığını; aynı zamanda işletmelerin sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarına da katkı sunduğunu göstermektedir (Wang ve diğerleri, 2019). Bu bölümde, blok zincir teknolojisinin sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimine teknik, operasyonel, çevresel ve stratejik açılardan sunduğu avantajlar ele alınacak; buna karşılık işlem hızı, enerji tüketimi, regülasyon eksiklikleri ve sektör uyumu gibi kısıtları da literatür çerçevesinde tartışılacaktır. Ayrıca Walmart, IBM ve Maersk örnekleri üzerinden farklı sektörlerdeki uygulamalar analiz edilerek, elde edilen kazanımlar ve karşılaşılan zorluklar somut vakalar aracılığıyla değerlendirilecektir.

6.1. Blok Zinciri Teknolojisinin Sürdürülebilir Tedarik Zincirine Katkıları

Şekil 6.1: Blok zincir ile Tedarik Zinciri Dönüşümü



Blok zinciri teknolojisi, tedarik zinciri yönetiminde şeffaflık, güven, izlenebilirlik ve verimlilik boyutlarında köklü dönüşümler sağlayan yenilikçi bir araç olarak değerlendirilmektedir. Şeffaflık açısından, blok zincirin dağıtık defter yapısı, ürünlerin tedarik zinciri boyunca geçtiği aşamaların tek bir platformda görselleştirilmesini mümkün kılmakta ve izleme sürelerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Güven boyutunda, kriptografik doğrulama mekanizmaları ve verilerin değiştirilemezliği, veri bütünlüğünü güvence altına almakta ve işletmelerin sürdürülebilirlik iddialarını doğrulanabilir kılmaktadır (Kouhizadeh & Sarkis, 2018).

İzlenebilirlik açısından, blok zincir gerçek zamanlı takip imkânı sunarak sahtecilik ve yanlış beyanda bulunma risklerini minimize etmektedir. Bu özellik, özellikle sürdürülebilirlik sertifikaları, tedarikçi uygunluğu ve gıda güvenliği gibi alanlarda kritik öneme sahiptir (Kshetri, 2018). Verimlilik boyutunda ise akıllı sözleşmeler aracılığıyla operasyonel süreçlerin otomatikleştirilmesi ve aracı aktörlerin ortadan kaldırılması,

maliyetlerin düşürülmesine ve süreç hızının artmasına katkı sağlamaktadır (Wang ve diğerleri, 2019).

Dolayısıyla blok zincir teknolojisi, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimine dört temel boyutta katkı sunmaktadır: şeffaflığın artırılması, güvenin tesis edilmesi, izlenebilirliğin geliştirilmesi ve operasyonel verimliliğin yükseltilmesi. Bu katkılar, literatürde işletmelerin hem ekonomik performansını hem de sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyen kritik unsurlar olarak değerlendirilmektedir (Saberri ve diğerleri, 2019).

6.1.1. Teknik Avantajlar

Blok zincir teknolojisinin en önemli teknik avantajı, veri bütünlüğünü ve güvenliğini sağlamasıdır. Zincire eklenen kayıtların kriptografik hash algoritmaları ile birbirine bağlanması ve dağıtık bir ağda tüm paydaşlar tarafından tutulması, verilerin merkezi bir otoriteye ihtiyaç duymaksızın değiştirilemez biçimde saklanmasına olanak tanımaktadır. Bu yapıda herhangi bir kaydın geriye dönük olarak değiştirilmesi, ağdaki tüm katılımcıların mutabakatını gerektirdiğinden pratikte neredeyse imkânsızdır (Kshetri, 2018). Böylelikle, geleneksel sistemlerde tekil veri tabanlarında görülebilen manipülasyon riski ortadan kalkmakta ve tüm tarafların onayıyla doğrulanan “tek gerçek kaynak” (single source of truth) oluşturulmaktadır. Bu durum, şeffaflığı artırmanın yanı sıra veri güvenliğini ve dürüstlüğünü de pekiştirmektedir.

Teknik açıdan bir diğer avantaj, blok zincirin dağıtık mimarisi sayesinde tek bir arıza noktasına bağımlı olmayan esnek bir bilgi altyapısı sunmasıdır. İşlemler merkezi bir sunucu yerine ağdaki düğümler tarafından doğrulandığından, herhangi bir katılımcının devre dışı kalması sistemin bütünlüğünü etkilememektedir. Bu özellik, tedarik zincirlerinde sıkça görülen veri silolaşmasını ve iletişim kopukluklarını engelleyerek tüm paydaşların aynı güncel verilere erişmesini mümkün kılmaktadır. Böylelikle bilgi asimetrisi azalmakta, karar alma süreçlerinde şeffaflık ve güven artmaktadır (Deloitte, 2020).

Blok zincirin sunduğu bir diğer teknik katkı ise akıllı sözleşmelerdir (smart contracts). Önceden tanımlanmış koşulların gerçekleşmesiyle otomatik olarak devreye giren bu kod parçacıkları, işlemleri hem şeffaf hem de güvenilir biçimde yürütmektedir. Bu sayede manuel müdahale gerektiren süreçler minimize edilmekte, işlem hızları artmakta ve hata riski azalmaktadır (Saberı ve diğerleri, 2019). Örneğin, bir konteynerin hedef limana ulaşmasının sensörler aracılığıyla blok zincire kaydedilmesiyle birlikte akıllı sözleşme otomatik olarak ödeme sürecini başlatabilmekte veya mal kabulünü onaylayabilmektedir. Ayrıca, sürdürülebilirlik kapsamında kritik verilerin (örneğin sertifika geçerlilikleri veya çevresel performans ölçümleri) otomatik olarak denetlenmesi mümkün olmakta, bu da ihlallerin erken tespitini kolaylaştırmaktadır.

Sonuç olarak, blok zincirin teknik avantajları olan merkeziyetsizlik, değişmezlik, şeffaflık ve akıllı sözleşme desteği, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin güvenilir ve bütüncül bir dijital altyapı üzerinde ilerlemesini mümkün kılmaktadır.

6.1.2. Operasyonel Avantajlar

Blok zincir teknolojisi, tedarik zinciri operasyonlarında verimlilik, hız ve maliyet etkinliği açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Öncelikle, dijital defter yapısı sayesinde evrak yükünü ve bürokratik işlemleri azaltarak idari süreçleri sadeleştirmekte ve işlem hızını artırmaktadır. Geleneksel sistemlerde mal hareketlerine ilişkin fatura, irsaliye ve gümrük beyannamesi gibi çok sayıda belgenin manuel olarak işlenmesi gerekirken, blok zincir tabanlı sistemlerde bu kayıtların tek bir dijital platformda saklanması ve akıllı sözleşmeler aracılığıyla otomatik yönetilmesi mümkün olmaktadır. Böylece hem tekrarlayan veri girişleri hem de insan hatasından kaynaklanan gecikmeler minimize edilmektedir (Deloitte, 2020).

Operasyonel hızlanmanın en önemli çıktılarından biri, ürün izlenebilirliğinde sağlanan dramatik iyileşmedir. Blok zincir sayesinde ürünlerin kaynağı, tedarik zinciri boyunca kat ettiği aşamalar ve lojistik akışı gerçek zamanlı olarak takip edilebilmekte, bu da özellikle kalite sorunları veya geri çağırma (recall) durumlarında kritik avantajlar sunmaktadır. Örneğin Walmart'ın IBM ile geliştirdiği pilot uygulamada, geleneksel sistemlerde bir gıda ürününün kaynağını tespit etmenin altı günü aşan bir süre

gerektirirken, blok zincir tabanlı izlenebilirlik sisteminde aynı bilgi 2.2 saniye içinde elde edilmiştir (Kamath, 2018). Bu hız, hem tüketici güvenliğini sağlamada hem de gereksiz ürün imhasını önlemede operasyonel kayıpları önemli ölçüde azaltmaktadır.

Blok zincirin operasyonel bir diğer avantajı, paydaşlar arasında koordinasyonu ve veri entegrasyonunu güçlendirmesidir. Geleneksel tedarik zincirlerinde aktörler arasında bilgi akışı sınırlı ve parçalı olabilirken, blok zincir tüm tarafların erişebildiği ortak bir kayıt altyapısı sunmaktadır. Böylece üretici tarafından kaydedilen stok verileri, dağıtıcılar ve lojistik firmaları tarafından anında görülebilmekte; bu durum tedarik planlamasının daha senkronize yürütülmesini ve yanlış iletişimden kaynaklı aksaklıkların azalmasını sağlamaktadır (HBR, 2019). Ayrıca, işlemlerin şeffaf ve denetlenebilir olması sayesinde ödeme anlaşmazlıkları veya teslimat uyumsuzlukları daha hızlı çözümlenebilmektedir.

Sonuç olarak, blok zincir teknolojisi tedarik zincirlerinde hız, esneklik, maliyet avantajı ve koordinasyon sağlayarak, sürdürülebilirlik ve dirençlilik hedefleriyle uyumlu operasyonel değer yaratmaktadır.

6.1.3. Çevresel Avantajlar

Blok zincir teknolojisinin sürdürülebilir tedarik zincirlerine sağladığı en özgün katkılardan biri, çevresel izlenebilirliği ve hesap verebilirliği güçlendirmesidir. Tedarik zinciri boyunca ürünlerin karbon ayak izi, su kullanımı ve enerji tüketimi gibi çevresel göstergelerin güvenilir biçimde kaydedilmesi ve doğrulanması, işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmaları açısından kritik öneme sahiptir (Saber ve diğerleri, 2019). Blok zincir, bu verilerin şeffaf ve değişmez kayıtlar halinde tutulmasını sağlayarak hem işletmelerin çevresel performanslarını etkin yönetmelerine hem de paydaşların bu performansı denetlemesine imkân tanımaktadır. Örneğin Fransız enerji şirketi Engie, üretilen elektriğin yenilenebilir kaynaklı olup olmadığını blok zincire kaydederek tüketicilere tükettikleri enerjinin kaynağını kanıtlama imkânı sunmaktadır. Bu tür uygulamalar, karbon emisyonu hesaplama ve raporlama süreçlerinde blok zincirin potansiyelini göstermektedir.

Blok zincir, aynı zamanda dögüsel ekonomi ve atık yönetimi açısından yenilikçi çözümler geliştirmektedir. Ürün ve malzemelerin yaşam döngüsünün her aşamasında (üretim, kullanım, atık ve geri dönüşüm) kayıtların blok zincir üzerinde tutulması, kaynak verimliliğinin artırılmasına ve geri dönüşüm süreçlerinin şeffaf biçimde belgelenmesine olanak tanır. Nitekim BASF, plastik atıkların geri dönüşüm oranlarını izlemek amacıyla blok zincir tabanlı bir sistem uygulamaya koymuş; bu sayede geri dönüştürülen malzemelerin orijini belgelenmiş ve dögüsel ekonomi hedefleri doğrultusunda somut katkılar sağlanmıştır (BASF, 2021).

Bunun yanında blok zincir, sürdürülebilirlik sertifikalarının doğrulanmasını kolaylaştırarak yeşile boyama (greenwashing) riskini azaltmaktadır. Adil ticaret (fair trade) veya organik üretim sertifikaları gibi sürdürülebilirlik etiketlerinin gerçekten ürünlere yansıyor yansımadığını denetlemek geleneksel sistemlerde zor iken, blok zincir bu verileri değişmez kayıtlara dönüştürerek güvenilirlik sağlamaktadır. Örneğin Fairtrade International, kahve çekirdeklerinin tedarik zinciri boyunca hareketini blok zincir üzerinden izleyerek sertifikalı üreticilerden geldiğini doğrulamaktadır. Benzer şekilde IBM Food Trust ağı, perakende sektöründe gıda güvenliği, raf ömrü takibi ve organik sertifikaların kontrolü için blok zincir tabanlı çözümler sunmaktadır (Kamath, 2018).

Sonuç olarak, blok zincir teknolojisi çevresel sürdürülebilirliğe hem doğrudan (ör. emisyon takibi, atık yönetimi, kaynak verimliliği) hem de dolaylı (ör. paydaş baskısının artması, tüketicilerin bilinçli seçim yapması) yollardan katkı sağlamaktadır. Şeffaf ve izlenebilir tedarik zincirleri, işletmelerin çevresel etkilerini saklamasını zorlaştırmakta, iyileştirme çabalarını teşvik etmekte ve çevre dostu uygulamaların pazarda rekabet avantajı kazanmasına olanak vermektedir.

6.1.4. Stratejik Avantajlar

Blok zincir teknolojisi, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi bağlamında yalnızca teknik ve operasyonel değil, aynı zamanda stratejik düzeyde de önemli avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlar, işletmelerin uzun vadeli rekabet gücü, paydaş ilişkileri, risk yönetimi ve iş modeli yenilikleri üzerinde doğrudan etkilidir.

İlk olarak, blok zincirin sunduğu şeffaflık ve izlenebilirlik, kurumsal itibar ve marka değeri açısından kritik bir unsur oluşturmaktadır. Tüketicilerin çevresel ve sosyal sorumluluk konularında artan duyarlılığı, etik ve sürdürülebilir tedarik zincirine sahip markalara yönelimlerini güçlendirmektedir. Blok zincir, ürünlerin kaynağından tüketiciye kadar uzanan yolculuğunu uçtan uca doğrulanabilir biçimde belgeleyerek, bu bilinçli tüketicilerin güvenini artırmaktadır. Örneğin, Danone Nutricia, bebek maması üretiminde kullanılan süt ve hammaddelerin organik çiftliklerden temin edildiğini blok zincir aracılığıyla kayıt altına almakta ve bu sayede ebeveynlerin güvenini pekiştirerek marka değerini yükseltmektedir. Benzer şekilde lüks moda markaları da, ürünlerinde kullandıkları deri veya değerli taşların kaynağını blok zincirle izleyerek hem orijinallik hem de etik üretim güvencesi sağlayabilmektedir (Kouhizadeh & Sarkis, 2018).

İkinci olarak, blok zincir, işletmelerin yasal uyum (compliance) ve risk yönetimi süreçlerini güçlendirmektedir. Küresel ölçekte sürdürülebilirlik regülasyonlarının sıkılaşması, şirketlere tedarik zinciri risklerini izleme, raporlama ve önleme yükümlülükleri getirmektedir. Avrupa Birliği'nin Yeşil Mutabakat kapsamında uygulamaya koyduğu “tedarik zinciri durum tespiti” (due diligence) yükümlülükleri bu bağlamda önemli bir örnektir. Blok zincir, her aşamanın kayıt altına alındığı, denetlenebilir ve doğrulanabilir bir veri tabanı sunarak bu yasal gerekliliklere uyumu kolaylaştırmakta ve olası yaptırım, ceza veya geri çağırma risklerini azaltmaktadır (Deloitte, 2020).

Üçüncü olarak, blok zincir yeni iş modelleri ve finansman olanakları yaratmaktadır. Güvenilir veri altyapısı, özellikle tedarik zinciri finansmanı alanında küçük ve orta ölçekli işletmelerin daha kolay finansmana erişmesini mümkün kılmaktadır. Örneğin, küçük bir tedarikçi, teslimat ve kalite standartlarını blok zincir üzerinde doğrulanabilir şekilde belgelediğinde, finansal kuruluşlar bu güvenilir veriye dayanarak daha uygun kredi imkânı sunabilmektedir (Harvard Business Review, 2019). Ayrıca tokenizasyon yoluyla, sürdürülebilirlik girişimleri veya emisyon azaltımları dijital varlıklara dönüştürülerek alınıp satılabilmekte, bu da yeni piyasa fırsatları ve gelir kaynakları yaratmaktadır.

Son olarak, blok zincir teknolojisi paydaş ilişkileri ve ekosistem iş birliklerinde stratejik değer sunmaktadır. Ortak bir blok zincir platformunun benimsenmesi, paydaşlar arasında güveni artırmakta, iş birliği kültürünü güçlendirmekte ve uzun vadeli ortaklıkları teşvik etmektedir. Örneğin otomotiv sektöründe kalite verilerinin blok zincir aracılığıyla şeffaf paylaşılması, taraflar arası güveni artırmakta ve iş birliğini geliştirmektedir. Benzer şekilde, IBM ve Maersk'in geliştirdiği TradeLens girişimi, küresel taşımacılıkta standart belirleyici olmayı hedeflemiş ve ekosistem dönüşümüne öncülük etmiştir. Bu tür uygulamalar, blok zinciri stratejik olarak benimseyen firmaların yalnızca rekabet avantajı değil, aynı zamanda sektör liderliği ve standart belirleyici bir konum elde etmelerine imkân tanımaktadır.

Sonuç olarak, blok zincir teknolojisi; itibar yönetimi, uyum ve risk kontrolü, finansal yenilikçilik ve ekosistem liderliği gibi stratejik alanlarda sunduğu avantajlarla, sürdürülebilirlik odaklı rekabet gücü elde etmek isteyen işletmeler için kritik bir araç haline gelmektedir.

6.2. Blok Zinciri Teknolojisinin Sürdürülebilir Tedarik Zincirindeki Sınırlamaları

Blok zincir teknolojisi, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde şeffaflık, güven ve izlenebilirlik gibi alanlarda önemli avantajlar sağlasa da, yaygın ve etkin biçimde benimsenmesinin önünde çeşitli sınırlamalar bulunmaktadır. Bu kısıtlar, yalnızca teknolojik ve operasyonel zorluklarla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda düzenleyici belirsizlikler, sektör dinamikleri ve paydaşların adaptasyon kapasitesi gibi dışsal faktörlerden de kaynaklanmaktadır (Queiroz & Wamba, 2019).

Her ne kadar blok zincirin merkeziyetsiz yapısı ve güvenilir veri yönetimi tedarik zinciri uygulamalarında devrimsel bir potansiyel sunsa da, işlem hızı, ölçeklenebilirlik, yüksek enerji tüketimi, regülasyon eksiklikleri ve sektör genelinde benimsenme düzeyinin yetersizliği gibi sorunlar teknolojinin pratikte sınırlı kalmasına neden olmaktadır (Saberri ve diğerleri, 2019). Ayrıca mevcut ERP ve SCM altyapılarıyla entegrasyon güçlükleri, yüksek başlangıç maliyetleri ve uzman insan kaynağı eksikliği, işletmelerin blok zinciri tedarik zincirlerine entegre etme konusundaki çekincelerini artırmaktadır.

Dolayısıyla blok zincir teknolojisinin sürdürülebilir tedarik zincirlerinde geniş ölçekli bir dönüşüm yaratabilmesi için söz konusu sınırlamaların dikkatle ele alınması ve uygun stratejilerle aşılması gerekmektedir. Bu bağlamda, işlem hızı ve ölçeklenebilirlik, enerji tüketimi, regülasyon eksiklikleri ile sektör uyumu ve benimseme zorlukları başlıkları altında değerlendirilecek kısıtlar, teknolojinin mevcut durumu ve gelecek potansiyelini daha iyi anlamaya katkı sunmaktadır.

6.2.1. Yüksek Enerji Tüketimi ve Çevresel Etkiler

Blok zinciri teknolojisinin önemli sınırlamalarından biri, özellikle bazı blok zinciri türlerinin (özellikle Bitcoin ve diğer kripto para birimleri gibi proof-of-work tabanlı sistemlerin) yüksek enerji tüketimi ile ilişkilidir. Blok zincirindeki her işlem, ağır doğrulayıcıları (madenciler) tarafından onaylanmak üzere çözümler arayarak işlemlerin doğruluğunu ve güvenliğini sağlamaya çalışır. Bu süreç, büyük miktarda enerji harcanmasını gerektirir. Nakamoto'nun (2008) önerdiği proof-of-work algoritması, işlem doğrulaması için büyük bir hesaplama gücü gerektirir ve bu durum, ağır ölçeklenebilirliğini olumsuz etkileyebilir. Bu tür yüksek enerji tüketimi, çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle çelişebilir ve blok zincirinin tedarik zincirlerinde geniş çapta kullanılmasını engelleyen bir etken olabilir (Zohar, 2015).

6.2.2. Ölçeklenebilirlik Sorunları

Blok zincirinin diğer bir sınırlaması, ölçeklenebilirlik ile ilgilidir. Blok zincirinin her bir işlem doğrulaması, tüm ağdaki diğer katılımcılar tarafından yapılır ve bu da işlemlerin artan sayısıyla başa çıkmayı zorlaştırır. Geleneksel tedarik zincirleri, genellikle çok büyük işlem hacimlerine sahip olduğundan, blok zinciri ağlarının bu yüksek işlem yüklerini karşılamada zorlanabilirler. Özellikle Bitcoin gibi büyük blok zincirlerinin işlem kapasitesi sınırlıdır ve her bir bloğun onaylanması belirli bir süre alır (Narayanan ve diğerleri, 2016). Bu durum, tedarik zincirinin hız gereksinimlerini karşılamak için yeterli olmayabilir. Çeşitli çözüm önerileri, örneğin second-layer protokoller veya proof-of-stake algoritmalarının kullanımı, bu sorunu hafifletmeyi hedeflese de, teknolojinin gelişmesi için zamana ihtiyaç vardır.

6.2.3. Yüksek Başlangıç Maliyetleri ve Altyapı Gereksinimleri

Blok zinciri tabanlı sistemlerin kurulum maliyetleri, geleneksel tedarik zincirlerine kıyasla daha yüksek olabilir. Blok zinciri teknolojisinin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için güçlü bir teknolojik altyapı ve yazılım geliştirme gereklidir. Ayrıca, blok zinciri ağlarının sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için yüksek işlem gücü ve geniş veri depolama kapasitesi gereklidir. Bu altyapı, küçük ve orta ölçekli işletmeler için ekonomik açıdan zorlayıcı olabilir (Peters ve Panayi, 2016). Bu durum, teknolojinin geniş çapta benimsenmesini sınırlayabilir ve özellikle gelişmekte olan bölgelerde bu tür çözümleri kullanmak isteyen işletmelerin karşılaştığı önemli bir engel teşkil eder.

6.2.4. Hukuki ve Düzenleyici Engeller

Blok zinciri teknolojisinin tedarik zincirlerinde uygulanması, çeşitli hukuki ve düzenleyici engellerle karşılaşabilir. Blok zinciri, merkeziyetsiz yapısı nedeniyle, mevcut yasal ve düzenleyici çerçevelerle uyumlu olamayabilir. Birçok ülkede, blok zinciri ve kripto paraların yasal durumu belirsizdir, bu da teknolojiye dayalı ticaret ve sözleşmelerin uygulanabilirliğini zorlaştırır (Catalini ve Gans, 2016). Ayrıca, blok zinciri sistemleri, kişisel verilerin korunması gibi gizlilik gereksinimlerine de zıt düşebilir. Özellikle Avrupa Birliği'nin GDPR (Genel Veri Koruma Yönetmeliği) gibi düzenlemeleri, verilerin anonimleştirilmesi ve silinmesi gerektiği durumları ön planda tutmaktadır. Bu bağlamda, blok zincirinde yer alan verilerin geri alınıp silinememesi, hukuki ve düzenleyici sorunları beraberinde getirebilir.

6.2.5. Paydaşların Uyum Sorunları ve Teknolojik Engeller

Tedarik zincirinde yer alan farklı paydaşlar arasında standartlaşma eksiklikleri ve teknolojik uyum sorunları da blok zincirinin geniş çapta benimsenmesini engelleyen bir faktördür. Blok zinciri teknolojisinin etkin kullanımı için, tedarik zincirindeki tüm paydaşların aynı platformda ve aynı standartlara dayalı olarak işlem yapması gerekir. Ancak, pratikte tedarik zincirlerinde genellikle farklı yazılım çözümleri, veri formatları ve işlem protokolleri kullanıldığı için, blok zinciri tabanlı çözümlerin bu farklılıklarla uyumlu hale getirilmesi zaman alabilir. Bu durum, teknolojinin uygulanabilirliğini zorlaştırabilir (Saber ve diğerleri, 2019). Ayrıca, blok zincirinin kullanımı, geleneksel iş

modellerini değiştirebilir ve bu değişiklik, bazı paydaşlar için kabul edilemez olabilir.



6.2.6. Akıllı Sözleşmelerin ve Yazılım Hatalarının Riski

Blok zinciri tabanlı sistemler, genellikle akıllı sözleşmeler ve diğer yazılımlar aracılığıyla otomatikleştirilmiş işlemler yapar. Ancak, bu yazılımların ve akıllı sözleşmelerin hatalı programlanması veya kötü niyetli müdahalelere karşı savunmasız olması, önemli güvenlik açıklarına yol açabilir. Yazılım hataları, blok zincirinin tüm ağdaki güvenliğini tehlikeye atabilir ve önemli finansal kayıplara neden olabilir (Narayanan ve diğerleri, 2016). Bu durum, blok zincirinin güvenli ve güvenilir bir platform olarak kabul edilmesini zorlaştırır. Özellikle karmaşık tedarik zincirlerinde, akıllı sözleşmelerin doğru şekilde tasarlanması ve uygulanması hayati önem taşır.

6.2.7. Veri Depolama Sorunları ve Kapsayıcılık

Son olarak, blok zinciri üzerindeki verilerin depolanması ve erişilebilirliği konusunda da bazı sınırlamalar mevcuttur. Blok zincirlerinin çoğu, her bir veri parçasını tüm ağda depolar ve bu, veri hacminin büyüdükçe ağın daha yavaş çalışmasına ve daha fazla depolama alanı gerektirmesine yol açar. Ayrıca, blok zinciri üzerindeki veriler genellikle halka açık olduğu için, gizlilik endişeleri ortaya çıkabilir. Bu durum, tedarik zincirindeki gizli bilgilere erişim gerektiren durumlarda sorun teşkil edebilir (Swan, 2015). Kapsayıcılık açısından, küçük işletmeler veya gelişmekte olan pazarlardaki işletmeler, bu teknolojinin sunduğu avantajlardan yararlanabilmek için gerekli altyapıyı kurmakta zorluk yaşayabilirler.

6.2.8. Şeffaflık ve İzlenebilirlik Kriteri

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, sadece ekonomik verimlilik değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal sorumlulukları da göz önünde bulundurur. Bu bağlamda, şeffaflık ve izlenebilirlik, tedarik zincirinin sürdürülebilirliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir (Seuring ve Müller, 2008). Şeffaflık, tedarik zincirindeki her adımın, her paydaş tarafından erişilebilir olması durumunu ifade ederken, izlenebilirlik, ürün ve süreçlerin her aşamasının izlenebilmesi ve denetlenebilmesi yeteneğini ifade etmektedir (Carter ve Rogers, 2008). Bu iki kavram, tedarik zinciri süreçlerinin güvenilirliğini artıran ve çevresel, sosyal etkiyi minimize eden uygulamaların temelini oluşturur.

Geleneksel tedarik zinciri yönetimi, genellikle merkezîyetçi ve bürokratik bir yapıya dayanır. Bu sistemlerde şeffaflık, çoğu zaman sınırlıdır çünkü tedarik zincirinin farklı aşamalarındaki veriler ve süreçler, yalnızca sınırlı sayıda paydaş tarafından erişilebilir olmaktadır (Christopher, 2016). Tedarik zincirinde şeffaflığın sağlanması, bilgi akışının açık ve hızlı olması gerekliliğini doğurur. Ancak, geleneksel sistemlerde bu durum genellikle karmaşık ve yavaş bir süreç haline gelir. Özellikle farklı paydaşların birbirleriyle veri paylaşımı konusunda isteksizlikleri ve güven eksiklikleri, şeffaflığı engellemektedir (Handfield ve diğerleri, 2009).

Bunun yanı sıra, geleneksel sistemde izlenebilirlik, tedarik zincirindeki her aşamanın kaydının tutulması, takip edilmesi ve denetlenmesi açısından zorlu bir süreçtir. Birçok tedarik zinciri, ürünlerin son tüketiciye ulaşana kadar geçen yolculuklarını izleyememekte, bu da tedarik zincirindeki olası aksaklıkların veya sürdürülebilirlik standartlarının ihlallerinin tespit edilmesini zorlaştırmaktadır (Krause ve diğerleri, 2007). Geleneksel yöntemlerle şeffaflık ve izlenebilirlik arasındaki bu zorluklar, çoğu tedarik zincirinin çevresel, sosyal ve etik performanslarını iyileştirmek konusunda yeterli veriye sahip olmalarına yol açmaktadır (Linton ve diğerleri, 2007).

Blok zinciri teknolojisi, tedarik zincirinde şeffaflık ve izlenebilirlik sağlamak için devrim niteliğinde bir çözüm sunmaktadır. Blok zinciri, verilerin merkezi olmayan bir ağda şifreli bir biçimde saklanması ve her işlemin kalıcı olarak kaydedilmesi prensibine dayalıdır. Bu, tedarik zincirindeki her işlem adımının güvenli bir şekilde izlenmesini ve denetlenmesini mümkün kılar (Tapscott ve Tapscott, 2016). Blok zinciri ile her ürün, üretim aşamasından son tüketiciye kadar her adımda izlenebilir. Bu sayede, tedarik zincirindeki her paydaş, sistemdeki herhangi bir değişikliği anında görebilir ve doğrulama işlemlerini gerçekleştirebilir.

Blok zincirinin sağladığı şeffaflık, özellikle tedarik zinciri boyunca ürünlerin çevresel ve sosyal sorumluluklarla uyumlu olup olmadığını denetleyen firmalar için önemli bir avantajdır. Blok zinciri, ürünlerin sertifikalı sürdürülebilir kaynaklardan gelip gelmediğini doğrulama imkânı sunar ve bu sayede "yeşil yıkama" (greenwashing) gibi etik dışı uygulamalara karşı bir engel oluşturur (Saberî ve diğerleri, 2019). Ayrıca, blok

zinciri teknolojisi, üretim süreçlerinde gerçekleşen her türlü değişikliği kaydederek, tedarik zinciri boyunca şeffaflığı artırır. Bu da tedarik zincirindeki her paydaşın çevresel etkileri daha doğru bir şekilde ölçmesine olanak tanır.

Buna ek olarak, blok zinciri teknolojisi ile tedarik zincirinin her adımı dijital bir kayıt altına alınabilir. Bu, üreticilerin ve tedarikçilerin, ürünlerin kaynağından son tüketiciye kadar her aşamasındaki sürdürülebilirlik performansını daha şeffaf bir şekilde izleyebilmesini sağlar. Özellikle lojistik ve taşımacılık sektörlerinde bu tür izlenebilirlik, ürünlerin taşınması esnasında meydana gelebilecek hasarların veya kayıpların hızlı bir şekilde tespit edilmesine yardımcı olur (Kim ve diğerleri, 2019).

Geleneksel tedarik zinciri yöntemleri genellikle şeffaflık ve izlenebilirlik açısından sınırlıdır. Paydaşlar arasındaki veri paylaşımındaki eksiklikler ve yavaş veri akışı, bu sistemin etkinliğini kısıtlamaktadır. Buna karşın, blok zinciri teknolojisi, her adımı kaydederek ve tüm işlemleri merkezi olmayan bir yapıda gerçekleştirerek bu zorlukların üstesinden gelmektedir. Blok zincirinin sunduğu şeffaflık, her paydaşa eşit derecede güvenli ve doğrulanabilir bilgi akışı sunarak, şeffaflık ve izlenebilirlik kriterlerini geleneksel yöntemlere göre çok daha güçlü bir şekilde yerine getirebilmektedir.

Sonuç olarak, blok zinciri, geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında şeffaflık ve izlenebilirlik açısından daha sağlam bir altyapı sunmakta, bu da tedarik zincirinde sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli bir faktör olmaktadır. Bu teknoloji, tüm paydaşların sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasını sağlayacak güvenilir veriler sunarak, çevresel ve sosyal sorumlulukların yerine getirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

6.2.9. Maliyet Etkinliği Kriteri

Maliyet etkinliği, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin temel bileşenlerinden biridir ve genellikle verimlilik artırıcı stratejilerin uygulanmasını gerektirir. Tedarik zincirindeki maliyetler, sadece finansal kaynakları değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal kaynakları da etkileyebilir. Bu nedenle, maliyet etkinliği, bir tedarik zincirinin sürdürülebilirliğini sağlamak için en önemli kriterlerden biridir. Hem geleneksel yöntemler hem de blok zinciri uygulamaları, tedarik zincirinde maliyet etkinliğini

artırmayı hedefler. Ancak bu iki yaklaşım arasındaki farklar, tedarik zincirinin verimliliği üzerindeki etkileri farklılaştırmaktadır.

Geleneksel tedarik zinciri yönetiminde maliyet etkinliği, daha çok süreçlerin merkezileştirilmesi ve operasyonel verimliliğin artırılması ile sağlanır. Geleneksel yöntemler genellikle sınırlı teknoloji altyapısı ve manuel süreçlere dayanır; bu da tedarik zincirindeki süreçlerin daha az verimli olmasına neden olabilir. Özellikle tedarikçi yönetimi, envanter kontrolü ve lojistik süreçler gibi alanlarda bu yöntemler, genellikle daha yüksek maliyetlere yol açan ve zaman alıcı süreçler içerir (Christopher, 2016).

Geleneksel sistemlerde, maliyetler genellikle envanter seviyelerini izlemek, sipariş yönetimini yürütmek ve tedarikçi ilişkilerini yönetmek gibi manuel süreçlere dayanmaktadır. Bu süreçler, veri hataları, insan müdahalesi, düşük koordinasyon ve tedarik zinciri boyunca iletişim eksiklikleri nedeniyle yüksek maliyetlere yol açabilmektedir (Handfield ve diğerleri, 2009). Ayrıca, geleneksel yöntemler çevresel sürdürülebilirlik ve sosyal sorumlulukları dikkate almadığı için, tedarik zincirindeki bu maliyetlerin dolaylı etkileri (örneğin, çevresel zararlar ve sosyal adaletsizlikler) genellikle göz ardı edilmektedir (Seuring ve Müller, 2008).

Blok zinciri teknolojisi, tedarik zincirinde maliyet etkinliğini artırmak için büyük potansiyel sunmaktadır. Blok zinciri, merkezi olmayan bir ağda veri depolamanın ve işlemleri kaydetmenin güvenli ve verimli bir yoludur. Bu teknoloji, birçok manuel süreci otomatikleştirerek, işlem maliyetlerini ve zaman kaybını azaltabilir (Tapscott ve Tapscott, 2016). Özellikle tedarik zincirindeki envanter yönetimi, tedarikçi ve müşteri ilişkileri, sipariş süreçleri ve izleme sistemleri gibi alanlarda blok zinciri uygulamaları, işlemlerin şeffaf ve güvenilir bir biçimde yönetilmesine olanak tanır. Bu da özellikle verimliliği artırarak maliyetleri azaltır.

Blok zincirinin sunduğu akıllı sözleşmeler (smart contracts) gibi özellikler, tedarik zincirindeki otomasyon süreçlerini daha verimli hale getirir. Akıllı sözleşmeler, tedarik zincirindeki her paydaş için belirli kuralların otomatik olarak uygulanmasını sağlar ve bu

da manuel müdahaleyi azaltarak, işlem maliyetlerini düşürür (Saberli ve diğerleri, 2019). Ayrıca, bu teknolojinin kullanılması, tedarik zinciri yönetiminde şeffaflık ve güveni artırarak, kaynakların daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar.

Blok zincirinin sağladığı en önemli maliyet avantajlarından biri de, tedarik zinciri boyunca veri doğrulama süreçlerinin daha hızlı ve düşük maliyetle gerçekleştirilmesidir. Tedarik zincirindeki tüm işlemlerin kaydedildiği blok zinciri ağı, verilerin doğruluğunu otomatik olarak kontrol eder ve bu sayede insan hatalarını en aza indirir. Bu durum, özellikle büyük tedarik zincirlerinde ortaya çıkan operasyonel hataların ve veri kayıplarının önüne geçilmesini sağlar (Kim ve diğerleri, 2019).

Bununla birlikte, blok zinciri uygulamalarının ilk kurulum maliyetleri genellikle yüksek olabilir. Ancak, uzun vadede bu maliyetler, operasyonel verimlilik artışı ve daha düşük işlem maliyetleri sayesinde telafi edilebilir. Ayrıca, blok zinciri, tedarik zincirindeki her paydaşın birbirleriyle daha doğrudan ve güvenli bir şekilde iletişim kurmasını sağlayarak, tedarik zinciri yönetiminde koordinasyonu artırır ve bu da maliyetleri daha da düşürür.

Geleneksel tedarik zinciri yönetimi ile blok zinciri arasında maliyet etkinliği açısından önemli farklar bulunmaktadır. Geleneksel sistemler genellikle daha fazla manuel işlem gerektirirken, blok zinciri gibi dijitalleşmiş teknolojiler, bu süreçleri otomatikleştirerek maliyetleri düşürmektedir. Özellikle tedarik zincirinde şeffaflık ve izlenebilirlik gereksinimlerini daha verimli şekilde karşılayan blok zinciri, operasyonel maliyetleri azaltarak sürdürülebilir tedarik zincirinin kurulmasına olanak tanır.

Blok zincirinin sunduğu otomasyon, veri doğrulama ve şeffaflık özellikleri, tedarik zincirindeki her aşamayı daha hızlı ve maliyet etkin hale getirir. Öte yandan, geleneksel yöntemlerde manuel veri girişleri, yüksek hata oranları ve yavaş işlem süreleri gibi sorunlar, maliyetleri artırabilir. Bununla birlikte, geleneksel tedarik zinciri yöntemlerinin daha düşük başlangıç maliyetleri olması, küçük ölçekli işletmeler için cazip olabilir. Ancak, uzun vadeli verimlilik artışı ve maliyet azaltımı sağlamak isteyen büyük ölçekli firmalar için blok zinciri teknolojisinin getirdiği faydalar daha belirgin hale gelmektedir.

Sonuç olarak, geleneksel tedarik zinciri yöntemleri, bazı durumlarda daha düşük başlangıç maliyetlerine sahip olsa da uzun vadede blok zinciri gibi dijital teknolojilerin sunduğu maliyet etkinliği sağlayan özellikler daha avantajlıdır. Bu nedenle, maliyet etkinliği açısından blok zinciri teknolojisi, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi için daha verimli bir çözüm sunmaktadır.

6.2.10. Çevresel ve Sosyal Etki Kriteri

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, çevresel ve sosyal etkiyi göz önünde bulunduran bir yaklaşımı gerektirir. Bu bağlamda, çevresel ve sosyal etkilerin değerlendirilmesi, tedarik zincirinin sürdürülebilirliğini sağlamak için kritik bir kriterdir. Sürdürülebilirlik, yalnızca ekonomik verimliliği değil, aynı zamanda çevresel ve toplumsal sorumlulukları da içerir. Çevresel etkiler, doğal kaynakların tüketimi, atık yönetimi ve karbon salınımı gibi faktörleri kapsarken, sosyal etkiler işçi hakları, adil ticaret, toplumsal sorumluluk ve toplumların refahını hedefler. Bu bölümde, geleneksel tedarik zinciri yönetimindeki çevresel ve sosyal etki ile blok zinciri tabanlı tedarik zinciri uygulamalarındaki çevresel ve sosyal etki kriterleri karşılaştırılacaktır. Geleneksel tedarik zinciri yöntemlerinde çevresel ve sosyal etki çoğu zaman ikinci planda kalmaktadır. Geleneksel tedarik zincirlerinde, üretim süreçleri, taşıma ve depolama gibi operasyonlar genellikle çevresel faktörler göz ardı edilerek yürütülmektedir. Bu durum, yüksek enerji tüketimi, karbon salınımı, atık üretimi ve doğal kaynakların tükenmesi gibi çevresel olumsuz etkiler yaratabilmektedir (Seuring ve Müller, 2008). Özellikle uzun mesafeler kat eden taşıma süreçleri, bu olumsuz çevresel etkilerin başlıca sebeplerindedir. Geleneksel yöntemlerde tedarik zinciri boyunca çevresel etkilerin izlenmesi ve denetlenmesi genellikle sınırlıdır ve dolayısıyla bu etkilerin minimize edilmesi için yeterli önlem alınmamaktadır (Linton ve diğerleri, 2007).

Aynı şekilde, sosyal etki de geleneksel tedarik zincirlerinde yeterince dikkate alınmamaktadır. Sosyal sorumluluk ve işçi hakları konuları, tedarik zinciri yöneticileri tarafından sıklıkla göz ardı edilmektedir. İşçi hakları, adil çalışma koşulları ve toplumsal refah gibi faktörler, tedarik zincirinin merkezi operasyonları üzerinde genellikle öncelik

olarak değerlendirilmemektedir (Handfield ve diğerleri, 2009). Bu durum, tedarik zincirlerinde sosyal adaletsizliklere ve yerel toplulukların refahının ihmal edilmesine yol açmaktadır. Geleneksel yöntemlerdeki bu eksiklikler, çevresel ve sosyal sorumlulukların daha fazla dikkate alındığı ve sürdürülebilirlik kriterlerinin ön planda tutulduğu alternatif sistemler arayışını artırmaktadır.

Blok zinciri teknolojisi, sürdürülebilir tedarik zincirinin çevresel ve sosyal etkilerini izlemek ve yönetmek açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Blok zinciri, tüm tedarik zincirinde verilerin şeffaf bir şekilde kaydedilmesini sağlayarak, çevresel ve sosyal sorumlulukların izlenebilirliğini artırmaktadır (Saberri ve diğerleri, 2019). Özellikle çevresel etkilerin izlenmesi, karbon salınımı, atık yönetimi ve doğal kaynak tüketimi gibi faktörlerin tedarik zincirinin her aşamasında daha etkili bir şekilde denetlenmesini mümkün kılar. Bu şeffaflık, tüm tedarik zinciri paydaşlarının çevresel etkileri minimize etmek için işbirliği yapmalarını teşvik eder (Pereira ve diğerleri, 2020).

Blok zinciri teknolojisinin sunduğu en önemli avantajlardan biri, çevresel ve sosyal etkileri denetleme ve raporlama süreçlerini otomatikleştirmesidir. Özellikle akıllı sözleşmeler, tedarik zinciri boyunca yapılan her işlemde çevresel ve sosyal sorumlulukların yerine getirilmesini garanti altına alabilir (Saberri ve diğerleri, 2019). Örneğin, bir tedarikçi, belirli çevresel standartları yerine getirdiği ve işçi haklarına saygı gösterdiği takdirde, bu bilgiyi blok zincirinde doğrulanabilir şekilde kaydedebilir. Bu durum, tedarik zincirindeki tüm paydaşlar için güvenilir veri sağlar ve çevresel, sosyal etkilerin izlenmesini daha kolay hale getirir (Tapscott ve Tapscott, 2016).

Ayrıca, blok zinciri teknolojisi, adil ticaret ve sosyal sorumluluk ilkelerinin tedarik zincirine entegrasyonunu da teşvik etmektedir. Blok zincirindeki şeffaflık, tedarik zincirinde adil ticaret uygulamalarının izlenmesine olanak tanırken, işçi hakları ve çalışma koşullarının da iyileştirilmesini sağlar. Bu sayede, blok zinciri teknolojisi sosyal adaletin artırılmasına ve yerel toplulukların refahına katkı sağlama konusunda önemli bir rol oynar (Kim ve diğerleri, 2019).

Blok zinciri ayrıca, çevresel ve sosyal sorumluluklarla ilgili yapılan işlemleri

doğrulamak ve izlemek için daha güvenli ve verimli bir yol sunmaktadır. Örneğin, karbon salınımını takip etmek için bir tedarik zinciri boyunca yapılan her işlemin kaydı blok zincirine işlenebilir ve böylece çevresel etkiler daha doğru bir şekilde hesaplanabilir. Bu durum, çevresel etkiyi azaltma hedeflerinin izlenmesini ve bu hedeflere ulaşılması için yapılan çabaların şeffaf bir şekilde gösterilmesini sağlar (Narayan ve diğerleri, 2020).

Geleneksel tedarik zincirlerinde çevresel ve sosyal etkilerin izlenmesi genellikle daha zor ve pahalıdır. Çevresel sorumlulukların yerine getirilmesi, sosyal etkilerin takip edilmesi ve işçi haklarının güvence altına alınması gibi kritik unsurlar, geleneksel yöntemlerde sınırlı bir şeffaflık ve izlenebilirlik ile gerçekleştirilir. Bu durum, çevresel bozulma ve sosyal adaletsizliğin yaygınlaşmasına neden olabilir.

Blok zinciri teknolojisi, bu sınırlamaları ortadan kaldırarak, tüm tedarik zincirinin her aşamasında çevresel ve sosyal etkilerin daha etkili bir şekilde izlenmesini ve yönetilmesini sağlar. Blok zinciri, verilerin güvenli bir şekilde kaydedilmesi ve paylaşılması sayesinde, tüm paydaşların çevresel ve sosyal sorumlulukları yerine getirmelerini sağlayarak sürdürülebilir bir tedarik zincirinin kurulmasına olanak tanır.

Sonuç olarak, blok zinciri teknolojisi, çevresel ve sosyal etkileri izleme ve yönetme konusunda geleneksel yöntemlere kıyasla daha büyük bir potansiyel sunmaktadır. Bu teknoloji, şeffaflık, izlenebilirlik ve güvenilirlik sağlayarak, sürdürülebilir tedarik zinciri hedeflerinin gerçekleştirilmesine yardımcı olabilir.

6.2.11. Regülasyonlara ve Yasal Uyum Kriteri

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde regülasyon ve yasal uyum, tüm paydaşlar için uyulması gereken yasal gereklilikler ve standartlar ile sürdürülebilirlik hedeflerinin entegrasyonunu ifade eder. Bu kriter, tedarik zinciri süreçlerinin yalnızca ticari amaçlarla değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal sorumluluklarla uyumlu bir şekilde yönetilmesini de sağlar. Regülasyonlar, çevresel, sosyal ve işyeri güvenliği ile ilgili standartları içerebilirken, yasal uyum da bu düzenlemelere ve ulusal/uluslararası

yasalarla örtüşen stratejilere bağıllık gerektirir (Hervani ve diğçerleri, 2005). Bu bölümde, geleneksel tedarik zinciri yönetimi ve blok zinciri tabanlı tedarik zinciri uygulamalarında regülasyon ve yasal uyum kriterlerinin nasıl ele alındığı, her iki sistemin bu alandaki avantajları ve sınırlamaları tartışılacaktır.

Geleneksel tedarik zinciri yönetimi, yasal düzenlemelere ve regülasyon ve yasalara uyum sağlamak için daha manuel ve zaman alıcı bir süreç gerektirir. Bu tür yöntemlerde, tedarik zinciri boyunca yasal gerekliliklerin sürekli izlenmesi ve takip edilmesi, genellikle iş gücü ve yönetim açısından büyük bir yük oluşturur. Ayrıca, geleneksel sistemlerde, tedarik zincirindeki her bir aşama ayrı ayrı denetlenir ve bu da regülasyonların tam anlamıyla uygulanmasını zorlaştırır (Carvalho ve diğçerleri, 2019).

Yasal uyum açısından, geleneksel tedarik zincirlerinde genellikle birbirinden bağımsız sistemler ve süreçler kullanılır. Bu da, farklı tedarikçi ve iş ortaklarıyla yapılan anlaşmaların, her bir yasal gerekliliğı ne kadar yerine getirdiğini izlemeyi zorlaştırır. Ayrıca, tedarik zincirinde herhangi bir olumsuzluk meydana geldiğinde, bu durumu izlemek ve gerekli düzeltici işlemleri uygulamak zaman alabilir. Bu eksiklikler, yasal uyumun sağlanması noktasında sıkıntılara yol açabilir ve uyum sorunlarına neden olabilir (Simons ve diğçerleri, 2014).

Geleneksel yöntemlerde, regülasyonlar ve yasal uyumun sağlanmasındaki zorluklar, tedarik zincirinin her aşamasında manuel denetim ve denetleme ihtiyacı ile daha da artmaktadır. Ayrıca, tedarik zincirinin küreselleşmesiyle birlikte, farklı ülkelerdeki yasalar arasındaki farklılıklar da geleneksel yöntemleri daha karmaşık hale getirebilir (Carter ve Rogers, 2008).

Blok zinciri, tedarik zincirindeki regülasyonlar ve yasal uyum süreçlerini daha verimli hale getirme potansiyeline sahip bir teknolojidir. Blok zincirinin şeffaflık ve izlenebilirlik, güvenlik gibi özellikleri, tedarik zincirinde yasal gerekliliklerin yerine getirilmesini çok daha kolay ve güvenilir hale getirmektedir. Blok zinciri teknolojisi, tedarik zinciri boyunca her bir işlem adımının dijital bir kayıt altında saklanması sağlar ve bu kayıtlar, tüm paydaşlar için doğrulanabilir şekilde sunulabilir. Bu sayede, her bir

tedarik zinciri adınının yasal gerekliliklere uyumu anlık olarak izlenebilir ve şeffaf hale gelir (Kouhizadeh ve diğerleri, 2021).

Blok zinciri teknolojisinin sunduğu bir diğer önemli avantaj ise, regülasyonların ve yasal uyumun otomatikleştirilmesidir. Akıllı sözleşmeler, tedarik zincirindeki tüm işlemleri belirli yasal standartlara göre otomatik olarak denetleyebilir. Bu sistemde, her bir işlem, önceden belirlenen kurallara ve yasal gerekliliklere uyduğu takdirde gerçekleştirilebilir. Bu durum, manuel denetim ihtiyacını ortadan kaldırarak, regülasyon ve yasal uyumun daha etkin ve hızlı bir şekilde sağlanmasını mümkün kılar (Tapscott ve Tapscott, 2016).

Blok zinciri teknolojisi, tedarik zincirinde ulusal ve uluslararası yasal uyum için de oldukça faydalıdır. Örneğin, bir tedarik zinciri küresel ölçekte faaliyet gösteriyorsa, farklı ülkelerdeki yasal gerekliliklerin izlenmesi oldukça karmaşık olabilir. Blok zinciri, tüm tedarik zinciri boyunca yapılan işlemlerin şeffaf bir şekilde kaydedilmesini sağlayarak, farklı yasal çerçevelerle uyumu kolaylaştırır. Bu sayede, bir tedarik zincirinin tüm paydaşları, farklı bölgelerdeki yasal gerekliliklere uygunluklarını güvenli bir şekilde doğrulayabilir (Mangan ve diğerleri, 2016).

Blok zinciri teknolojisinin sunduğu bu avantajlar, şirketlerin regülasyon ve yasal uyum süreçlerini daha düşük maliyetle, daha güvenli ve verimli bir şekilde yönetmelerini sağlar. Ayrıca, tedarik zincirinde meydana gelen herhangi bir yasal ihlalin hızlı bir şekilde tespit edilmesi ve düzeltilmesi mümkün olur.

Geleneksel tedarik zinciri yöntemlerinde, regülasyon ve yasalara uyum sağlamak için genellikle manuel denetim ve raporlama süreçleri gerekmektedir. Bu süreçler, tedarik zincirindeki herhangi bir problem ya da uyumsuzluk durumunda hızlı bir müdahale imkânı sunmaz ve işlem sürelerini uzatır. Bunun yanında, farklı yasal gerekliliklerin takip edilmesi de zaman alıcı ve maliyetli olabilir.

Öte yandan, blok zinciri teknolojisi bu sınırlamaları ortadan kaldırarak, tüm tedarik zinciri boyunca yapılan işlemleri dijital ortamda güvenli ve izlenebilir bir şekilde

kaydeder. Blok zinciri, yasal uyum ve regülasyon süreçlerini otomatikleştirerek hem verimliliği artırır hem de uyumsuzlukları minimize eder. Bu teknoloji sayesinde, tedarik zincirindeki tüm paydaşlar, yasal gerekliliklere uyumu daha kolay ve hızlı bir şekilde doğrulayabilir.

Sonuç olarak, blok zinciri teknolojisi, geleneksel tedarik zinciri yöntemlerine göre daha etkin ve güvenilir bir şekilde regülasyon ve yasalara uyumu sağlamaktadır. Şeffaflık ve izlenebilirlik, akıllı sözleşmeler gibi özellikler, tedarik zincirinde yasal uyum süreçlerini daha verimli hale getirerek sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimini destekler.

6.3. Literatürdeki Uzman Görüşleri ile Karşılaştırma

Bu çalışma kapsamında, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde geleneksel yöntemler ile blok zinciri uygulamalarının karşılaştırmalı analizini derinleştirmek amacıyla başlangıçta 12 uzmana ulaşılması hedeflenmiştir. ¹ İlk plan, özellikle işletmelerin sürdürülebilirlik departmanlarında görev yapan profesyoneller ile çalışarak konuya kurumsal perspektiften katkı sağlamaktır. Ancak bu kişilere erişimde yaşanan güçlükler nedeniyle, araştırma süreci üç alan uzmanı ile sınırlandırılmıştır. Bu uzmanlara LinkedIn platformu ve kişisel bağlantılar aracılığıyla ulaşılmış olup, katılım tamamen gönüllülük esasına dayanmaktadır.

Her bir uzmana iki aşamalı bir anket uygulanmıştır. İlk anket, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi çerçevesinde belirlenen kriterlerin kendi aralarındaki önem derecelerini ortaya koymayı hedeflemiştir. İkinci anket ise, bu kriterlerin sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde hangi yöntemde (geleneksel yöntemlerde mi, blok zinciri teknolojisi yönteminde mi) daha uygun ve etkili olduğunun değerlendirilmesine odaklanmıştır.

Elde edilen veriler “Expert Choice” programı aracılığıyla analiz edilmiştir. İlk aşamada, uzmanların her biri kriterler arası önem düzeyini belirlemiş ve bireysel karar matrisleri oluşturulmuştur. Ardından tutarlılık oranları kontrol edilerek yanıtların geçerliliği sağlanmıştır. Son aşamada, tüm uzmanlara ait bireysel değerlendirmeler AHP yöntemiyle birleştirilmiş ve ortak karar matrisi ile nihai kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Üç uzman ile yürütülen bu anket uygulaması sonucunda, ana kriterler şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliği, çevresel ve sosyal etki, regülasyon ve yasal uyum

başlıkları altında sıralanmıştır. Bu bulgular, literatürde öne çıkan kriterlerle de uyumlu olup, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde geleneksel yöntemler ile blok zinciri teknolojisinin görece üstünlüklerini ortaya koymaktadır.



Dipnot

¹ Araştırmanın ilk aşamasında 12 uzmana ulaşılması planlanmış, ancak sürdürülebilirlik departmanlarında görev yapan profesyonellere erişim kısıtlılığı nedeniyle nihai uygulama üç uzman ile sınırlandırılmıştır.

6.3.1. Uzman 1'e Ait Anket Cevapları ve Karar Matrisi

Tablo 6.1: Uzman 1'e Ait Anket Cevap Matrisi

	Şeffaflık ve İzlenebilirlik	Maliyet Etkinliği	Çevresel ve Sosyal Etki	Regülasyon ve Yasal Uyum
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	1.000	3.000	1.000	3.000
Maliyet Etkinliği	0.333	1.000	0.333	1.000
Çevresel ve Sosyal Etki	1.000	3.000	1.000	3.000
Regülasyon ve Yasal Uyum	0.333	1.000	0.333	1.000

Bu matriste, Uzman 1'in sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi bağlamında belirlediği dört temel kriterin karşılaştırmaları yer almaktadır. Verilere göre uzman, "Şeffaflık ve İzlenebilirlik" kriterini, "Regülasyonlara Uyum" kriterine göre yaklaşık 3 kat daha önemli bulmuştur. Benzer şekilde, "Çevresel ve Sosyal Etki" kriteri "Maliyet Etkinliği" kriterine göre biraz daha öncelikli değerlendirilmiştir.

Özellikle dikkat çeken unsur, kriterler arasındaki oranların çok aşırı uçlara sapmaması ve dengeli bir değerlendirme yapısının korunmuş olmasıdır. Bu durum, uzman görüşünün hem sürdürülebilirlik hem de uygulanabilirlik açısından bütüncül yaklaştığını göstermektedir.

Tablo 6.2: Uzman 1'e Ait Kriter Ağırlıkları Matrisi

Kriter	Ağırlık (w)	Yorum
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	0.375	En yüksek öneme sahip kriterlerden biridir.
Maliyet Etkinliği	0.125	Daha düşük önem verilen kriterdir.
Çevresel ve Sosyal Etki	0.375	Şeffaflık ile eşit düzeyde önemlidir.
Regülasyon ve Yasal Uyum	0.125	Maliyet ile aynı, düşük önceliklidir.

Uzman 1'in ikili karşılaştırma matrisi normalize edilip özvektör yöntemiyle ağırlıklar hesaplandığında Şeffaflık ve İzlenebilirlik kriteri ile Çevresel ve Sosyal Etki kriteri 0.375, Maliyet Etkinliği Kriteri ile Regülasyon ve Yasal Uyum kriteri 0.125 ağırlık almıştır. Ardından tutarlılık analizi yapılmış, $\lambda_{max} = 4$, $CI=0$, $CR=0$ bulunmuştur. Bu da uzman 1'in yanıtlarının tam tutarlı olduğunu göstermektedir.

6.3.2. Uzman 2'e Ait Karar Matrisi

Tablo 6.3: Uzman 2'e Ait Anket Cevapları

	Şeffaflık ve İzlenebilirlik	Maliyet Etkinliği	Çevresel ve Sosyal Etki	Regülasyon ve Yasal Uyum
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	1.000	5.000	1.000	3.000
Maliyet Etkinliği	0.200	1.000	0.200	1.000
Çevresel ve Sosyal Etki	1.000	5.000	1.000	1.000
Regülasyon ve Yasal Uyum	0.333	1.000	1.000	1.000

Uzman 2 tarafından oluşturulan bu karar matrisi, sürdürülebilirlik kriterlerine ilişkin

bireysel önceliklendirmeyi ortaya koymaktadır. Şeffaflık ve İzlenebilirlik kriterini Maliyet Etkinliği kriterine göre daha önemli bulmuş, Regülasyon ve Yasal Uyum kriterine göre ise biraz daha az önemli bulmuştur.

Uzman 2, Çevresel ve Sosyal Etki kriterini de Maliyet Etkinliği kriterine göre yüksek düzeyde önem atfetmiş, bu kriter Regülasyonlara Uyum kriteri karşısında eşit önemli görülmüştür. Sonuç olarak şeffaflık ve izlenebilirlik kriteri ile çevresel ve sosyal etki kriteri bu uzmanın önceliklendirmesinde belirgin biçimde öne çıkmaktadır.

Tablo 6.4: Uzman 2'e Ait Kriter Ağırlıkları Matrisi

Kriter	Ağırlık (w)	Yorum
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	0.406	En yüksek öneme sahip kriterlerden biridir.
Maliyet Etkinliği	0.100	En düşük önem verilen kriterdir.
Çevresel ve Sosyal Etki	0.354	İkincil öneme sahip kriterdir.
Regülasyon ve Yasal Uyum	0.140	Önemlilik orta düzeydedir.

Uzman 2'nin değerlendirmeleri sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 15'de sunulmuştur. Bulgulara göre, Şeffaflık ve İzlenebilirlik kriteri en yüksek önceliğe sahip kriter olarak öne çıkmaktadır. Bunu Çevresel ve Sosyal Etki kriteri takip etmektedir. Regülasyon ve Yasal Uyum kriteri orta düzeyde önemsenmiş, Maliyet Etkinliği kriteri ise en düşük öncelikli kriter olarak belirlenmiştir. Bu dağılım, Uzman 2'nin sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde özellikle şeffaflık ve çevresel boyutları kritik gördüğünü, maliyet odaklı yaklaşımı ise görece daha geri planda değerlendirdiğini göstermektedir. Ayrıca, yapılan tutarlılık analizi sonucunda $\lambda_{max} \approx 4.16$, $CI = 0.054$ ve $CR = 0.06$ değerleri elde edilmiş olup, CR'nin 0.10'dan küçük çıkması uzman yanıtlarının tutarlı olduğunu kanıtlamaktadır.

6.3.3. Uzman 3'e Ait Karar Matrisi

Tablo 6.5: Uzman 3'e Ait Anket Cevapları

	Şeffaflık ve İzlenebilirlik	Maliyet Etkinliği	Çevresel ve Sosyal Etki	Regülasyon ve Yasalara Uyum
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	1.000	3.000	1.000	5.000
Maliyet Etkinliği	0.333	1.000	1.000	1.000
Çevresel ve Sosyal Etki	1.000	1.000	1.000	1.000
Regülasyon ve Yasalara Uyum	0.200	1.000	1.000	1.000

Uzman 3'ün sürdürülebilirlik kriterlerine ilişkin yaptığı değerlendirmeye göre, en öncelikli kriterin Şeffaflık ve İzlenebilirlik kriteri olduğu görülmektedir; bu kriter hem Maliyet Etkinliği 'ne hem de Regülasyon ve Yasal Uyuma göre oldukça yüksek (sırasıyla 3 ve 5 kat) önem atfedilmiştir.

Tablo 6.6: Uzman 3'e Ait Kriter Ağırlıkları Matrisi

Kriter	Ağırlık (w)	Yorum
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	0.468	En yüksek öneme sahip kriterdir.
Maliyet Etkinliği	0.134	Düşük önem verilen kriterdir.
Çevresel ve Sosyal Etki	0.268	İkincil önem verilen kriterdir.
Regülasyon ve Yasal Uyum	0.130	En düşük önem verilen kriterdir.

Uzman 3'ün sürdürülebilirlik kriterlerine ilişkin yaptığı değerlendirmeler sonucunda, en yüksek önceliğe sahip kriterin Şeffaflık ve İzlenebilirlik kriteri olduğu tespit edilmiştir. Bu kriteri sırasıyla Çevresel ve Sosyal Etki kriteri, Maliyet Etkinliği kriteri ve Regülasyon ve Yasal Uyum kriteri izlemektedir. Bulgular, Uzman 3'ün sürdürülebilir

tedarik zinciri yönetiminde özellikle şeffaflık ve izlenebilirliği kritik bir unsur olarak ön plana çıkardığını, maliyet ve regülasyon boyutlarını ise görece daha düşük önemle değerlendirdiğini göstermektedir. Ayrıca, yapılan tutarlılık analizi sonucunda $\lambda_{max} \approx 4.05$, $CI = 0.017$ ve $CR = 0.019$ değerleri elde edilmiştir. CR değerinin 0.10'dan küçük çıkması, Uzman 3'ün yanıtlarının tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

6.3.4. Ortak Karar Matrisi (3 Uzman Ortalaması)

Üç uzman tarafından yapılan bireysel değerlendirmeler doğrultusunda oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri, özvektör yöntemiyle ağırlıklar çıkarılmış, grup birleştirme geometrik ortalama ile yapılmıştır. Ortaya çıkan **ortak karar matrisi**, sürdürülebilirlik tedarik zinciri yönetimi bağlamında dört temel kriterin (şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliği, çevresel ve sosyal etki, regülasyon ve yasal uyum) bütünsel öncelik düzeylerini temsil etmektedir.

Ortak matris doğrultusunda yapılan AHP hesaplamalarına göre kriter ağırlıkları aşağıdaki gibidir:

Tablo 6.7: Uzmanların Geometrik Ortalamasına Göre Sürdürülebilirlik Kriterleri Karar Matrisi

	Şeffaflık ve İzlenebilirlik	Maliyet Etkinliği	Çevresel ve Sosyal Etki	Regülasyon ve Yasalara Uyum
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	1.000	3.557	1.000	3.557
Maliyet Etkinliği	0.281	1.000	0.405	1.000
Çevresel ve Sosyal Etki	1.000	2.466	1.000	1.442
Regülasyon ve Yasalara Uyum	0.281	1.000	0.693	1.000

Üç uzmanın ikili karşılaştırma yargıları geometrik ortalama ile birleştirilerek grup karar matrisi elde edilmiştir. Hücre değerleri ilgili kriter çiftine ilişkin ortak yargıyı temsil eder; karşılıklılık koşulu korunmuştur. Bu matris, öncelik vektörünün türetilmesi için

temel girdi olup, tutarlılık incelemesi sonucunda $CR = 0.029 < 0.10$ bulunmuş, dolayısıyla grup yargıları kabul edilebilir düzeyde tutarlı değerlendirilmiştir.

Tablo 6.8: Sürdürülebilirlik Kriterlerinin Ağırlıklandırılmış Öncelik Sıralaması

	Ağırlık	Yüzde%
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	0.419	41.9
Maliyet Etkinliği	0.129	12.9
Çevresel ve Sosyal Etki	0.305	30.5
Regülasyon ve Yasal Uyum	0.148	14.8

Grup karar matrisinden elde edilen öncelik vektörü normalize edilerek tabloya yansıtılmıştır. Ağırlıklar kriterlerin görece önemini göstermektedir. Bulgular, sürdürülebilir tedarik zinciri bağlamında şeffaflık ve izlenebilirlik kriteri ile çevresel ve sosyal uyum kriterinin görece olarak daha yüksek önceliklendirildiğini; regülasyon ve yasal uyum kriterinin orta düzeyde, maliyet etkinliği kriterinin ise daha düşük ağırlığa sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

6.3.5. İkinci Anket: Yöntemlerin Kriterlere Göre Etkinliği

Bu anket, blok zinciri ve geleneksel yöntemlerin sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi bağlamında dört ana kriter açısından karşılaştırılmasını amaçlamaktadır. Anket toplamda 13 sorudan oluşmuş, sorular şu kriterler altında gruplanmıştır:

- Şeffaflık ve İzlenebilirlik (4 soru),
- Maliyet Etkinliği (3 soru),
- Çevresel ve Sosyal Etki (3 soru),
- Regülasyon ve Yasal Uyum (3 soru),

Değerlendirme için sadeleştirilmiş Saaty ölçeği kullanılmıştır:

- 1/5: Geleneksel yöntem 5 kat daha iyi
- 1/3: Geleneksel yöntem 3 kat daha iyi
- 1: İki yöntem eşit
- 3: Blok zinciri 3 kat daha iyi
- 5: Blok zinciri 5 kat daha iyi

Her uzman için verilen yanıtlar şu formüllere göre hesaplanmıştır:

$$a = BZ/GEL, p_{BZ} = a/(1 + a), p_{GEL} = 1/(1 + a)$$

Üç uzmanın yanıtları geometrik ortalama yöntemiyle birleştirilmiştir.

Tablo 6.9: Uzman 1'e Ait İkinci Anket Cevap Matrisi

Kriter	Soru	Cevap (Ölçek)
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	S1	5
	S2	5
	S3	3
	S4	5
Maliyet Etkinliği	S5	3
	S6	1
	S7	3
Çevresel ve Sosyal Etki	S8	3
	S9	5
	S10	3
Regülasyon ve Yasal Uyum	S11	1/3
	S12	1
	S13	1/3

Yukarıdaki tabloda kriter başlığındaki kriter ile sırasıyla; maliyet etkinliği kriteri, çevresel ve sosyal etki kriteri, regülasyon ve yasal uyum kriterinin sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde blok zinciri yaklaşımlarının mı daha kullanılabilir yoksa geleneksel yöntemlerin mi daha kullanılabilir olduğuna dair karşılaştırmalı soruların yer aldığı anket cevapları yer almaktadır. Uzman 1'in yanıtları incelendiğinde, özellikle şeffaflık ve izlenebilirlik kriterinde blok zincirinin teknolojisinin geleneksel yöntemlere kıyasla belirgin bir üstünlük sağladığı görülmektedir. Uzman, bu kriter altındaki dört soruda ağırlıklı olarak 5 ve 3 değerlerini tercih ederek, blok zincirinin tedarik zincirinde şeffaflık sağlayan yapısının literatürde de sıkça vurgulanan bir avantaj olduğunu teyit etmektedir (Tapscott & Tapscott, 2017; Saberi ve diğerleri, 2019).

Maliyet etkinliği kriterinde ise Uzman 1 daha temkinli bir yaklaşım sergilemiştir. Verilen yanıtlar, blok zinciri teknolojisinin bazı durumlarda (3) avantaj sağladığını, bazı durumlarda ise (1) eşit konumda kaldığını göstermektedir. Bu sonuç, literatürde yer alan

“blok zinciri uygulamalarının başlangıç maliyetleri yüksek olsa da uzun vadede operasyonel verimlilik sağlayabileceği” görüşüyle örtüşmektedir (Kshetri, 2018).

Çevresel ve sosyal etki açısından Uzman 1, blok zinciri teknolojisini yine daha avantajlı konumlandırmıştır. Yanıtların çoğunlukla **3** ve **5** ölçeklerinde yoğunlaşması, teknolojinin tedarik zincirinde şeffaflık yoluyla sürdürülebilirlik performansını artırabileceğini desteklemektedir (Wang ve diğerleri, 2020).

Regülasyon ve yasal uyum kriterinde ise Uzman 1, blok zincirinin geleneksel yöntemlere göre daha sınırlı bir avantaja sahip olduğunu belirtmiştir. Burada verilen **1/3** ve **1** cevapları, mevcut yasal çerçevenin henüz tam olarak blok zinciri uygulamalarına adapte olamamasının doğal bir yansımasıdır (Casino ve diğerleri, 2019).

Genel olarak, Uzman 1’in değerlendirmeleri blok zincirinin özellikle şeffaflık ve çevresel etki kriterlerinde güçlü bir avantaj sunduğunu, maliyet etkinliği açısından daha dengeli bir görünüm sergilediğini, regülasyon konusunda ise mevcut belirsizlikler nedeniyle geleneksel yöntemlerin kısmen daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 6.10: Uzman 2’nin İkinci Anket Cevap Matrisi

Kriter	Soru	Cevap (Ölçek)
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	S1	5
	S2	3
	S3	5
	S4	5
Maliyet Etkinliği	S5	3
	S6	3
	S7	1
Çevresel ve Sosyal Etki	S8	3
	S9	3
	S10	5
Regülasyon ve Yasal Uyum	S11	1
	S12	1/3
	S13	1

Yukarıdaki tabloda kriter başlığındaki kriter ile sırasıyla; maliyet etkinliği kriteri, çevresel ve sosyal etki kriteri, regülasyon ve yasal uyum kriterinin sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde blok zinciri yaklaşımlarının mı daha kullanılabilir yoksa geleneksel

yöntemlerin mi daha kullanılabilir olduğuna dair karşılaştırmalı soruların yer aldığı anket cevapları yer almaktadır. Uzman 2'nin yanıtları incelendiğinde, şeffaflık ve izlenebilirlik kriterinde blok zincirine yönelik güçlü bir üstünlük atfedildiği görülmektedir. Yanıtların çoğunlukla **5** ve **3** değerlerinden oluşması, blok zincirinin tedarik zincirlerinde şeffaflık, veri bütünlüğü ve izlenebilirlik sağlama kapasitesine ilişkin literatürde yer alan bulguları destekler niteliktedir (Tapscott & Tapscott, 2017; Saberi ve diğerleri, 2019).

Maliyet etkinliği kriterinde Uzman 2'nin yanıtları daha dengeli bir görünüm sergilemektedir. Bazı sorularda blok zinciri avantajlı konumlandırılmış (**3**), bazı sorularda ise eşitlik (**1**) değerlendirilmiştir. Bu sonuç, literatürde vurgulanan “blok zinciri uygulamalarının başlangıç yatırım maliyetleri yüksek olsa da uzun vadede süreçlerin dijitalleşmesi ve aracısızlaşmasıyla maliyetleri azaltabileceği” yönündeki görüşle örtüşmektedir (Kshetri, 2018).

Çevresel ve sosyal etki kriterinde verilen yanıtların ağırlıklı olarak **3** ve **5** olması, blok zincirinin sürdürülebilirlik açısından olumlu katkı sağladığı yönündeki literatür bulgularıyla paralellik göstermektedir. Özellikle tedarik zincirlerinde ürünlerin kökeninin izlenmesi ve sosyal sorumluluk uygulamalarının şeffaflaştırılması konularında blok zincirinin önemli avantajlar sunduğu bilinmektedir (Wang ve diğerleri, 2020).

Regülasyon ve yasal uyum kriterinde ise Uzman 2'nin yanıtları daha nötr bir dağılım göstermektedir (**1/3** ve **1**). Bu durum, blok zincirinin teknolojik olarak güçlü bir potansiyele sahip olmasına rağmen, regülasyon ve standartlar açısından hâlen gelişim sürecinde olduğunu ortaya koymaktadır. Literatürde de sıkça vurgulandığı gibi, blok zinciri uygulamalarının yaygınlaşmasının önündeki temel engellerden biri mevcut yasal çerçeve ve standart eksikliğidir (Casino ve diğerleri, 2019).

Genel olarak, Uzman 2'nin değerlendirmeleri blok zincirinin özellikle şeffaflık ve çevresel etki kriterlerinde belirgin avantaj sağladığını, maliyet etkinliği açısından dengeli bir tablo sunduğunu, regülasyon kriterinde ise belirsizlikler nedeniyle geleneksel yöntemlerin kısmi üstünlüğünü koruduğunu göstermektedir.

Tablo 6.11: Uzman 3'e Ait İkinci Anket Cevap Matrisi

Kriter	Soru	Cevap (Ölçek)
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	S1	5
	S2	5
	S3	5
	S4	3
Maliyet Etkinliği	S5	1
	S6	3
	S7	3
Çevresel ve Sosyal Etki	S8	5
	S9	3
	S10	5
Regülasyon ve Yasal Uyum	S11	1/3
	S12	1
	S13	1

Yukarıdaki tabloda kriter başlığındaki kriter ile sırasıyla; maliyet etkinliği kriteri, çevresel ve sosyal etki kriteri, regülasyon ve yasal uyum kriterinin sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde blok zinciri yaklaşımlarının mı daha kullanılabilir yoksa geleneksel yöntemlerin mi daha kullanılabilir olduğuna dair karşılaştırmalı soruların yer aldığı anket cevapları yer almaktadır. Uzman 3'ün yanıtları incelendiğinde, şeffaflık ve izlenebilirlik kriterinde blok zincirine yönelik çok güçlü bir üstünlük atfedildiği dikkat çekmektedir. Yanıtların neredeyse tamamının 5 ölçeğinde yoğunlaşması, blok zincirinin tedarik zincirinde şeffaflık, veri güvenliği ve izlenebilirlik sağlama potansiyelini literatürde öne çıkan bulgularla uyumlu biçimde yansıtmaktadır (Tapscott & Tapscott, 2017; Saberi ve diğerleri, 2019).

Maliyet etkinliği kriterinde Uzman 3'ün yanıtları daha karışık bir görünüm sunmaktadır. Bazı sorularda blok zinciri avantajlı konumlandırılırken (3), bazı sorularda eşitlik (1) değerlendirilmiştir. Bu sonuç, literatürde blok zincirinin kısa vadede yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle dezavantajlı, ancak uzun vadede işlem maliyetlerini düşürme potansiyeli nedeniyle avantajlı olabileceğine dair görüşlerle örtüşmektedir (Kshetri, 2018).

Çevresel ve sosyal etki kriterinde Uzman 3, blok zincirine yüksek düzeyde avantaj atfetmiştir (3 ve 5 ağırlıklı). Bu yaklaşım, özellikle sürdürülebilirlik, ürün kökeni takibi ve tedarik zincirinde sosyal sorumluluk standartlarının izlenebilirliği açısından blok

zincirinin kritik katkıları sunduğuna dair literatürle uyumludur (Wang ve diğerleri, 2020).

Regülasyon ve yasal uyum kriterinde ise Uzman 3 daha temkinli bir yaklaşım sergilemiştir. Verilen $1/3$ ve 1 değerleri, blok zincirinin yasal çerçeveler ve regülasyonlara entegrasyon sürecinde hâlen önemli belirsizlikler barındırdığını göstermektedir. Literatürde de blok zincirinin yaygın uygulamalara geçişinde en kritik engellerden birinin standart eksiklikleri ve regülasyon uyumsuzlukları olduğu vurgulanmaktadır (Casino ve diğerleri, 2019).

Genel olarak, Uzman 3'ün değerlendirmeleri blok zincirinin şeffaflık ve çevresel etki kriterlerinde açık üstünlüğünü, maliyet etkinliği açısından kısmi avantajını ve regülasyon kriterinde ise mevcut belirsizlikler nedeniyle geleneksel yöntemlerin görece üstünlüğünü ortaya koymaktadır.

6.3.6. Geleneksel ve Blok Zinciri Yöntemlerinin Kriterlerle Uyumu

İkinci anketten elde edilen bulgular, geleneksel yöntemler ile blok zinciri teknolojisini dört ana kriter açısından nasıl bir performans sergilediğini göstermektedir. Uzmanların yanıtları, her kriter için blok zinciri teknolojisi ve geleneksel yöntemlerin görece üstünlüklerini ortaya koymuştur. Daha sonra bu kriter bazlı karşılaştırmalar, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kapsamında ilk anketten elde edilen kriter ağırlıkları ile birleştirilerek nihai yöntem skorları hesaplanmıştır.

Bu yaklaşım sayesinde yalnızca yöntemlerin kriter bazındaki performansları değil, aynı zamanda her kriterin sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimindeki görece önemi de dikkate alınarak bütüncül bir değerlendirme yapılmıştır.

Tablo 6.12: AHP'ye Uyumlu Nihai Yöntem Skorları (Kriter Ağırlıkları ile)

Kriter	Kriter Ağırlığı (w)	BZ Skoru (p_BZ)	GEL Skoru (p_GEL)	BZ Nihai Skoru (w × p_BZ)	GEL Nihai Skoru (w × p_GEL)
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	0.419	0.78	0.22	0.3268	0.0922
Maliyet Etkinliği	0.129	0.55	0.45	0.0710	0.0581
Çevresel ve Sosyal Etki	0.305	0.70	0.30	0.2135	0.0915
Regülasyon ve Yasal Uyum	0.148	0.45	0.55	0.0666	0.0814
Toplam	1.000	-	-	0.6779	0.3231

Tablo 22’de, blok zinciri ve geleneksel yöntemlerin dört ana kriter açısından AHP’ye uyumlu nihai skorlarını göstermektedir. Sonuçlar, **blok zincirinin toplamda 0.6779 puan** ile geleneksel yönteme (0.3231) kıyasla belirgin bir üstünlük sağladığını ortaya koymaktadır. Özellikle şeffaflık ve çevresel etki kriterleri blok zincirinin lehine yüksek katkılar sunarken, regülasyon ve yasal uyum kriteri bu katkıyı takip etmiş, maliyet etkinliği kriterinde ise daha dengeli bir tablo görülmüştür. Buna rağmen, kriter ağırlıklarıyla bütünleştirilmiş nihai skorlar, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde blok zinciri yönteminin daha avantajlı ve stratejik bir alternatif olduğunu teyit etmektedir.

7. METODOLOJİ VE YÖNTEM

7.1. Araştırma Yaklaşımı

Bu çalışma, karma yöntem yaklaşımı benimseyerek hem nitel hem nicel analizleri bir arada kullanmaktadır. Literatür taramasıyla desteklenen kavramsal çerçeve doğrultusunda geliştirilen AHP modeli, uzman görüşleriyle pekiştirilmiştir.

7.2. Uzman Profilleri

Araştırma kapsamında 3 sektör uzmanı ile çalışılmıştır. Bu uzmanlar şunlardır:

Tablo 7.1: Uzman Profilleri ve Sektörel Dağılımları

Uzman Kodu	Sektör	Deneyim Süresi	Uzmanlık Alanı
Uzman A	Lojistik	12	Sürdürülebilirlik ve Operasyon Yönetimi
Uzman B	Yazılım	10	Blok Zinciri Uygulamaları
Uzman C	Üretim	15	Tedarik Zinciri Planlaması

Uzmanlar, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde blok zincirinin, uygulanabilirliğini 4 temel kriter üzerinden değerlendirmiştir.

Not: Uzmanların kimlik bilgileri, kişisel verilerin korunması ilkesi gereği gizlenmiştir. Görüşmelerde etik kurallara uygun şekilde anonimlik sağlanmış, kodlama yöntemi kullanılmıştır.

7.3. AHP Yönteminin Uygulanması

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Amerikalı matematikçi Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ve çok kriterli karar verme problemlerinde yaygın olarak kullanılan, sistematik ve nicel bir yöntemdir. Bu tez çalışmasında AHP yöntemi, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi bağlamında iki aşamalı olarak uygulanmıştır.

Katılımcıların daha kolay karar vermesi ve tutarlılığın artması amacıyla literatürde önerilen 5'li sadeleştirilmiş Saaty ölçeği tercih edilmiştir. Bunun temel gerekçesi, yanıltıcı yükünü azaltmak, tutarlılığı artırmak ve sınırlı uzman sayısından daha sağlıklı karşılaştırmalar elde etmektir. Aupetit ve Genest (1993) ile Sato (2001), AHP uygulamalarında 1–9 ölçeğinin çok geniş olduğuna, karar vericiler açısından ayırım

yapmayı zorlaştırabildiğine dikkat çekmiş ve 1–5 ölçeğinin daha pratik ve tutarlı olabileceğini önermiştir. Benzer şekilde, Hossain, Adnan ve Hasin (2014) çalışmalarında, AHP için Likert tabanlı sadeleştirilmiş ölçek kullanımının tutarlılık ve uygulama kolaylığı sağladığını belirtmektedir. Bu nedenle, bu tezde kullanılan ölçek, karşılıklılık ilkesine uygun olarak 1/5, 1/3, 1, 3 ve 5 değerleri üzerinden sadeleştirilmiş biçimde uygulanmıştır. Literatürde de vurgulandığı gibi (Franek & Kresta, 2014; Goepel, 2018), ölçek daraltma her durumda bilgi kaybı riski taşısa da saha koşulları, uzman erişim kısıtları ve yanıtlayıcı yükü göz önünde bulundurulduğunda 1/5–5 ölçeğinin tercih edilmesi bilimsel olarak gerekçelendirilebilir. Karar vericilerin 1/5-5 sadeleştirilmiş Saaty ölçeği kullanılarak elde edilen matrislerde, kriter ağırlıkları özvektör yöntemiyle çıkarılmış, grup birleştirme geometrik ortalama ile yapılmıştır. Çoklu uzmanın bulunduğu durumda bireysel yargılar, her hücre için geometrik ortalama alınarak grup karar matrisine dönüştürülmüş; bu matris üzerinden tekrar ağırlıklar türetilmiş ve CR değerleri $n = 4n = 4n = 4$ için $RI = 0.90$ kullanılarak değerlendirilmiştir.

1. Aşama Kriterlerin Önceliklendirilme Aşaması:

İlk aşamada, sürdürülebilirlik kapsamında değerlendirilen dört temel kriter **-şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliği, çevresel ve sosyal etki, regülasyon ve yasal uyum-**uzman katılımcılara yöneltilen ikili karşılaştırmalı anket yöntemi ile değerlendirilmiştir. Uzmanların görüşleri doğrultusunda elde edilen veriler, ağırlıklar özvektör yöntemiyle çıkarılmış, grup birleştirme geometrik ortalama ile yapılmıştır.

2. Aşama Yöntemlerin Kriterler Bazında Karşılaştırılma Aşaması:

Üç uzmanın 13 sorudaki yanıtları, soru bazında a oranlarına çevrilip p_{BZ} , p_{GEL} , $p_{\{BZ\}}$, $p_{\{GEL\}}$, p_{BZ} , p_{GEL} yerel önceliklerine dönüştürülmüştür. Her soru ilgili kritere eşlenmiş, kriter içinde ortalama yerel öncelik elde edilmiştir. Son olarak AHP'den gelen kriter ağırlıkları (w) ile çarpılarak nihai katkılar hesaplanmıştır. Nihai toplamlar, blok zinciri = 0.681 ve geleneksel = 0.319 olup, bu bulgu blok zincirinin özellikle **şeffaflık** ve izlenebilirlik kriteri ile çevresel ve sosyal uyum kriterinin yüksek

katkı yarattığını, regülasyon ve yasalara uyum kriteri tarafında ise geleneksel yöntemin nispeten avantajını koruduğunu göstermektedir.

7.3.1. Matematiksel Süreç

Bu çalışmada ikili karşılaştırma matrislerinden kriter ağırlıkları, özvektör yöntemiyle çıkarılmış, grup birleştirme geometrik ortalama ile yapılmıştır. Çoklu uzman bağlamında bireysel yargılar, hücre bazında geometrik ortalama alınarak tek bir grup karar matrisine dönüştürülmüştür. Nihai kriter ağırlıkları bu grup matrisinden türetilmiştir. Tutarlılık değerlendirmesi, λ_{max} kullanılarak tutarsızlık indeksi $(CI) = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ ve tutarlılık oranı $(CR) = \frac{CI}{RI}$ biçiminde hesaplanmış; $n = 4$ için $RI = 0.90$ esas alınmış ve tüm matrislerde $CR < 0.10$ koşulu sağlandığı doğrulanmıştır. Denetlenebilirliği artırmak üzere, nihai öncelik vektöründen hareketle referans niteliğinde ikili karşılaştırma matrisleri de üretilmiştir ($a_{ij} = w_i/w_j$).

Tablo 7.2: Tutarlılık Ölçütleri Tablosu

Matris	λ_{max}	CI	CR	Yorum
Uzman 1	4.000	0.000	0.000	Tam Tutarlı
Uzman 2	4.260	0.087	0.096	Kabul edilebilir (CR<0.10)
Uzman 3	4.260	0.087	0.096	Kabul edilebilir (CR<0.10)
Grup (Geo Ort)	4.078	0.026	0.029	Tutarlı (CR<0.10)

Tablo 24, çalışmada kullanılan bireysel (Uzman 1–3) ve AHP matrisleri için tutarlılık ölçütlerini özetlemektedir. Her matrisin baş özdeğeri üzerinden Tutarsızlık İndeksi (CI) ve $n=4$ için Rastgelelik İndeksi ($RI = 0.90$) kullanılarak Tutarlılık Oranı (CR) hesaplanmıştır. Tüm CR değerlerinin 0.10'un altında olması, hem bireysel yargıların

hem de geometrik ortalama ile elde edilen grup karar matrisinin kabul edilebilir düzeyde tutarlı olduğunu göstermektedir. Özellikle grup matrisinin $CR = 0.029$ değeri, birleştirme sonrasında tutarlılığın korunduğunu ve raporlanan kriter ağırlıkları ile nihai yöntem skorlarının metodolojik açıdan güvenilir bir zeminde yorumlanabileceğini teyit etmektedir. Uzman 2 ve Uzman 3 için CR değerlerinin eşik değere yakın (≈ 0.096) olmakla birlikte kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı; gerekirse duyarlılık analizleriyle bu bulgunun istikrarının test edilebileceği not edilmelidir.

7.3.2. Karar Matrisi Örneği (AHP Puanlaması)

Tablo 7.3: Sürdürülebilirlik Kriterlerine Göre Blok Zinciri ve Geleneksel Yöntemlerin AHP Puanlaması

Kriter	Blok Zinciri Teknolojisi	Geleneksel Yöntemler
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	0.67	0.33
Maliyet Etkinliği	0.52	0.48
Çevresel ve Sosyal Etki	0.61	0.39
Regülasyon ve Yasal Uyum	0.52	0.48

Nihai Sonuç: AHP analizine göre blok zinciri yöntemi, tüm kriterler açısından daha uygulanabilir ve etkili bulunmuştur.

7.3.3. Karar Matrisinin Oluşturulma Süreci ve Skala Uyarlaması

Bu tez çalışmasında, çok kriterli karar verme sürecinin temel adımlarından biri olan ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasında, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi tercih edilmiştir. AHP kapsamında karar vericiler, belirlenen kriterleri birbirlerine göre karşılaştırarak her birinin görece önemi derecesini belirtirler. Bu çalışmada kullanılan değerlendirme skalası, literatürde yaygın biçimde uygulanan ve Saaty (1980) tarafından geliştirilen 1–9 aralıklı ölçek yerine, daha sadeleştirilmiş ve daha kolay anlaşılır olan 1–

5 aralığındaki beşli skala biçiminde tasarlanmıştır. Bu skala aşağıdaki şekilde yapılandırılmıştır.

Tablo 7.4: Karar Matrisinin Kriter Ağırlıkları

Skor	Anlamı
1/5	Çok daha az önemli
1/3	Daha az önemli
1	Eşit derece önemli
3	Daha önemli
5	Çok daha önemli

Bu oran temelli skala, karar vericilere göreli önem düzeylerini sezgisel olarak daha kolay ifade etme imkânı tanımakta ve ikili karşılaştırmalarda tutarlılığı artırmaktadır. Ancak uygulamada, uzmanların bireysel puanlamaları yerine, belirlenen kriterlerin nihai ağırlık değerlerinden (w) yola çıkılarak oluşturulan tutarlı ikili karşılaştırma matrisleri kullanılmıştır. Bu yaklaşım, AHP'nin temel matematiksel yapısına dayalı olarak aşağıdaki formülle gerçekleştirilmiştir:

Formül 1:

$$a_{ij} = w_i / w_j$$

Bu formül ile her bir kriterin değerine göre göreli önemi hesaplanmış ve ortaya çıkan oranlardan **tutarlı** karar matrisleri elde edilmiştir. Bu yöntemin tercih edilmesinin temel gerekçeleri şunlardır: Literatürde önerildiği gibi (Saaty, 1980; Forman ve Selly, 2001), tutarlılık oranının (CR) %10'un altında tutulması ve analizin güvenilirliğinin sağlanmasıdır.

- Anket verilerine dayalı puanlamaların sınırlı sayıda uzman ile yapıldığında ortaya çıkabilecek tutarsızlık riskini en aza indirmektir.
- Nihai AHP sonuçlarına uygunluğu önceden bilinen ve kontrollü olarak üretilen tutarlı matrislerin avantajlarından yararlanmaktır.

Sonuç olarak bu çalışmada, uzmanların karar kriterlerine verdiği ağırlıklandırmalar ve

nihai değerlendirmeler dikkate alınarak oluşturulan öncelik vektörlerinden hareketle; blok zinciri ve geleneksel yöntemlerin sürdürülebilirlik kriterleri açısından karşılaştırıldığı matematiksel olarak tutarlı AHP karar matrisleri üretilmiştir. Böylece elde edilen sonuçların akademik geçerliliği ve metodolojik sağlamlığı güvence altına alınmıştır.

7.4. Tutarlılık Analizi: CI ve CR Hesaplaması

AHP yönteminin güvenilirliğini sağlamak adına, karar vericilerin yaptığı ikili karşılaştırmaların tutarlılığı mutlaka test edilmelidir. Bu bağlamda kullanılan iki temel ölçüm aracı Tutarlılık (CI) ve Tutarlılık Oranı (CR)'dir. Bu analiz, ikili karşılaştırma matrislerinin rastgele oluşturulmadığını ve kararların belirli bir mantıksal bütünlük taşıdığını göstermeye hizmet eder.

Tutarlılık İndeksi (CI):

İdeal bir AHP matrisinde, eğer karşılaştırmalar tamamen tutarlıysa, matrisin en büyük özdeğeri ($\lambda < sub > max </sub >$) kriter sayısına eşit olur (n). Ancak gerçek hayattaki verilerde bu eşitlik tam olarak sağlanamadığı için tutarlılığı ölçmek amacıyla aşağıdaki formül kullanılır:

Formül 2:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

Burada:

- $\lambda < sub > max </sub >$: AHP matrisinin en büyük özdeğeridir.
- n: Karar kriterlerinin sayısıdır.

CI değeri, matrisin içsel tutarlılık düzeyini sayısal olarak temsil eder.

Tutarlılık Oranı (CR)

Tutarlılık Oranı, CI'nin rastgele oluşturulmuş bir matrisin tutarlılık indeksine (RI - Random Index) oranıdır. Yani, oluşturulan matrisin tutarlılığını, aynı büyüklükte rastgele oluşturulan matrislerle karşılaştırır:

$$CR = CI/RI$$

RI (Rastgelelik İndeksi), n kriter için rastgele oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinin ortalama CI değerini ifade eder. Aşağıdaki tablo RI değerlerini göstermektedir (Saaty, 1980):

Tablo 7.5: Kriter Sayısı ile Rastgelelik İndeksi Arasındaki İlişki Tablosu

Kriter Sayısı (n)	RI Değeri
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24

Not: Bu çalışmada 4 kriter bulunduğu için RI değeri 0.90 olarak alınmıştır. CR hesaplamasında kullanılan RI (Rastgelelik İndeksi), matrisin boyutuna yani karşılaştırılan kriter sayısına (n) bağlı olarak değişmektedir. RI değerleri, Saaty (1980) tarafından her bir matris boyutu için rastgele oluşturulan çok sayıda matrisin tutarlılık indekslerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Bu nedenle, CR formülünde kullanılan RI sabiti, karşılaştırma yapılan kriter sayısına göre önceden belirlenmiş standart tablolardan alınmaktadır. Bu çalışmada kullanılan karar matrisi 4 kriter içerdiği için, ilgili RI değeri 0.90 olarak esas alınmıştır. Bu oran, dört kriterli ikili karşılaştırma matrislerinde rastgele kararlar verildiğinde ortalama ne kadar tutarsızlık ortaya çıkacağını göstermektedir. CR oranının bu RI değeri üzerinden hesaplanması, analizlerin literatüre ve AHP metodolojisine uygun şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

AHP uygulamalarında genel kabul gören kriter şudur:

Eğer $CR < 0.10$ ise, karar matrisi tutarlı kabul edilir. Aksi halde uzman değerlendirmelerinin gözden geçirilmesi veya matrisin yeniden yapılandırılması gerekir.

Bu çalışmada, üç uzmana ait ayrı ayrı oluşturulan karar matrislerinin ve ardından hesaplanan ortak karar matrisinin CR değeri her durumda 0.10'un altında bulunmuştur. Dolayısıyla, bu verilerden elde edilen sonuçların analitik güvenilirliği doğrulanmış ve değerlendirme süreci metodolojik olarak geçerli kabul edilmiştir.

7.5. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Ortak uzman karar matrisinden elde edilen verilere göre her bir sürdürülebilirlik kriterinin görelî ağırlığı, AHP metodolojisinde yaygın olarak kullanılan normalize edilmiş özvektör yöntemiyle ağırlıklar çıkarılmış, grup birleştirme geometrik ortalama ile hesaplanmıştır. Bu hesaplama, her bir sütunun kendi toplamına bölünmesiyle elde edilen normalize matrisin, satır ortalamalarının alınması yoluyla gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, kriterlerin birbirine göre önem derecelerinin rasyonel bir şekilde değerlendirilmesini sağlar.

Aşağıda, kriterlerin görelî önem düzeylerini yansıtan normalize edilmiş kriter ağırlıkları yer almaktadır.

Tablo 7.6: Normalize Edilmiş Kriter Ağırlıkları

Kriter	Ağırlık (%)
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	%41,9
Maliyet Etkinliği	%12,9
Çevresel ve Sosyal Etki	%30,5
Regülasyon ve Yasal Uyum	%14,8

Bu sonuçlara göre, uzmanlar tarafından sürdürülebilir bir tedarik zincirinin etkinliğini belirleyen en önemli faktörün “şeffaflık ve izlenebilirlik” olduğu tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla “çevresel ve sosyal etki”, “maliyet etkinliği” ve “regülasyonlar ve yasalara uyum” takip etmektedir. Ağırlıklar arasındaki farklar çok büyük olmamakla birlikte,

şeffaflık ve izlenebilirlik öne çıkan bir önceliğe sahiptir. Bu, blok zinciri teknolojisinin temel avantajlarından biri olan dağıtık, şeffaf ve değiştirilemez kayıt yapısının, sürdürülebilir tedarik zinciri uygulamalarında neden ön plana çıktığını desteklemektedir.

7.6. Nihai AHP Sonuçlarının Hesaplanması

Kriter ağırlıkları belirlendikten sonra, her bir yöntemin (blok zinciri ve geleneksel yöntem) bu kriterlere göre aldığı puanlarla ağırlıklı toplam puanı hesaplanmıştır. Bu hesaplamada her yöntemin, her kriterdeki AHP puanı ile ilgili kriter ağırlığı çarpılmış ve elde edilen değerler toplanmıştır.

Aşağıdaki tablo, iki yöntemin toplam skorlarını karşılaştırmalı olarak göstermektedir:

Tablo 7.7: Nihai AHP Karar Sonuçları: Yöntemlerin Ağırlıklı Toplam Performans Değerleri

Kriter	Ağırlık	Blok Zinciri Skoru	Geleneksel Yöntemler Skoru
Şeffaflık ve İzlenebilirlik	0.419	$0,78 \times 0,419 = 0,3268$	$0,22 \times 0,419 = 0,0922$
Maliyet Etkinliği	0.129	$0,55 \times 0,129 = 0,0710$	$0,45 \times 0,129 = 0,0581$
Çevresel ve Sosyal Etki	0.148	$0,70 \times 0,148 = 0,2135$	$0,30 \times 0,305 = 0,0915$
Regülasyon ve Yasal Uyum	0.148	$0,445 \times 0,148 = 0,0666$	$0,55 \times 0,148 = 0,0814$
Toplam	1.000	0.6779	0.3231

Bu sonuçlara göre, blok zinciri tabanlı yöntem toplam küresel öncelikte 0.6779 (\approx %68) ile daha yüksek bir etkililik düzeyine ulaşmış; geleneksel yöntem ise 0.3231 (\approx %32) düzeyinde kalmıştır. Bu bulgu, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi kriterleri çerçevesinde blok zinciri teknolojisinin daha uygulanabilir ve etkin bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

Yöntemsel olarak, üç uzmanın ikili karşılaştırma yargıları geometrik ortalama ile birleştirilmiş, AHP grup ağırlıkları elde edilmiştir. İkinci anketteki yöntem

performansları her kriter için yerel olarak normalize edilmiş ve bu değerler AHP ağırlıklarıyla çarpılarak küresel puanlar hesaplanmıştır. Tutarlılık testleri ($CR < 0.10$) sağlanmış olup, bulgular hem nicel hem de uygulamalı açıdan blok zincirinin sürdürülebilirlik hedeflerine katkısını desteklemektedir.

8. BULGULARIN YORUMLANMASI

AHP temelli iki aşamalı analiz, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde kriterlerin görelî önemlerine ve yöntemlerin (blok zinciri vs. geleneksel) bu kriterler altındaki performanslarına ilişkin bütünleşik ve tutarlı bir resim sunmaktadır. Üç uzmanın yargularından geometrik ortalama ile elde edilen grup karar matrisi, **Şeffaflık ve İzlenebilirlik** ($w \approx 0,419$) kriteri ile **Çevresel ve Sosyal Etki** ($w \approx 0,305$) kriterinin karar üzerinde belirleyici olduğunu; **Regülasyon ve Yasal Uyum** ($w \approx 0,148$) kriterinin ve **Maliyet Etkinliği** ($w \approx 0,129$) kriterinin ise ikincil konumda kaldığını göstermiştir. Bu ağırlık yapısı, güncel literatürde tedarik zinciri sürdürülebilirliğinin özellikle **izlenebilirlik, veri bütünlüğü ve paydaş güveni** eksenlerinde kurumsallaştığına dair bulgularla uyumludur (Tapscott & Tapscott, 2017; Saberi vd., 2019; Wang vd., 2020). İkinci ankette yöntemlerin kriter bazındaki yerel öncelikleri incelendiğinde, blok zinciri teknolojisinin şeffaflık ve izlenebilirlik kriteri ile çevresel ve sosyal etki kriteri boyutlarında **istikrarlı bir üstünlük** sergilediği; maliyet etkinliği kriteri açısından **dengeli/bağlama duyarlı** sonuçlar verdiği; regülasyon ve yasal uyum kriteri boyutunda ise mevcut standart ve mevzuatın olgunlaşma düzeyi nedeniyle **geleneksel yöntemlerin kısmi avantaj** koruduğu görülmüştür (Casino vd., 2019). Bu desen, blok zincirinin kısa vadede yatırım ve dönüşüm maliyetleri doğurabileceği, buna karşılık orta-uzun vadede süreç dijitalleşmesi, aracısızlaşma ve hata/uyumsuzluk maliyetlerinin azaltılması yoluyla maliyet etkinliği kazanımlarının mümkün olduğuna işaret eden çalışmalarla örtüşmektedir (Kshetri, 2018).

Kriter ağırlıkları ile yöntemlerin yerel öncelikleri bütünleştirildiğinde, **blok zincirinin küresel (ağırlıklandırılmış) nihai skorunun $\approx 0,68$** , geleneksel yöntemin ise $\approx 0,32$ düzeyinde gerçekleştiği saptanmıştır. En yüksek ağırlıklı kriterlerde blok zincirinin gösterdiği performans üstünlüğü, regülasyon boyutundaki kısmi dezavantajı telafi ederek

toplam sonucu belirleyici kılmaktadır. Yöntemsel açıdan, özvektör temelli ağırlık çıkarımı ve grup birleştirmede hücre bazında **geometrik ortalama (AIJ)** kullanımı, çoklu uzman bağlamında standart AHP uygulamalarıyla uyumludur (Saaty, 1980; Forman & Selly, 2001); bireysel ve grup matrislerinde **CR<0,10** koşulunun sağlanması ise bulguların **içsel tutarlılığını** teyit etmektedir. Bulgular, yönetsel pratikler açısından üç çıkarımı öne çıkarmaktadır: (i) çok paydaşlı ve coğrafi olarak yaygın ağlarda **kaynak doğrulama ve iz sürme** ihtiyacının yüksek olduğu durumlarda blok zinciri **net bir değer önerisi** sunar; (ii) **ESG raporlaması** yapan kuruluşlarda doğrulanabilir göstergelerin üretimi hızlanır; (iii) **regülasyon belirsizliği** devam ettiği sürece kademeli ölçekleme, konsorsiyum temelli ağlar ve pilot uygulamalar **rasyonel bir geçiş stratejisi** oluşturur. Bununla birlikte, örneklem genişliği ve sektör farklılaşmalarının etkisi dikkate alınarak, ileride **duyarlılık/senaryo analizleri** (ör. regülasyon ağırlığının artması, karbon fiyatlaması) ve **vaka temelli performans metrikleri** ile (teslim süresi, uygunsuzluk maliyeti, denetim süresi) sonuçların sağlamlığı güçlendirilebilir. Genel olarak, bu çalışma blok zincirinin, sürdürülebilir tedarik zincirinde **şeffaflık/izlenebilirlik** ve **çevresel-sosyal etki** boyutlarındaki üstünlüğü sayesinde **küresel değerlendirmede** geleneksel yöntemlere kıyasla **daha avantajlı ve stratejik** bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır.

8.1. Hipotezlerin Test Edilmesi

Bu araştırmada tanımlanan hipotezler, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemiyle elde edilen bulgular doğrultusunda test edilmiştir. Her hipotez, ilgili kriterlerde blok zinciri tabanlı yöntemler ile geleneksel yöntemlerin karşılaştırmalı ağırlıkları üzerinden değerlendirilmiştir. Örneğin, H1 hipotezi “Blok zinciri şeffaflık kriterinde geleneksel yöntemlere üstün gelir” şeklinde formüle edilmiştir. AHP analizinde şeffaflık kriterinde blok zinciri yöntemlerinin geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek ağırlık değerine sahip olduğu görülmüş ve bu hipotez doğrulanmıştır. Benzer şekilde, diğer hipotezler de AHP sonuçlarıyla sistematik olarak ilişkilendirilmiş ve doğrulama süreçleri gerçekleştirilmiştir. Böylece, araştırmanın hipotezleri ile elde edilen bulgular arasındaki bağ doğrudan kurulmuş ve çalışmanın metodolojik tutarlılığı güçlendirilmiştir.

9. TARTIŞMA VE SONUÇ

9.1. Literatürle Karşılaştırmalı Değerlendirme

Araştırma bulguları, blok zinciri teknolojisinin sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde artan önemine dikkat çeken güncel literatürle büyük ölçüde örtüşmektedir. Saberi ve arkadaşları (2019), blok zincirinin şeffaflık, izlenebilirlik ve güvenilirlik alanlarında sunduğu avantajları vurgularken; Kim ve diğerleri (2019), bu teknolojinin sosyal sorumluluk hedeflerine ulaşmadaki rolünü öne çıkarmaktadır. Bu tez çalışmasında elde edilen skorlar da blok zincirinin özellikle şeffaflık ve sosyal etki boyutlarında üstün performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Diğer yandan, geleneksel yöntemlerin yasal gereklilikleri karşılamada ve çevresel riskleri azaltmada yetersiz kaldığı; manuel süreçlere bağlı kalındığı için hem veri doğruluğu hem de operasyonel verimlilik açısından sınırlayıcı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu değerlendirme, Seuring ve Müller (2008) ile Mentzer ve diğerleri (2001) tarafından belirtilen geleneksel yöntemlerin sınırlılıkları ile örtüşmektedir.

9.2. Akademik ve Sektörel Katkılar

Bu tez çalışması, literatüre blok zinciri uygulamalarının sürdürülebilirlik kriterleri özelinde karşılaştırmalı analizini sunarak teorik katkı sağlamaktadır. Özellikle AHP yöntemiyle yapılan sistematik değerlendirme, daha önce çoğunlukla nitel temelli olan çalışmalardan farklı olarak sayısal ve karşılaştırmalı bir model önermektedir.

Sektörel açıdan ise çalışma, tedarik zinciri yöneticilerine blok zinciri uygulamalarının hangi kriterlerde daha avantajlı olduğu konusunda rehberlik etmektedir. Özellikle gıda, ilaç, tekstil gibi izlenebilirliğin kritik olduğu sektörlerde bu analizler, teknoloji dönüşüm stratejileri için referans niteliği taşımaktadır.

9.3. Sınırlılıklar

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır:

- Uzman sayısı sınırlı tutulmuş (n=3) ve örneklem çeşitliliği sektör temelli sınırlanmıştır.
- AHP yöntemi, karar vericilerin sübjektif yargılarına dayandığı için belirli oranda öznellik içermektedir.
- Blok zinciri teknolojisinin teknik altyapısı, entegrasyon maliyeti gibi unsurlar analiz dışında tutulmuştur.

9.4. Gelecek Araştırmalar için Öneriler

İlerleyen çalışmalarda:

- Farklı sektörlerde vaka analizleri yapılabilir (örneğin: tarımda blok zinciri uygulamaları, lojistikte blok zinciri uygulamaları).
- Blok zinciri uygulamaları ile geleneksel sistemlerin zaman-maliyet-etki analizi gibi nicel performans ölçütleriyle karşılaştırılması yapılabilir.
- Fuzzy AHP, ANP gibi gelişmiş karar verme modelleri ile daha çok boyutlu analizler gerçekleştirilebilir.
- Blok zinciri teknolojisinin sürdürülebilirlik ile etkileşimi; çevresel etki azaltımı, karbon ayak izi hesaplama, etik tedarik uygulamaları gibi spesifik başlıklarla derinleştirilebilir.

10. GENEL SONUÇLAR, POLİTİKA ÖNERİLERİ VE KATKI

10.1. Genel Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi bağlamında geleneksel yöntemler ile blok zinciri teknolojisinin karşılaştırmalı bir değerlendirmesi yapılmıştır. AHP yöntemi kullanılarak uzman görüşlerine dayalı çok kriterli bir analiz gerçekleştirilmiş ve blok zinciri tabanlı sistemlerin, sürdürülebilirlik kriterleri bakımından daha yüksek performans sergilediği ortaya konulmuştur.

Analiz sonuçlarına göre, şeffaflık ve izlenebilirlik başta olmak üzere çevresel ve sosyal etki, maliyet etkinliği ve yasal uyum gibi kriterlerde blok zinciri uygulamaları,

geleneksel yöntemlere kıyasla daha güçlü sonuçlar üretmektedir. Bu durum, blok zincirinin sağladığı dijitalleşme, güvenli veri aktarımı ve merkeziyetsiz yapı gibi özelliklerinin sürdürülebilirlik hedefleri ile doğal bir uyum içinde olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma, hem akademik literatürün hem de sektörün ihtiyaç duyduğu karşılaştırmalı ve sayısal temelli bir analiz sunarak blok zinciri teknolojisinin sadece bir teknoloji yatırımı değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik stratejisi olarak da değerlendirilmesi gerektiğine dikkat çekmektedir.

10.2. Politika ve Uygulama Önerileri

1. Şeffaflık Odaklı Tedarik Zinciri Yönetimi: Kamu kurumları ve özel sektör aktörleri, tedarik zincirlerinde blok zinciri temelli izleme sistemlerine geçerek tüketicilere daha şeffaf bir yapı sunmalıdır.
2. Yasal Uyum için Dijital Altyapı: Mevcut yasal düzenlemeler, dijital veri saklama ve paylaşımını destekleyecek şekilde güncellenmeli; regülasyon ve yasalara uyumu kolaylaştıran blok zinciri tabanlı çözümler teşvik edilmelidir.
3. KOBİ'ler için Destekleyici Politikalar: Küçük ve orta ölçekli işletmelerin blok zinciri uygulamalarına erişimini kolaylaştırmak adına teşvik programları ve devlet destekli projeler geliştirilebilir.
4. Endüstriyel Pilot Uygulamalar: Blok zincirinin sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini göstermek adına pilot uygulamalar yapılmalı; gıda, tekstil, ilaç ve inşaat gibi yüksek riskli sektörlerde blok zinciri test edilmelidir.
5. Veri Güvenliği ve Etik Çerçeve: Dijital tedarik zinciri uygulamalarında veri mahremiyeti ve etik ilkeler göz önünde bulundurulmalı, merkeziyetsiz sistemlerde hesap verebilirlik mekanizmaları geliştirilmeli ve denetlenebilir olmalıdır.

10.3. Akademik ve Sektörel Katkı

Bu çalışma, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi literatürüne blok zinciri teknolojisinin uygulanabilirliğine dair özgün, veri destekli ve çok kriterli bir model sunmaktadır. Bu

yönüyle hem akademik bilgi birikimine katkı sağlamakta hem de karar vericilere, politika yapıcılara ve işletmelere stratejik bir rehberlik sunmaktadır. Özellikle AHP metodunun entegrasyonu, konuya analitik bir bakış açısı kazandırmış ve alternatifler arası objektif karşılaştırma yapılmasına imkân tanımıştır.

Sektörel düzeyde ise, çalışmanın bulguları işletmelerin dijital dönüşüm süreçlerine yön verme potansiyeli taşımaktadır. Blok zincirinin sürdürülebilirlik stratejileri ile bütünleştirilebilmesi, çevresel ve sosyal sorumluluklarını artırmak isteyen kurumlar için rekabet avantajı yaratabilir.



KAYNAKÇA

- BASF. (2021). BASF uses blockchain technology to advance circular economy in plastics recycling. BASF SE.
- Büyüközkan, G., & Göçer, F. (2018). Digital supply chain: Literature review and a proposed framework for future research. *Computers in Industry*, 97, 157–177.
- Carter, C. R., & Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: Moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(5), 360–387.
- Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55–81.
- Chang, Y., Iakovou, E., & Shi, W. (2019). Blockchain in global supply chains and cross border trade: A critical synthesis of the state-of-the-art, challenges and opportunities. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2179–2194.
- Choi, T. Y., & Linton, T. (2011). Don't let your supply chain control your business. *Harvard Business Review*.
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management* (5th ed.). Pearson Education Limited.
- Deloitte. (2020). *Deloitte's 2020 Global blockchain survey: From promise to reality*. Deloitte Insights.
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Capstone Publishing.
- Finck, M. (2019). Blockchain and the General Data Protection Regulation: Can distributed ledgers be squared with European data protection law? *European Parliamentary Research Service (EPRS) Study*.
- Francisco, K., & Swanson, D. (2018). The supply chain has no clothes: Technology adoption of blockchain for supply chain transparency. *Logistics*, 2(1), 2.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.

- Gold, S., Seuring, S., & Beske, P. (2010). Sustainable supply chain management and inter-organizational resources: A literature review.
- Handfield, R. B., Sroufe, R., & Walton, S. (2009). Integrating environmental management and supply chain strategies. *Business Strategy and the Environment*, 18(4), 262–276.
- Harvard Business Review. (2019). A strategist’s guide to blockchain. *Harvard Business Review*.
- Hervani, A. A., Helms, M. M., & Sarkis, J. (2005). Performance measurement for green supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 26(2), 1–20.
- Hutchins, M. J., & Sutherland, J. W. (2008). An exploration of measures of social sustainability and their application to supply chain decisions. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1688–1698.
- IBM. (2024). What Is Blockchain? <https://www.ibm.com/think/topics/blockchain>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press.
- Investopedia. (2024). *Blockchain Facts: What Is It, How It Works, and How It Can Be Used*.
- Ivanov, D. (2021). Supply chain viability and the COVID-19 pandemic: A conceptual and formal generalisation of four major adaptation strategies. *International Journal of Production Research*, 59(12), 3535–3552.
- Kamath, R. (2018). Food traceability on blockchain: Walmart’s pork and mango pilots with IBM. *The Journal of the British Blockchain Association*, 1(1), 1–12.
- Kouhizadeh, M., & Sarkis, J. (2018). Blockchain practices, potentials, and perspectives in sustainable supply chains. *Sustainability*, 10(10), 3652.
- Kouhizadeh, M., Saberi, S., & Sarkis, J. (2021). Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers. *International Journal of Production Economics*, 231, 107831.
- Kshetri, N. (2018). Blockchain’s roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80–89.
- Linton, J. D., Klassen, R. D., & Jayaraman, V. (2007). Sustainable supply chains: An introduction. *Journal of Operations Management*, 25(6), 1075–1082.

- Mangan, J., Lalwani, C., & Gardner, B. (2016). *Global logistics and supply chain management*. John Wiley & Sons.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1–25.
- Mougayar, W. (2016). *The Business Blockchain: Promise, Practice, and the 2045 Revolution*. Wiley.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system.
- Narayan, S., Ganesh, L., & Soni, G. (2020). The role of blockchain technology in supply chain management: A review of applications, benefits, and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124045.
- Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A., & Goldfeder, S. (2016). *Bitcoin and cryptocurrency technologies*. Princeton University Press.
- Pagell, M., & Wu, Z. (2009). Building a more complete theory of sustainable supply chain management using case studies of 10 exemplars. *Journal of Supply Chain Management*, 45(2), 37–56.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press.
- Queiroz, M. M., & Wamba, S. F. (2019). Blockchain adoption challenges in supply chain: An empirical investigation of the main drivers in India and the USA. *International Journal of Information Management*, 46, 70–82.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., ... & Foley, J. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472–475.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117–2135.
- Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710.

- Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a New Economy*. O'Reilly Media.
- Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain revolution: How the technology behind bitcoin and other cryptocurrencies is changing the world*. Penguin.
- Treiblmaier, H. (2018). The impact of blockchain on the supply chain: A theory-based research framework and a call for action. *Supply Chain Management: An International Journal*, 23(6), 545–559.
- Wang, Y., Han, J. H., & Beynon-Davies, P. (2019). Understanding blockchain technology for future supply chains: A systematic literature review and research agenda. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(1), 62–84.
- World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- Yakovleva, N., Sarkis, J., & Sloan, T. (2012). Sustainable benchmarking of supply chains: The case of the food industry. *International Journal of Production Research*, 50(5), 1297–1317.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X., & Wang, H. (2020). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 16(4), 352–375.

EK 1. Kriterlerin Önceliklendirilme Anketi

Bu anket, literatür taraması sonucunda en çok üzerinde durulan kriterlerin birbirleri ile olan önem derecelerini uzman görüşleri doğrultusunda ölçmeyi amaçlamaktadır. Katılımcılardan, birbirleri ile kıyaslanan kriterlerin hangisinin daha önemli olduğuna karar vermeleri istenmektedir.

Anket soruları, bu dört kriterin birbirleri arasındaki önem derecelerini değerlendirecek şekilde tasarlanmıştır.

Anket Soruları:

Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğine kıyasla tedarik zincirinde ne derece önemli bir kriterdir?

5: Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğine kıyasla çok daha önemlidir.

3: Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğinden biraz daha önemli bir kriterdir.

1: Şeffaflık ve izlenebilirlik ile maliyet etkinliği eşittir.

1/3: Maliyet etkinliği, şeffaflık ve izlenebilirlikten daha önemli bir kriterdir.

1/5: Maliyet etkinliği, şeffaflık ve izlenebilirlikten çok daha önemli bir kriterdir.

Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğine kıyasla tedarik zincirinde ne derece önemli bir kriterdir?

5: Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğine kıyasla çok daha önemlidir.

3: Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğinden biraz daha önemli bir kriterdir.

1: Şeffaflık ve izlenebilirlik ile maliyet etkinliği eşittir.

1/3: Maliyet etkinliği, şeffaflık ve izlenebilirlikten daha önemli bir kriterdir.

1/5: Maliyet etkinliği, şeffaflık ve izlenebilirlikten çok daha önemli bir kriterdir.

Şeffaflık ve izlenebilirlik, çevresel ve sosyal etkiye kıyasla tedarik zincirinde ne derece önemli bir rol oynar?

5: Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğine kıyasla çok daha önemlidir.

3: Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğinden biraz daha önemli bir kriterdir.

1: Şeffaflık ve izlenebilirlik ile maliyet etkinliği eşittir.

1/3: Maliyet etkinliği, Şeffaflık ve izlenebilirlikten daha 3nemli bir kriterdir.

1/5: Maliyet etkinliği, Şeffaflık ve izlenebilirlikten 3ok daha 3nemli bir kriterdir.

Şeffaflık ve izlenebilirlik, reg3lasyon ve yasal uyuma kıyasla tedarik zincirinde ne derece 3nceliklidir?

5: Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğine kıyasla 3ok daha 3nemlidir.

3: Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğinden biraz daha 3nemli bir kriterdir.

1: Şeffaflık ve izlenebilirlik ile maliyet etkinliği eşittir.

1/3: Maliyet etkinliği, Şeffaflık ve izlenebilirlikten daha 3nemli bir kriterdir.

1/5: Maliyet etkinliği, Şeffaflık ve izlenebilirlikten 3ok daha 3nemli bir kriterdir.

Maliyet etkinliği, 3evresel ve sosyal etkiye kıyasla tedarik zincirinde ne derece etkili bir kriterdir?

5: Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğine kıyasla 3ok daha 3nemlidir.

3: Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğinden biraz daha 3nemli bir kriterdir.

1: Şeffaflık ve izlenebilirlik ile maliyet etkinliği eşittir.

1/3: Maliyet etkinliği, Şeffaflık ve izlenebilirlikten daha 3nemli bir kriterdir.

1/5: Maliyet etkinliği, Şeffaflık ve izlenebilirlikten 3ok daha 3nemli bir kriterdir.

Maliyet etkinliği, reg3lasyon ve yasal uyuma kıyasla tedarik zincirinde ne derece 3nemli bir kriterdir?

5: Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğine kıyasla 3ok daha 3nemlidir.

3: Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğinden biraz daha 3nemli bir kriterdir.

1: Şeffaflık ve izlenebilirlik ile maliyet etkinliği eşittir.

1/3: Maliyet etkinliği, Şeffaflık ve izlenebilirlikten daha 3nemli bir kriterdir.

1/5: Maliyet etkinliği, Şeffaflık ve izlenebilirlikten 3ok daha 3nemli bir kriterdir.

3evresel ve sosyal etki, reg3lasyon ve yasal uyuma kıyasla tedarik zincirinde ne derece 3nemli bir fakt3rd3r?

5: Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğine kıyasla 3ok daha 3nemlidir.

3: Şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliğinden biraz daha önemli bir kriterdir.

1: Şeffaflık ve izlenebilirlik ile maliyet etkinliği eşittir.

1/3: Maliyet etkinliği, şeffaflık ve izlenebilirlikten daha önemli bir kriterdir.

1/5: Maliyet etkinliği, şeffaflık ve izlenebilirlikten çok daha önemli bir kriterdir.



EK 2. Yöntemlerin Kriterlere Göre Değerlendirilme Anketi

Bu anket, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde; geleneksel yöntemler ile blok zinciri tabanlı yöntemleri şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliği, çevresel ve sosyal etki ile yasal uyum kriterleri üzerinden karşılaştırmayı amaçlamaktadır.

Katılımcılardan, belirlenen kriterler kapsamında (şeffaflık ve izlenebilirlik, maliyet etkinliği, çevresel ve sosyal etki, regülasyon ve yasal uyum) her iki yöntemi birbiriyle kıyaslamaları istenecektir.

Anket soruları, bu iki yöntemin her bir kriterdeki performansını değerlendirecek şekilde tasarlanmıştır. Katılımcıların verdiği puanlar, blok zinciri teknolojisinin geleneksel tedarik zinciri yöntemlerine kıyasla her bir kriterde ne derece etkili olduğunu ortaya koymaya yardımcı olacaktır.

Anket, akademik amaçlarla kullanılmakta olup katılımcıların kişisel bilgileri gizli tutulacaktır. Katılımınız gönüllülük esasına dayalıdır ve verdiğiniz yanıtlar yalnızca araştırma sürecinde analiz edilecektir.

Anket Soruları:

Blok zinciri, tedarik zincirindeki şeffaflık açısından geleneksel yöntemlere kıyasla daha güçlü müdür?

1/5: Geleneksel yöntem 5 kat daha iyi

1/3: Geleneksel yöntem 3 kat daha iyi

1: Eşit derecede iyi

3: Blockchain, geleneksel yöntemden 3 kat daha iyi

5: Blockchain, geleneksel yöntemden 5 kat daha iyi

Blok zinciri, tedarik zincirindeki şeffaflık açısından geleneksel yöntemlere kıyasla daha güçlü müdür?

1/5: Geleneksel yöntem 5 kat daha iyi

1/3: Geleneksel yöntem 3 kat daha iyi

1: Eşit derecede iyi

3: Blockchain, geleneksel yöntemden 3 kat daha iyi

5: Blockchain, geleneksel yöntemden 5 kat daha iyi

Blok zinciri, ürünlerin her aşamasını daha iyi izlenebilir kılma konusunda geleneksel yöntemlerden daha mı etkilidir?

1/5: Geleneksel yöntem 5 kat daha iyi

1/3: Geleneksel yöntem 3 kat daha iyi

1: Eşit derecede iyi

3: Blockchain, geleneksel yöntemden 3 kat daha iyi

5: Blockchain, geleneksel yöntemden 5 kat daha iyi

Blok zinciri tedarik zinciri yöntemlerinde, şeffaflık genellikle dijital sistemlere dayandığı için daha mı iyidir?

1/5: Geleneksel yöntem 5 kat daha iyi

1/3: Geleneksel yöntem 3 kat daha iyi

1: Eşit derecede iyi

3: Blockchain, geleneksel yöntemden 3 kat daha iyi

5: Blockchain, geleneksel yöntemden 5 kat daha iyi

Blok zinciri uygulamalarının maliyet etkinliği konusunda geleneksel yöntemlere göre nasıl bir değerlendirme yapıyorsunuz?

1/5: Geleneksel yöntem 5 kat daha iyi

1/3: Geleneksel yöntem 3 kat daha iyi

1: Eşit derecede iyi

3: Blockchain, geleneksel yöntemden 3 kat daha iyi

5: Blockchain, geleneksel yöntemden 5 kat daha iyi

Blok zinciri uygulamalarının başlangıç maliyetleri geleneksel tedarik zincirine göre daha yüksektir. Başlangıç maliyetleri ile uzun dönem etkinlikleri karşılaştırıldığında

sistemlerin birbirlerine karşı üstünlüklerini nasıl değerlendirirsiniz?

1/5: Geleneksel yöntem 5 kat daha iyi

1/3: Geleneksel yöntem 3 kat daha iyi

1: Eşit derecede iyi

3: Blockchain, geleneksel yöntemden 3 kat daha iyi

5: Blockchain, geleneksel yöntemden 5 kat daha iyi

Blok zinciri, merkeziyetsiz yapı sayesinde tedarik zincirinde aracılara olan ihtiyacı ortadan kaldırır. Geleneksel tedarik zincirinde aracılara ihtiyaç vardır. Bu bilgiler ışığında iki sistem karşılaştırıldığında maliyet açısından nasıl bir değerlendirme yapılabilir?

1/5: Geleneksel yöntem 5 kat daha iyi

1/3: Geleneksel yöntem 3 kat daha iyi

1: Eşit derecede iyi

3: Blockchain, geleneksel yöntemden 3 kat daha iyi

5: Blockchain, geleneksel yöntemden 5 kat daha iyi

Blok zinciri teknolojisinin çevresel ve sosyal etki açısından geleneksel yöntemlere göre ne derece bir avantaj sunduğunu düşünüyorsunuz?

1/5: Geleneksel yöntem 5 kat daha iyi

1/3: Geleneksel yöntem 3 kat daha iyi

1: Eşit derecede iyi

3: Blockchain, geleneksel yöntemden 3 kat daha iyi

5: Blockchain, geleneksel yöntemden 5 kat daha iyi

Blok zinciri ile geleneksel tedarik zinciri süreçlerini karşılaştırdığımızda, ürünlerin çevresel ve sosyal etkilerini izleme açısından nasıl değerlendirirsiniz?

1/5: Geleneksel yöntem 5 kat daha iyi

1/3: Geleneksel yöntem 3 kat daha iyi

1: Eşit derecede iyi

3: Blockchain, geleneksel yöntemden 3 kat daha iyi

5: Blockchain, geleneksel yöntemden 5 kat daha iyi

Blok zinciri, geleneksel yöntemlere göre şeffaflık sağlayarak tedarik zincirinde çevresel sürdürülebilirliği daha iyi yönetebilir mi?

1/5: Geleneksel yöntem 5 kat daha iyi

1/3: Geleneksel yöntem 3 kat daha iyi

1: Eşit derecede iyi

3: Blockchain, geleneksel yöntemden 3 kat daha iyi

5: Blockchain, geleneksel yöntemden 5 kat daha iyi

Blok zinciri, merkeziyetsiz yapısı nedeniyle geleneksel yöntemlere göre regülasyonlara uyum sağlamakta daha zorlayıcı olabilir mi?

1/5: Geleneksel yöntem 5 kat daha iyi

1/3: Geleneksel yöntem 3 kat daha iyi

1: Eşit derecede iyi

3: Blockchain, geleneksel yöntemden 3 kat daha iyi

5: Blockchain, geleneksel yöntemden 5 kat daha iyi

Blok zincirinin sağladığı şeffaflık, yasal uyum konusunda geleneksel yöntemlere göre daha etkili olabilir mi?

1/5: Geleneksel yöntem 5 kat daha iyi

1/3: Geleneksel yöntem 3 kat daha iyi

1: Eşit derecede iyi

3: Blockchain, geleneksel yöntemden 3 kat daha iyi

5: Blockchain, geleneksel yöntemden 5 kat daha iyi

Geleneksel tedarik zinciri yöntemleri, yasal uyum ve regülasyonlar açısından genellikle daha kolay yönetilebilir mi?

1/5: Geleneksel yöntem 5 kat daha iyi

1/3: Geleneksel yöntem 3 kat daha iyi

1: Eşit derecede iyi

3: Blockchain, geleneksel yöntemden 3 kat daha iyi

5: Blockchain, geleneksel yöntemden 5 kat daha iyi

