

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YAPAY ZEKA VE BLOKZİNCİR TEKNOLOJİLERİNİN
TEDARİK ZİNCİRİ DAYANIKLILIĞI ÜZERİNE ETKİSİ

LEVENT ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
STRATEJİ BİLİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. SALİH ZEKİ İMAMOĞLU

OCAK 2026

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YAPAY ZEKA VE BLOKZİNCİR TEKNOLOJİLERİNİN
TEDARİK ZİNCİRİ DAYANIKLILIĞI ÜZERİNE ETKİSİ

LEVENT ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
STRATEJİ BİLİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. SALİH ZEKİ İMAMOĞLU

OCAK 2026

**T.C.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL**

**THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND
BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES ON SUPPLY CHAIN
RESILIENCE**

LEVENT ÖZDEMİR

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF STRATEGY SCIENCE**

ADVISOR: PROF. DR. SALİH ZEKİ İMAMOĞLU

JANUARY 2026

YÜKSEKLİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 20/01/2026 tarih ve 2026/05 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 26/01/2026 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Levent ÖZDEMİR'in tez çalışması Strateji Bilimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Salih Zeki İMAMOĞLU

ÜYE

: Doç. Dr. Serhat ERAT

ÜYE

: Prof. Dr. Erkut ALTINDAĞ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu tez çalışmasının amacı, dijital dönüşüm sürecinde işletmeler açısından stratejik öneme sahip olan yapay zekâ ve blokzincir teknolojilerinin tedarik zinciri dayanıklılığı üzerindeki etkilerini ampirik olarak incelemektir. Son yıllarda küresel ölçekte yaşanan pandemi, ekonomik krizler, doğal afetler ve jeopolitik gelişmeler, tedarik zincirlerinde ciddi aksamalara neden olmuş ve işletmelerin belirsizliklere karşı daha dayanıklı yapılar geliştirmesini zorunlu hâle getirmiştir. Bu bağlamda, gelişmiş dijital teknolojilerin tedarik zinciri süreçlerine entegrasyonu, işletmelerin rekabet gücünü ve sürdürülebilirliğini artıran önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

Araştırmanın evrenini, Kocaeli ve İstanbul illerinde farklı sektörlerde faaliyet gösteren işletmelerin orta ve üst düzey yöneticileri oluşturmaktadır. Bu iller, Türkiye'nin sanayi ve ticaret açısından en yoğun bölgeleri arasında yer aldığından dolayı araştırma için uygun örneklem alanları olarak seçilmiştir. Çalışmada veri toplama yöntemi olarak anket tekniği kullanılmış ve toplam 237 yöneticiden elde edilen veriler analize dâhil edilmiştir. Anket formu, yapay zekâ kullanımı, blokzincir teknolojisi uygulamaları ve tedarik zinciri dayanıklılığı değişkenlerini ölçmeye yönelik ölçeklerden oluşmaktadır.

Araştırma kapsamında geliştirilen hipotezler, yapısal eşitlik modeli (YEM) kullanılarak test edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, yapay zekâ teknolojilerinin tedarik zinciri dayanıklılığı üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Yapay zekânın talep tahmini, risk analizi, stok yönetimi ve karar destek süreçlerinde sağladığı avantajlar, tedarik zincirlerinin beklenmedik durumlara karşı daha esnek ve hızlı tepki vermesine katkı sağlamaktadır. Buna karşılık, blokzincir teknolojisi ile tedarik zinciri dayanıklılığı arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Bu durum, blokzincir teknolojisinin uygulama düzeyinin sınırlı olması ve işletmeler tarafından yeterince benimsenmemesiyle açıklanabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma yapay zekâ teknolojilerinin tedarik zinciri dayanıklılığını artırmada önemli bir rol oynadığını ortaya koymakta; blokzincir teknolojisine ilişkin bulgular ise bu alanda yapılacak gelecekteki araştırmalar için yol gösterici nitelik taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Blokzincir, Tedarik Zinciri, Tedarik Zinciri Dayanıklılığı

ABSTRACT

The purpose of this study is to empirically examine the effects of artificial intelligence and blockchain technologies on supply chain resilience, which has become increasingly important for businesses in the digital transformation era. In recent years, global disruptions such as pandemics, economic crises, natural disasters, and geopolitical developments have exposed the vulnerability of supply chains and highlighted the necessity for firms to build more resilient structures against uncertainty. In this context, the integration of advanced digital technologies into supply chain processes is considered a critical factor in enhancing organizational competitiveness and sustainability.

The population of the study consists of middle- and upper-level managers working in firms operating in various sectors in the provinces of Kocaeli and Istanbul, which are among the most industrialized and commercially active regions in Türkiye. Data were collected using the survey method, and a total of 237 valid questionnaires were included in the analysis. The survey instrument was designed to measure artificial intelligence adoption, blockchain technology usage, and supply chain resilience.

The research hypotheses were tested using Structural Equation Modeling (SEM). The findings indicate that artificial intelligence has a positive and statistically significant effect on supply chain resilience. The capabilities of artificial intelligence in areas such as demand forecasting, risk analysis, inventory management, and decision support systems enable supply chains to respond more effectively and flexibly to unexpected disruptions. However, the results reveal that no statistically significant relationship exists between blockchain technology and supply chain resilience. This finding may be attributed to the limited level of blockchain adoption, high implementation costs, or insufficient managerial knowledge regarding this technology.

In conclusion, this study demonstrates that artificial intelligence plays a crucial role in enhancing supply chain resilience, while the findings related to blockchain technology suggest the need for further research to better understand its potential impact on supply chain performance.

Keywords: Artificial Intelligence, Blockchain, Supply Chain, Supply Chain Resilience

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yürütülmesi ve tamamlanması sürecinde, bilgi, deneyim ve destekleriyle yanımda olan değerli isimlere teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Öncelikle, akademik bilgi ve tecrübesiyle araştırmamın her aşamasında bana yol gösteren, kıymetli katkıları ve değerli yönlendirmeleriyle çalışmamın bilimsel niteliğini güçlendiren tez danışmanım Prof. Dr. Salih Zeki İMAMOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım. Araştırmanın analiz aşamasında sağladığı destek ve katkılar için Doç. Dr. Hülya TÜRKCAN'a da ayrıca teşekkür ederim.

Bu süreçte her koşulda yanımda olan, destekleri ve sevgileriyle bana güç katan değerli aileme, özellikle de hayatımın en büyük motivasyon kaynağı olan sevgili oğullarıma, manevi destekleriyle her zaman yanımda olan annem, babam ve kardeşlerime, çalışmam boyunca beni motive eden kıymetli dostlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Bu süreçte gösterdikleri destek ve katkılarla yanımda olan herkese gönülden teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii

1. GİRİŞ	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	4
2.1. Yapay Zeka	4
2.1.1. Yapay Zekâ Kavramı ve Önemi	5
2.1.2. Yapay Zeka Alt Alanları	8
2.1.2.1. Yapay Sinir Ağları	9
2.1.2.2. Kaba Küme	10
2.1.2.3. Makine Öğrenimi	11
2.1.2.4. Uzman Sistemler	12
2.1.2.5. Genetik Algoritmalar	13
2.1.2.6. Bulanık Mantık	15
2.1.2.7. Ajan Tabanlı Sistemler	16
2.1.3. Yapay Zekânın Avantajları ve Dezavantajları	17
2.1.3.1. Yapay Zekânın Avantajları	17
2.1.3.2. Yapay Zekânın Dezavantajları	19
2.1.4. Yapay Zeka Uygulama Alanları	20
2.1.4.1. Sağlık Sektörü	21
2.1.4.2. Eğitim Sektörü	22
2.1.4.3. Pazarlama ve Tüketici Davranışları	23
2.1.4.4. Üretim ve Endüstri Sektörü	25
2.1.4.5. Otomotiv Sektörü	26
2.1.4.6. Finans ve Ekonomi Sektörü	27
2.1.4.7. Tarım Sektörü	29
2.1.4.8. Güvenlik ve Savunma Sektörü	30
2.1.4.9. Enerji Sektörü	31
2.1.4.10. Hukuk	33
2.2. Blokzincir Teknolojisi	34
2.2.1. Blokzincir Teknolojisi Tanımı ve Özellikleri	35
2.2.2. Blokzincir Teknolojisinin Temel Unsurları	39
2.2.2.1. Merkeziyetsizlik	41
2.2.2.2. Şeffaflık	42
2.2.2.3. Açık Kaynak	43
2.2.2.4. Özerklik	44
2.2.2.5. Değiştirilemezlik	46
2.2.2.6. Anonimlik	47
2.2.3. Blokzincir Teknolojisinin Yapısı ve Türleri	48
2.2.4. Blokzincir Teknolojisinin Avantajları ve Dezavantajları	53

2.2.4.1. Blokzincir Teknolojisinin Avantajları	53
2.2.4.2. Blokzincir Teknolojisinin Dezavantajları	55
2.3. Tedarik Zinciri Dayanıklılığı	57
2.3.1. Tedarik Zinciri Kavramı ve Önemi	58
2.3.2. Tedarik Zincirinin Temel Fonksiyonları	60
2.3.3. Tedarik Zinciri Dayanıklılığı Tanımı	61
2.3.4. Tedarik Zinciri Dayanıklılığının Stratejik Yönleri	62
2.3.5. Tedarik Zinciri Dayanıklılığını Etkileyen Faktörler	64
2.3.6. Tedarik Zinciri Dayanıklılığı Boyutları	67
2.3.6.1. Hazırlık	67
2.3.6.2. Yanıt	68
2.3.6.3. İyileşme	70
2.3.6.4. Esneklik	71
2.3.4.5. İletişim ve Koordinasyon	72
3. HİPOTEZ GELİŞTİRME	74
3.1. Yapay Zeka ve Tedarik Zinciri Dayanıklılığı İlişkisi	74
3.2. Blokzincir Teknolojisi ve Tedarik Zinciri Dayanıklılığı İlişkisi	75
4. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ	77
4.1. Ölçüm ve Örneklem	77
4.2. Ölçüm Geçerliliği ve Güvenilirliği	78
4.3. Hipotez Testleri	81
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	83
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	103
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR	104
EKLER	105

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AFA	: Açıklayıcı Faktör Analizi
DFA	: Doğrulayıcı Faktör Analizi
IoT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
SEM	: Yapısal Eşitlik Modellemesi (Structural Equation Model)
TZF	: Tedarik Zinciri Forumu
TZY	: Tedarik Zinciri Yönetimi
vd.	: ve diğerleri
YSA	: Yapay Sinir Ağları
YZ	: Yapay Zekâ
YZY	: Yapay Zekâ Yeteneği



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Yapay Zeka Katmanları	7
Şekil 2.2: Blokzincir Teknolojisi Özellikleri	36
Şekil 2.3: Blokzincir Teknolojisinin Çalışma Şekli	39
Şekil 3.1: Araştırma Modeli	76



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Yapay Zeka Alt Alanları	9
Tablo 4.1: Demografik Özellikler	78
Tablo 4.2: AFA Sonuçları	79
Tablo 4.3: DFA Sonuçları	80
Tablo 4.4: Korelasyon Analizi Sonuçları	81
Tablo 4.5: Hipotez Testi Sonuçları	81



1. GİRİŞ

Günümüz küresel ekonomisinde durağan durumlar büyük oranda ortadan kalkmıştır. Dünyanın herhangi bir yerindeki bir problem ekonomik anlamda önemli sorunları ve çalkantıları beraberinde getirir hale gelmiştir. Bu şartlar altında hayatta kalmak ve büyümek, sorunları öngörüp buna hazırlı olmaya ve uyum sağlamaya bağlıdır (Ivanov, 2024). Tedarik zinciri ise pek çok bileşene sahip olduğundan karmaşıktır. Onun bu durumu sebebiyle pek çok zorluğun ve problemin ortaya çıkması muhtemeldir. Bununla birlikte küresel pazardaki öngörülemeslik tedarik zincirlerini önemli ölçüde etkilemiştir ve bu sistemi daha da karmaşık getirmiştir (Gaudenzi vd., 2023). Nitekim çok sayıda aktörden oluşan bir sistem böyle problemlere karşı daha savunmasızdır ve daha büyük etkiler deneyimleme potansiyeline sahiptir (Ivanov, 2024).

Tedarik zincirinin karşılaşılabileceği ve üstesinden gelmesi riskler iki grup altında açıklanabilir. Bunlardan ilki, tedarik zincirinin kendisi ile ilgili durumlardan kaynaklanmaktadır. Ekipman arızası ve teslimat süresinde belirsizlik bu risklerdendir. İkincisi ise çevredeki durumun tedarik zinciri üzerinde oluşturduğu risklerle ilgilidir. Politik durum, doğal çevre, terör olayları ve pandemiler buna örnek verilebilir (Manzoor vd., 2025). Bu risklere ve belirsizliklere karşı tedarik zincirinin belirli yeteneklere sahip olması önem arz etmektedir. Bu kapsamda çevreye uyum sağlamayı mümkün hale getiren bir yetenek olan tedarik zinciri dayanıklılığı hayati öneme sahiptir (Ivanov vd., 2021).

Dayanıklı bir tedarik zinciri için birçok yeteneğe ve stratejiye ihtiyaç vardır. Günümüzde ise bunlar büyük oranda dijital teknolojilere dayanmaktadır (Li vd., 2025a). Dijital teknolojiler bütünsel çözümleri beraberinde getirmiş ve süreçlerin entegrasyonunun gelişmesinde etkili olmuştur (Jabbar vd., 2021). Nitekim dijital teknolojilerin ortaya çıkmasıyla rekabetin kuralları küresel ölçekte değişmiş ve özellikle değişken şartlarda hayatta kalmak için stratejik bir kaynak olarak kabul edilmiştir. Tedarik zinciri için ise dijital teknolojiler risk öncesi hazırlığı iyileştirmekte, problem çıktığında doğru yolu göstermekte ve sonrasında çevik bir şekilde eski duruma geçişi mümkün kılmaktadır (Li vd., 2025a). Bu doğrultuda dijital teknolojilerin, tedarik zinciri dayanıklılığı için önemli bir faktör olduğu söylenebilir.

Yapay zekâ ve blokzincir gibi dijital teknolojiler, tedarik zincirlerinin değişen koşullara uyum sağlayabilen ve kendini otomatik olarak iyileştirebilen esnek sistemler haline gelmesini sağlamaktadır (Li vd., 2025a). Yapay zeka, veri odaklı ve doğası gereği karmaşık olan tedarik zincirlerinde oluşan pek çok zorluğun üstesinden gelmeyi mümkün kılan bir teknoloji olarak kabul edilmektedir (Smyth vd., 2024). Öyle ki yapay zeka, belirsizlik durumunda pazarla ilgili doğru tahmin yapabilmeyi, öngörücü analizler gerçekleştirmeyi, proaktif davranışı desteklemeyi ve karar vermeyi iyileştirmeyi sağlayarak tedarik zinciri dayanıklılığına katkı sunabilir (Beta vd., 2025).

Diğer yandan blokzincir teknolojisi, sunduğu avantajlarla geleneksel tedarik zincirindeki problemleri giderme noktasında kritik bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir. Merkezi olan tedarik zincirlerinde izlenebilirlik ve veri yönetim sistemi kaynaklı önemli zorluklar söz konusudur. Bu problemler sebebiyle yolsuzluk ve dolandırıcılığa varan problemlerin ortaya çıkması mümkündür (Azzi vd., 2019). Blokzincir teknolojisi ise merkezi olmayan yapısı ve açık bir ortam sunması ile tedarik zinciri açısından güvenlik ve şeffaflık sağlamaktadır (Min, 2019). Böylece tedarik zinciri boyunca işbirliğini ve güven ilişkilerini önemli ölçüde geliştirebilmekte, dolayısıyla tedarik zinciri yönetimi açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Queiroz vd., 2020). Dahası Pattanayak ve diğerleri (2023), blokzincir teknolojisinin tedarik zinciri açısından dönüştürücü etkilerinin olduğunu ve bu durumun tedarik zincirinin olumsuz ve beklenmedik durumlar karşısında bundan mümkün olduğunca zarar görmeden kurtulmasını sağlayan tedarik zinciri dayanıklılığına katkı sunabileceğini belirtmiştir. Ancak yapay zeka ve blokzincir teknolojilerinin tedarik zinciri dayanıklılığını geliştirme noktasındaki potansiyel katkılarına rağmen, uluslararası literatürde bu konuda yapılmış ampirik araştırmalar sınırlıdır. Ulusal literatürde ise bu ilişkilere yönelik hiçbir ampirik çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmanın amacı, sunduğu pek çok avantajla hem işletmeler hem de araştırmacıların yoğun ilgi gösterdiği iki dijital teknoloji olan yapay zeka ve blokzincir teknolojilerinin tedarik zinciri dayanıklılığı ile ilişkisini ampirik olarak ortaya koymaktır. Böylece ilgili alandaki boşluğu doldurmak ve bu teknolojilerin tedarik zinciri dayanıklılığını nasıl etkilediği hususunda kapsamlı bir görüş sunmak hedeflenmektedir.

Bu çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde yapay zekâ, blokzincir teknolojileri ve tedarik zinciri dayanıklılığı kavramları ile ilgili literatür taraması

yapılmıştır. Bu bölümde ilgili kavramların ne ifade ettiği ve neleri kapsadığı derinlemesine açıklanmıştır. İkinci bölümde ise bu kavramlar arası ilişkilere yönelik argümanlar ortaya konmuş, araştırma hipotezleri belirtilmiş ve araştırma modeli sunulmuştur. Üçüncü bölümde yapay zekâ, blokzincir teknolojileri ve tedarik zinciri dayanıklılığı arasındaki ilişkiyi araştırmak için bir saha çalışması yapılmıştır.



2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Yapay Zeka

Yapay zeka (YZ) kavramını oluşturan yapay kavramı doğal olanı taklit etmeyi ve zeka kavramı ise öğrenme kapasitesini ifade etmektedir (Mikalef ve Gupta, 2021). Buradan hareketle yapay zeka; bir sistemin yorumlama, uygulama, analiz etme gibi insan zekasının yapabildiği faaliyetleri onu taklit ederek yürütmesi olarak tanımlanmaktadır (Amoako vd., 2021). Yapay zeka, sistemin verileri yorumlama, onlar yoluyla öğrenme ve böylece belirli amaçlar için kullanabilme becerisidir (Kaplan ve Haenlein, 2019).

Yapay zeka fikrinin ilk çıkışı, bilimkurgu yazarı Isaac Asimov tarafından kaleme alınmış olan 1942’de çıkan bir kitaptır. Bu kitap yapay zeka fikrine yönelik önemli bir ilham kaynağı olmuş ve bilgisayar bilimi alanındaki araştırmacılar bu konuya eğilmeye başlamışlardır. 2. Dünya Savaşı sırasında ise matematikçi Alan Turing Alman ordusunun kullandığı Enigma kodunu kırmak amacıyla “the bombe” adlı süper bilgisayar üzerine çalışmıştır. Bu gerçek bir deneyim olarak görülmüş ve akıllı makinaların nasıl yapılabileceği ile ilgili önemli fikirlerin üretilmesine olanak sağlamıştır (Russel ve Norving, 2020; Mariani vd., 2023). Diğer yandan yapay zeka kavramı ilk defa 1956’da John McCarthy tarafından kullanılmıştır (Huang ve Lin, 2025). Yapay zeka ile ilgili çalışmalar bu noktadan sonra hızlanmasına rağmen, 1970’lerde ilginin azaldığı karanlık bir dönem yaşanmış ve bu dönem “yapay zeka kışı” olarak adlandırılmıştır (Jiang vd., 2022).

1980’lerin sonundan itibaren ise bu konuyla ilgili çalışmalar önemli bir ivme kazanmıştır. Nitekim bu yıllarda, uzman bilgisinden faydalanılarak bir dizi temel kuralı barındıran yapay zeka sistemi ortaya konulmuş ve uzman sistemler olarak nitelendirilmiştir. Ancak 2006 yılında Geoffrey Hinton ve arkadaşları sinir ağları oluşturmaya yönelik çalışmasıyla yapay zeka alanında yeniden çığır açan bir yükselişi başlatmıştır. Artık yapay zeka için temel kavram “öğrenmek” olmuştur (Xu vd., 2021). Özellikle 2010’lar itibariyle araştırmacıların yoğun ilgisini çeken bir kavram haline gelmiştir (Culot vd., 2024).

Günümüzde yapay zeka, yüksek dönüşüm etkisiyle her sektörde hem kurum içi hem de kurumlar arası işleyişi köklü biçimde değiştirme potansiyeline sahip önemli bir verimlilik kaynağı olarak kabul edilmektedir (Wamba, 2022). Bu durum tedarik zinciri

gibi pek çok alanda kullanımını sağlamaktadır. Tedarik zincirleri bir ağ yapısına sahiptir ve zincir boyunca büyük miktarda veri üretilir. Bununla birlikte hızlı ve doğru kararlar vermek kritiktir (Toorajipour vd., 2021). Ayrıca, tedarik zincirlerinde çeşitli teknolojiler uzun yıllardır kullanılmaktadır. Ancak, bu teknolojilerin sundukları çözümler böylesine karmaşık bir sistem için yeterince akıllı değildir (Helo ve Hao, 2022). Yapay zeka ise akıllı bir sistem olarak envanter yönetimi, talep tahmini ve risk yönetimi için önemli bir teknolojik çözüm olarak görülmekte ve kullanılmaktadır (Pournader vd., 2021). Nitekim yapay zeka tedarik zincirinde daha doğru kararların alınmasını, çevikliğin artmasını ve maliyetlerin düşmesini sağlama potansiyeline sahiptir (Helo ve Hao, 2022). Dolayısıyla yapay zeka sunduğu çözümlerle tedarik zinciri açısından çığır açan bir etkiye sahiptir (Toorajipour vd., 2021).

2.1.1. Yapay Zekâ Kavramı ve Önemi

Yapay Zeka (YZ) terimi ilk olarak 1956 yılında McCarthy tarafından ortaya atıldı ve kendisi buna “akıllı makineler üretme bilimi ve mühendisliği” adını verdi. O zamandan beri, yapay zeka tarihi başarı döngüleri ve hatalı iyimserlik dönemleri yaşadı. Başlangıçtan itibaren, ilginç bulgulara dayanarak, YZ araştırmacıları yakın bir gelecekte başarılarına dair tahminlerde bulunmaktan emindiler (Russell ve Norvig, 2020; Toosi vd., 2021).

Bunun yerine, YZ’nın evrimi beklenenden daha yavaştı ve zaman içinde araştırma yönlerinde meydana gelen değişikliklere, yeni yaklaşımların tanıtılması ve mevcut olanların iyileştirilmesi aşamalarına dayanıyordu (Russell ve Norvig, 2020). Ancak son on yılda, çeşitli formatlardaki büyük veri hacminin her zamankinden daha hızlı üretilmesi, yeni teknolojilerin geliştirilmesini gerektirdi ve bu da hesaplamalı işleme kapasitesinin artırılması ve yeni YZ tekniklerinin geliştirilmesi dahil olmak üzere teknolojik ilerlemenin hızlanmasına yol açtı (Brynjolfsson ve McAfee, 2016; He vd., 2020). Bu ilerlemelerle uluslararası büyük kurumsal şirketler, YZ ile büyük miktarda veriyi işleyebilmekte ve sonuçları yeni ürünler, pazarlar ve hizmetlerle kapsamalarını genişletmek için kullanabilmektedirler (Venkatraman, 2017; Iansiti ve Lakhani, 2020). İş dünyasının rekabetçi senaryosu ve yüksek veri hacimleri, kıt kaynaklar ve karar almada hız ihtiyacı göz önüne alındığında, birçok kuruluş, özellikle önde gelen dijital

şirketlerin gösterdiği yıkıcı potansiyel nedeniyle yapay zeka teknolojilerini benimsemeye motive olmaktadır (Ayinaddis, 2025).

İlk başta belirtildiği gibi McCarthy'nin Yapay Zeka terimini ortaya attığı 1950'lerden bu yana, YZ alanı iki boyutta gelişti: insan merkezli ve rasyonalist yaklaşımlar. İnsan merkezli yaklaşımlar, deneysel doğrulama ve hipotez içerir ve ampirik bilimin bir parçasıdır. Buna karşılık, rasyonalist yaklaşımlar mühendislik ve matematiğin bir kombinasyonunu oluşturur (Shneiderman, 2022).

Yapay zekanın diğer alanlardan fikirleri, bakış açıları ve teknikleri olmasına rağmen, biz burada onu yalnızca biliş kullanılarak gerçekleştirilebilen eylemleri gerçekleştirebilen yazılım ve donanım geliştirmeyi amaçlayan bir alan olarak görüyoruz (Russell ve Norvig, 2020). Bu nedenle, rasyonalist yaklaşımlar perspektifinden, yapay zeka alanı, makinelerin insan davranışını simüle ederek en iyi sonucu veya belirsizlik senaryolarında beklenen en iyi sonucu elde etmesini sağlayan herhangi bir tekniği kapsar. Yapay zekanın ilk günlerinde, en büyük zorluk (ve hala da öyledir) bir insan tarafından kolayca çözülebilen ancak matematiksel kurallar açısından resmen tanımlanması zor olan görevleri yerine getirmektir (Macmillan-Scott ve Musolesi, 2025).

Bu tür görevleri kurallar tanımlayarak açıklamanın zorluğu, yapay zeka tekniklerinin verilerden kalıplar çıkarma ve kendi bilgilerini edinme yeteneğine ihtiyaç duyduğunu gösterdi. Bu yetenek, bilgisayar tabanlı uygulamaların verilerdeki kalıpları otomatik olarak algılamasını ve açıkça programlanmadan hareket etmesini sağlayan makine öğrenimi olarak bilinir (Fradkov, 2020). Bu nedenle yapay zeka alanı, sadece insan davranışını simüle etmek ve karar vermek için daha önce insanlar tarafından tanımlanmış süreç kuralları yönünde ilerlemekle kalmamış (klasik yapay zeka algoritmalarında olduğu gibi), aynı zamanda insan öğrenimini taklit etmeyi de hedeflemiştir (Toosi vd., 2021).

Yapay zekanın makine öğrenimi algoritmalarının geliştirilmesiyle ilerlemesi, öğrenme sürecinden edinilen bilgiyi nihai tahminlere eşlemek için araçlar talep etti. Bu ihtiyaç, özelliklerin yararlı bilgiler içeren ara bir gösterime dönüştürüldüğü gösterim öğrenimi olarak kategorize edilen yaklaşımların geliştirilmesine yol açtı (Nozawa ve Sato, 2022).

Simülasyonlar, karmaşık kavramlar durumunda olduğu gibi, diğer gösterimler açısından ifade edildiğinde, derin öğrenme tekniklerini kullanmak gerekir. Derin öğrenme, her kavramın daha basit kavramlarla ilişkili olarak tanımlanabildiği bir kavram hiyerarşisi aracılığıyla dünyayı temsil etme gücüne ve esnekliğine sahip bir tür gösterim öğrenimidir (Goodfellow vd., 2016). Bu, derin öğrenmenin hesaplamalı modellerin çeşitli soyutlama düzeylerine sahip gösterimleri öğrenmesine olanak tanıdığı ve bu modellerin birden fazla işlem katmanından oluştuğu anlamına gelir (Chen vd., 2020).

Şekil 2.1, YZ disiplinleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Diyagram, derin öğrenmenin bir tür temsil öğrenimi olduğunu göstermektedir ve bu, makine öğreniminin birçok yaklaşımında kullanılsa da hepsinde kullanılmamaktadır ve bu da bir tür YZ olarak kabul edilir. YZ disiplinleri arasındaki temel fark, insanın bir problemi temsil etmek için kurallar koymaya veya özellikler tanımlamaya olan bağımlılığıdır. YZ katmanından, insanın öğrenme sürecine olan bağımlılığı iç katmanlara doğru azalır (Russell ve Norvig, 2020).



Şekil 2.1: Yapay Zeka Katmanları (Russell ve Norvig, 2020)

Bu farklılıkları örneklendirmek için, bir e-ticaret platformunda bir müşteriye ürün önerme sorununu ele alalım. Klasik YZ algoritmasına bir örnek, şu kurala dayalı bir

program uygulamak olacaktır: müşteri zaten bir satın alma işlemi yaptıysa, o zaman onun en çok satın aldığı ürünleri önerir. Klasik YZ algoritmaları, bir alan uzmanı insan tarafından tanımlanan kuralları içeren elle tasarlanmış programlar kullanılarak oluşturulur (Goodfellow vd., 2016).

Yapay zeka, insanlar gibi düşünme, insanlar gibi davranma, rasyonel düşünme ve rasyonel hareket etme yeteneğiyle bilinir. Bu nedenle, bu ayırt edici özellikler açısından, yapay zeka daha fazla bir dizi alt alana sınıflandırılabilir; yapay sinir ağları (YSA) ve kaba küme teorisi (insan gibi düşünme); makine öğrenimi, uzman sistemler ve GA'lar (insan gibi hareket etme); bulanık mantık (rasyonel düşünme) ve ajan tabanlı sistemler (rasyonel hareket etme) (Russell ve Norvig, 2020).

2.1.2. Yapay Zeka Alt Alanları

Yapay zeka, insan benzeri düşünme, öğrenme ve karar verme yeteneklerini bilgisayar sistemlerine kazandırmayı amaçlayan geniş bir disiplindir. Bu kapsamda Yapay zeka, alt alanlar halinde sınıflandırılabilir; her biri farklı insan bilişsel veya davranışsal yönlerini taklit eder (Gonzalez, 2024).

Bu alt alanlar arasında makine öğrenimi, sistemlerin deneyimden öğrenerek performanslarını artırmasını sağlarken; derin öğrenme, çok katmanlı sinir ağları aracılığıyla karmaşık örüntülerin ve soyut temsillerin otomatik olarak öğrenilmesine imkân tanır. Doğal dil işleme, insan diliyle etkileşim kurabilen sistemlerin geliştirilmesini hedeflerken; bilgisayarla görme, görsel verilerden anlam çıkarma ve nesne tanıma gibi yetenekleri kazandırmayı amaçlar. Ayrıca uzman sistemler, belirli alanlarda insan uzmanlığını kural tabanlı yapılarla taklit ederek karar destek mekanizmaları sunar (Khanzode ve Sarode, 2020).

Bu çeşitlilik, yapay zekânın yalnızca teknik bir araç değil, aynı zamanda insan bilişinin farklı yönlerini modellemeye çalışan çok disiplinli bir araştırma alanı olduğunu göstermektedir. Her bir alt alan, algılama, öğrenme, akıl yürütme ve problem çözme gibi insan zihnine özgü yeteneklerin belirli bir boyutuna odaklanmakta ve bu yetenekleri makineler aracılığıyla yeniden üretmeyi hedeflemektedir. Bu yönüyle yapay zekâ, hem insan davranışlarını anlamaya katkı sağlayan kuramsal bir çerçeve sunmakta hem de gerçek dünya problemlerine yönelik yenilikçi çözümler geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Mao vd., 2025).

Bu alt alanlar Tablo 2.1’de özetlenmektedir. Bu alt alanlar, yapay zekâ sistemlerinin insan benzeri düşünce ve eylemlerine farklı açılardan yaklaşılarak karmaşık gerçek dünya problemlerine adaptif çözümler üretir (Russell ve Norvig, 2020).

Tablo 2.1: Yapay Zeka Alt Alanları (Russell ve Norvig, 2020)

Alt Alan	İnsan Yakınlığı	Temel Yaklaşım
Yapay Sinir Ağları	Düşünme	Katmanlı öğrenme
Kaba Küme	Düşünme	Alt/üst yaklaşım
Makine Öğrenimi	Hareket	Modelden karar
Uzman Sistemler	Hareket	Kural tabanlı karar
Genetik Algoritma	Hareket	Evrimsel optimizasyon
Bulanık Mantık	Rasyonel düşünme	Kısmi üyelik mantığı
Ajan Sistemleri	Rasyonel hareket	Özerk karar mekanizması

2.1.2.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), biyolojik sinir ağlarının işleyişini taklit eden modellerdir. Çok katmanlı ileri beslemeli ağlar, geri yayılım algoritmalarıyla öğrenerek sınıflandırma, regresyon ve örüntü tanıma gibi görevleri insan benzeri düşünme süreçleriyle gerçekleştirir. Derin sinir ağları, özellikle büyük veri üzerinde yüksek başarılar göstermektedir (Wu ve Feng, 2018).

Yapay Sinir Ağı teorisi, canlı organın beyin hücrelerinin, yani nöronların işleyiş biçimine dayanıyordu. Bilgisayar hafızalarının birbirine bağlı ağını kullanan Yapay Sinir Ağı, deneyimlerden öğrenebilir, özellikleri ayırt edebilir, örüntüleri tanıyabilir, nesneleri kümeleyebilir ve belirsiz veya soyut bilgileri işleyebilir. Açıklamak gerekirse, Yapay Sinir Ağı biyolojik nöronlara karşılık gelen bir dizi düğümden oluşur. Bu düğümler birbirine bağlantılarla bağlıdır. Her bağlantıya atanmış sayısal bir ağırlık vardır. Bağlantılar ve ağırlıkları, uzun süreli bellek depolamasının birincil araçlarıdır. Ağ, bilgileri, bir nöronun çıktısının kendisine bağlı başka bir nörona girdi olacak şekilde işler. Ağırlıklar, bağlantı yoluyla iletilen bilgilerin güçlendirilmesinden veya zayıflatılmasından sorumludur. Bağlantılar yerleştirilir ve ağırlık değerleri öğrenme adı verilen bir süreçte ayarlanır. Yapay Sinir Ağı'na, isteklerimize göre çeşitli veri örüntülerine yanıt vermesi veya veriler arasındaki gizli ilişkileri öğrenmesi

öğretilir. Ağ başlatıldıktan sonra, YSA, tümevarımsal bir öğrenme algoritması kullanılarak performansını iyileştirmek için değiştirilebilir ve denetlenen veya denetlenmeyen ortamlarda eğitilebilir (Goodfellow vd., 2016; Montesinos López vd., 2022; Bishop ve Bishop, 2023).

YSA, İngilizce kelime dağarcıklarını telaffuz etmeyi öğrenme yeteneği sayesinde semantik modelleme için yararlı olduğu kanıtlanmıştır. Lojistik alanında, YSA, görüntü işleme tekniğini kullanarak otonom araçları manevra etmek için yararlı olabilir. Gerçekten de, bir insan sürücünün performansını taklit ederek bir kara taşıtını otoyolda tek şeritte yönlendirmek için YSA kullanılmıştır. YSA'nın kara taşıtlarını otopilotla yönlendirmeye uygulanması hala belirli bir yol durumu ve trafik ortamıyla sınırlı olsa da, otonom araç navigasyonunda umut vadetmektedir. YSA ayrıca geleneksel bir parti boyutlandırma problemine de uygulanmıştır (Tang vd., 2022).

2.1.2.2. Kaba Küme

Kaba küme teorisi, belirsizlik ve eksik bilgi içeren veri setlerinden anlamlı bilgi çıkarılmasını amaçlayan matematiksel bir yaklaşım olup ilk kez Z. Pawlak (1982) tarafından geliştirilmiştir. Bu teori, bir veya birden fazla sınıflandırma niteliği içeren veri tabloları aracılığıyla kavramların yaklaşık değerlerinin sentezlenmesini mümkün kılmaktadır. Kaba küme teorisinin temel bileşenleri arasında ayırt edilemezlik ilişkileri, eşdeğerlik sınıfları, alt ve üst yaklaşım kümeleri ile kaba üyelik fonksiyonu yer almaktadır. Bu bileşenler, insanların nesneleri sınıflandırma ve tanıma süreçlerinde kullandıkları bilişsel mekanizmalara benzer bir yapı sunarak, karmaşık karar problemlerinin daha sistematik bir biçimde ele alınmasını sağlamaktadır (Leung vd., 2006; Skowron ve Dutta, 2018).

Kaba küme teorisinin önemli avantajlarından biri, olasılık dağılımları ya da ön bilgi gerektirmeden karar kurallarının türetilmesine olanak tanımasıdır. Ayırt edilemeyen nesnelerin ortak özelliklerine dayalı olarak geliştirilen bu karar kuralları, özellikle çok kriterli karar verme problemlerinde etkin bir araç olarak değerlendirilmektedir. Bu yönüyle kaba küme teorisi, Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY) kapsamında karşılaşılan karmaşık ve çelişkili karar kriterlerinin sınıflandırılmasında ve bu kriterlere dayalı karar kurallarının oluşturulmasında kullanılabilir (Chacón-Gómez vd., 2024).

Literatürde kaba küme teorisinin tedarik zinciri alanındaki uygulamalarına ilişkin çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin Li vd. (2007), çok sayıda ve birbiriyle çelişen tedarikçi seçim kriterleri altında, nitelikli tedarikçiler arasından en uygun tedarikçinin belirlenmesi amacıyla kaba küme teorisinden yararlanmıştır. Benzer şekilde Zheng ve Lai (2008), dinamik tedarik zinciri performansını ölçmek ve değerlendirmek için çok kriterli karar kuralları geliştirilmesinde kaba küme teorisini kullanmıştır. Bu çalışmalar, kaba küme teorisinin tedarik zinciri karar süreçlerinde belirsizliği azaltan ve karar vericilere sistematik bir çerçeve sunan etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

2.1.2.3. Makine Öğrenimi

Samuel (1995) tarafından ortaya atılan makine öğrenimi, bilgisayarlara açıkça programlanmadan öğrenme yeteneği sağlamak için tasarlanmıştır. Başka bir deyişle, makine öğrenimi bilgisayarın doğrudan verilerden bilgi edinebileceği ve böylece sorunları çözmeyi öğrenebileceği yolları araştırır. Öğrenme görevlerinin yöntemine bağlı olarak, makine öğrenimi bir dizi alt kategoriye ayrılabilir: (1) tümevarımsal bir öğrenme sürecini takiben gelecekteki karar alma süreçleriyle ilgili kavramları doğru bir şekilde tanımak veya oluşturmak için tasarlanmış kavram öğrenimi; (2) belirli özellikler için değerlerini test ederek ve ardından bir karar ağacı oluşturarak tüm nesneleri sınıflandırmayı amaçlayan karar ağacı öğrenimi; (3) "algılayıcı" adı verilen ağın tek bir katmanını kullanarak yararlı bilgi edinmeyi, hatayı azaltmayı ve karar sorunlarını çözmeyi amaçlayan algılayıcı öğrenimi; (4) bilgisayarı olasılıksal fonksiyonların gösterimlerini öğrenmesi için eğiten Bayesçi öğrenme; ve (5) bilgisayara sürekli geri bildirimler vererek yüksek seviyelerde performans göstermesi için eğitim veren takviyeli öğrenme (Mitchell, 1997; Sarker, 2021).

Öğrenme görevlerindeki farklılıklara bakılmaksızın, makine öğrenimi teknikleri genellikle insan ırkının varoluşunun evreleri boyunca biriktirdiği bilgi ve deneyime dayanarak doğayı taklit etmeye çalışır. Makine öğrenimi tekniklerinden bazıları insan beyni işlevine ilişkin nörolojik çalışmalar, bazıları insan evrimini dikte eden süreçler, bazıları insan bilgi edinimi ve akıl yürütmesinin matematiksel teorisi ve bazıları da insan işbirlikçi davranışının arkasındaki sosyolojik teori tarafından motive edilmiştir (Zhou, 2021).

Bu yaklaşımlar doğrultusunda makine öğrenimi, günümüzde yalnızca teorik bir araştırma alanı olmanın ötesine geçerek birçok sektörde karar destek mekanizmalarının temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir. Özellikle büyük veri ortamlarında, geleneksel istatistiksel yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda makine öğrenimi algoritmaları; örüntü tanıma, tahminleme ve sınıflandırma süreçlerinde yüksek doğruluk oranları sağlayabilmektedir. Denetimli ve denetimsiz öğrenme teknikleri, karmaşık ve çok boyutlu veri kümelerinden anlamlı bilgiler çıkarılmasına olanak tanırken, takviyeli öğrenme yöntemleri ise dinamik ve belirsiz ortamlarda en uygun kararların zaman içerisinde öğrenilmesini mümkün kılmaktadır. Bu özellikleri sayesinde makine öğrenimi, tedarik zinciri yönetimi, finans, sağlık ve üretim sistemleri gibi alanlarda performans artışı, risklerin azaltılması ve kaynakların daha etkin kullanılması açısından önemli katkılar sunmaktadır (Goodfellow vd., 2016; Tirkolaee vd., 2021; Rane vd., 2024).

2.1.2.4. Uzman Sistemler

Uzman sistemler, problem çözme, görsel algı ve dil anlama gibi insan bilişsel becerilerini taklit edebilen bilgisayar programlarını temsil eder ve önemli miktarda insan uzmanlığı için yeterince karmaşık bir problem alanı hakkında muhakeme yapma yeteneğine sahiptirler. Uzman sistemler dört bileşenden oluşur: (1) bilgi tabanı, (2) çıkarım motoru, (3) gerekçelendirici/zamanlayıcı ve (4) kullanıcı arayüzü. Açıklamak gerekirse, bilgi tabanı insan uzmanından edinilen kuralların, gerçeklerin ve bilginin deposudur. Çıkarım motoru, bilgi tabanının kurallarına göre aramayı, muhakemeyi ve çıkarımı koordine eden bir problem çözme programları kümesidir (uzman sistemin "beyni") (Zarei vd., 2023; Sabzaliyev, 2024).

Haklı çıkarıcı, bir uzmanın bir çözüme nasıl ve neden ulaştığını açıklar, zamanlayıcı ise sıralama kurallarını koordine etmek ve kontrol etmek için kurulur. Kullanıcı arayüzü, bir dizi kullanıcı sorgusu aracılığıyla sistem ve kullanıcısı arasındaki iletişimi ve etkileşimi kolaylaştırır.

Bir uzman sistem, kullanıcının yakınlık hissedebileceği bir düzeyde ve terimler ve kavramlarla çalıştığından, uzman sistem uygulayıcı tarafından çok daha kolay anlaşılır ve dolayısıyla pratik SC sorunlarına daha fazla uygulanabilir. Özellikle, uzman sistemin lojistiği yönetmede üretkenliği artırdığı bilinmektedir. Örneğin, Allen (1986),

bir dizi uzman tarafından oluşturulan 400'den fazla kural ve sezgisel yöntemi kullanarak ABD Hava Kuvvetleri Lojistik Merkezi'ndeki çok kademeli envanter kontrol sorunlarını başarıyla çözdü ve önerilen uzman sistemin geliştirilmiş envanter doğruluğu açısından etkinliğini ve verimliliğini doğruladı. Sullivan ve Fordyce (1990) ayrıca, IBM'in Burlington, Vermont yakınlarındaki yarı iletken tesisinin lojistik akışını planlamayı, izlemeyi ve kontrol etmeyi amaçlayan gerçek zamanlı, işlem tabanlı bir uzman sistemi geliştirdiler. Uzman sistemin kullanımının IBM'in ürün çıktısını %35 artırdığını ve yaklaşık 10 milyon dolar sermaye harcamasından tasarruf sağladığını bildirdiler (Sharma vd., 2022; Younis vd., 2022).

Uzman sistemin SC alanında uygulama potansiyeli sınırsızdır, bu durum hava trafik kontrolü, mekansal haritalama, havayolu verim yönetimi ve araç onarım ve bakım planlamasına başarılı bir şekilde uygulanmasıyla kanıtlanmıştır. Ek olarak, bir uzman sistem, SC'nin her aşamasında talep tahmini için tek bir daha sofistike tahmin yönteminden (veya bu tür yöntemlerin bir karışımından) daha yararlı olabilir, tahmin doğruluğu, hesaplama hızı, kullanıcı anlayışı ve maliyet etkinliği açısından. Uzman sistemin SC disiplinine yönelik diğer ilgi çekici uygulamaları şunlardır: eş zamanlı ürün tasarımı ve planlaması, gaz boru hattı operasyonları, tedarikçi değerlendirmesi, üçüncü taraf lojistik (3PL) sağlayıcılarının değerlendirilmesi ve seçimi, bir lojistik stratejisinin formülasyonu ve üretim planlaması ve kontrol (Asrol vd., 2023; Daios vd., 2025).

2.1.2.5. Genetik Algoritmalar

Evrimsel programlarının bir dalı olarak, GA doğal evrimin prensiplerini taklit eder ve çevreye en uygun organizmaları yaratan doğal seçim süreçlerinden bir dizi kural türetir. GA'lar sıklıkla, verili bir temsiline (çözümün) verili bir ortama (problem) uygunluğunu tahmin edebilen bir fonksiyon oluşturmanın mümkün olduğu kombinatoriyal optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılır. GA, kromozom adı verilen sayısal dizilerle problemin olası çözümlerini kodlar. Genetik operatörlerin (çaprazlama, mutasyon ve seçim) bu tür kromozomların tüm popülasyonuna yinelenmeli olarak uygulanmasıyla, GA, mutlaka en uygun olmasa da, optimizasyon problemine uygunluk açısından oldukça tatmin edici çözümler üretir. Genel olarak GA, doğal evrimsel fenomenleri taklit eden bir çözüm arama sürecini kullanan

stokastik bir AI tekniği olarak adlandırılır (genetik miras ve Darwinci hayatta kalma mücadelesi) (Katoch vd., 2021; Sohail, 2023; Alhijawi ve Awajan, 2024);

- Soruna yönelik olası çözümlerin genetik bir temsili.
- Bir popölasyon (başlangıçta olası çözümler kümesi) oluşturma nın bir yolu.
- Çözümlerin hayatta kalıp kalmayacaklarını görmek için uygunluklarını ölçen bir değerlendirme işlevi.
- Yavruların genetik bileşimini değiştiren genetik operatörler. Bu operatörler arasında üreme, çaprazlama ve mutasyon bulunur. Üreme, bireylerin (çözümlerin) en uygun olan bireylerin seçimi yoluyla kopyalandığı bir süreçtir. Çaprazlama, ebeveynlerin karşılık gelen niteliklerini değiştirerek iki benzer yavru oluşturmak için iki ebeveyn kromozomunun (olası çözümler) özelliklerini birleştirir. Mutasyon, ekstra değişkenlik getirmek için seçilen bir çözümün bir veya daha fazla özelliğini rastgele değiştirir
- Popölasyon büyüklüğünü (popölasyonda kaç birey olması gerektiğini), çaprazlama oranını (bireyin çaprazlama yapma olasılığını) ve mutasyon oranını (belirli bir genin mutasyona uğrama olasılığını) belirleyen parametre değerleri.

GA küresel optimum çözümleri verimli bir şekilde üretmeyi amaçlasa da, popölasyon büyüklüğü sonsuz olamaz. Bu nedenle, olası çözümlerin sonlu örneklemlenmesi nedeniyle nihai çözümü önyargılı olabilir. Ayrıca, bir GA'nın performansı belirli çaprazlama ve mutasyon oranlarına bağlı olabilir. Sonuç olarak, bir GA erken yakınsamadan muzdarip olabilir. Dahası, popölasyon büyüklüğü genellikle bir GA'nın çözüm bulma hızına ilişkin performansını iyileştirmez. Yine de, GA'lar çeşitli zorlu SC ağ tasarım sorunlarına başarıyla uygulanmıştır. Bu sorunlar şunları içerir: araç rotalama ve zamanlama, minimum yayılan ağaç, teslimat ve alma, otobüs ağı optimizasyonu ve konum tahsis sorunları. Ek olarak, tesis yerleşimini içeren iyi bilinen lojistik ve satın alma sorunlarını çözmek için bir GA kullanıldı; palet yükleme, envanter kontrolü, konteyner yükleme, malzeme elleçleme, teslimat güvenilirliği güvencesi, yük konsolidasyonu, tedarikçi seçimi ve ekspres kurye hizmetleri (Le vd., 2022; Lam vd., 2024).

2.1.2.6. Bulanık Mantık

Bulanık mantık, belirli alanlar için bilgi tabanları oluşturmak ve uzmanlardan bilgi edinmek için güçlü bir araç olabilir. Geniş anlamda, bulanık mantık her değişkenin “iyi” ve “kötü” alanlarını belirtmek için bir girdi olarak uzman görüşlerini kullanır ve ardından girdi değişkenini uzman görüşüyle karşılaştırdıktan sonra “iyi” ve “kötü” seviyelerinin olasılığını belirler. Bulanık mantık, kısmi gerçeği kavramsallaştırmak için tasarlanmış Boole mantığının bir uzantısıdır (kesinlikle doğru ile kesinlikle yanlış arasında bir yerde). Tipik olarak, bulanık mantık beş temel bileşenden oluşur: (1) dilsel değişkenler, (2) dilsel değerler, (3) bulanık kümeler, (4) üyelik fonksiyonları ve (5) bulanık EĞER-SONRA kuralları. Bu nedenle, bulanık mantık, nesneler (veya değerler) arasındaki net ayrımı temel alan kriplojikle çelişir. Başka bir deyişle, bulanık mantık nesnelerin belirsizliğini, belirsizliğini ve belirsizliğini ele alabilir. Örneğin, bulanık mantık, net bir sınır koymadan, sıcaklığın ne kadar soğuk olduğu, bir kişinin ne kadar kilolu olduğu veya ürün fiyatının ne kadar pahalı olduğu gibi soruları yanıtlamamıza yardımcı olabilir (Saatchi, 2024; Ouifak ve Idri, 2025).

Bulanık mantıkta, bir nesnenin bulanık bir kümedeki üyeliği 0 ile 1 arasında bir değer aldığından, kümedeki üyelikten üye olmamaya geçiş kademelidir. Bu kademeli geçiş, değişken koşullara ve durumlara sahip nesnelerin matematiksel ifadesine olanak tanır. Örneğin, belirli bir sıcaklık (nesne) 0,1 derece soğuk ve 0,8 derece sıcak olarak ifade edilebilir; bir araba 0,2 derece ucuz bir araba kümesine ve 0,6 derece pahalı bir araba kümesine ait olabilir. Bu nedenle, bulanık mantık, öznel performans kriterlerinin kullanılması gereken SC karar ortamları için bir dizi kural geliştirmek için yararlı olabilir. Örneğin, havaalanı konum kararında, bir ulaşım planlayıcısı havaalanının konumunun yakındaki nakliyeciler ve taşıyıcılar için ne kadar uygun olduğunu tam olarak bilemeyebilir. Bulanık mantık, SC ortamında iyi bilinen seyyar satıcı problemini (TSP) çözmek için de uygulanmıştır. Bulanık mantığın TZY'ye diğer uygulamaları şunları içerir: tedarikçi performans değerlendirmesi, envanter maliyet kontrolü, kırbaç etkisinin ölçümü, tarım endüstrisi SC planlaması, tedarikçi seçimi ve sipariş karşılama (Tavana vd., 2024; Monferdini vd., 2025).

2.1.2.7. Ajan Tabanlı Sistemler

Dağıtılmış problem çözme tekniklerinden biri olan ajan tabanlı bir sistem, bir karar problemini alt problemlere böler ve bu alt problemleri ajan adı verilen bağımsız varlıklar kullanarak çözer. Her ajan, verilen görevleri işlemek için farklı metodoloji, bilgi ve kurslar kullanabilir. Reis'e (1999) göre, bir ajan, bir dizi hedefi gerçekleştirmek için belirli eylemlerde bulunabilen ve kendi bireysel hedeflerini takip ederken diğer ajanlarla rekabet edip işbirliği yapabilen özerk bir varlığı ifade eder. Bir ajan, önemli miktarda alan bilgisini kullanma, hatalı girdileri aşma, semboller ve soyutlama kullanma, karar ortamından öğrenme, gerçek zamanlı olarak çalışma ve başkalarıyla doğal dilde iletişim kurma yeteneğiyle karakterize edilir. Bu tür özelliklerden yararlanarak, çeşitli SC sorunlarını ele almak için sıklıkla ajan tabanlı bir sistem kullanılmıştır (Terrada vd., 2020; Xu vd., 2021). Bunlara örnek olarak atölye kontrolü, lojistik planlama, hava trafik kontrolü, toplam talep planlama ve tahmini, ortaküretim planlaması, yeni ürün geliştirme, sipariş izleme, işletmeden işletmeye müzakere, teklif değerlendirmesi, dış kaynak ilişki yönetimi, müşteri ilişkileri yönetimi (CRM), SC ilişki yönetimi, SC performans değerlendirmesi, SC koordinasyonu, SC belirsizlik altında işbirliği, SC ortakları arasında bilgi alışverişi, SC genelinde bilgi takibi, malzeme elleçleme, perakende mal alımı, e-lojistik, stratejik e-tedarik, e-tedarik zincirleri, trafik olayı yönetimi ve bakım, onarım ve işletme (MRO) malzemelerinin tedariki verilebilir (Daïos vd., 2025).

Karmaşık SC problemlerini çözmek için yararlı olabilecek ajan tabanlı metodolojilerin bir yan ürünü karınca kolonisi optimizasyonudur. Bu algoritma, genellikle diğer karıncalar tarafından salınan feromon izlerini (karıncaların kolektif hafızalarını yansıtan hormon) takip etme doğuştan gelen yeteneklerini kullanarak yiyecek kaynaklarına ve yuvalarına en kısa yolu bulan karıncaların sosyal davranışlarını taklit eder.

Açıklamak gerekirse, bir karınca kolonisi optimizasyon algoritması, farklı alanlara ait kombinasyonel problemleri çözmede karıncaların bilgi paylaşma davranışlarından esinlenen bir meta-sezgidir. Karınca kolonisi optimizasyon algoritmasının, çoklu ajanlar olarak çalışan karınca ordularının sağladığı olumlu geri bildirimi kullanarak çözümü makul miktarda hesaplama süresiyle ve çözüm doğruluğuna zarar vermeden sabitlediği bilinmektedir. NP-zor problemleri ele almadaki geçmiş başarısı nedeniyle,

karınca kolonisi optimizasyon algoritması SC çerçevesi içinde TSP, araç yönlendirme problemleri, ardışık sıralama problemleri ve işlem planı seçimi problemlerini çözmek için kullanılmıştır (Eido ve Ibrahim, 2025; Zhang vd., 2025).

2.1.3. Yapay Zekânın Avantajları ve Dezavantajları

Yapay zekâ (YZ), insan benzeri düşünme, öğrenme, karar verme ve algılama süreçlerini bilgisayar sistemlerine taşıyan bir teknoloji alanıdır ve günümüzde çok sayıda sektörde dönüştürücü etkiler yaratmaktadır. Sağlık, finans, ulaşım, eğitim ve üretim gibi alanlarda YZ, verimlilik ve yenilik sağlarken, aynı zamanda etik, hukuki ve sosyoekonomik riskler de barındırmaktadır. Bu bağlamda YZ'nin avantajları ve dezavantajları bütüncül bir şekilde değerlendirilmelidir (Russell ve Norvig, 2020).

Bu noktada yapay zekâ, sunduğu avantajlarla insan yaşamını kolaylaştırırken; etik, ekonomik ve sosyal açıdan yeni sorunlar da yaratmaktadır. Bu nedenle yapay zekanın geliştirilmesinde ve uygulanmasında açıklanabilirlik, hesap verebilirlik ve etik ilkelerin gözetilmesi önem arz etmektedir. İş gücünün bu dönüşüme uyum sağlayabilmesi için eğitim ve yeniden beceri kazandırma programlarına yatırım yapılmalıdır. Böylelikle yapay zekanın potansiyelinden maksimum düzeyde yararlanılırken, olası olumsuz etkiler en aza indirilebilir (Qian vd., 2024).

2.1.3.1. Yapay Zekânın Avantajları

Yapay zekâ (YZ), insan benzeri düşünme ve problem çözme yeteneklerini bilgisayar sistemlerine kazandırarak son yıllarda küresel ölçekte büyük bir dönüşüm yaratmıştır. YZ'nin sağladığı başlıca avantajlar arasında verimliliği artırma, hata oranını azaltma, büyük veriyi işleme kapasitesi, maliyet tasarrufu ve kesintisiz hizmet sunma yer almaktadır (Russell ve Norvig, 2020).

YZ sistemleri, tekrarlayan görevleri otomatikleştirerek insan hatalarını minimize eder ve süreçleri daha hızlı ve etkili hâle getirir. Örneğin, sağlık sektöründe YZ tabanlı teşhis sistemleri doktorlara yardımcı olarak daha erken ve doğru tanımlar konulmasını sağlamaktadır. Ayrıca finans ve üretim gibi sektörlerde YZ, büyük hacimli verileri analiz ederek anlamlı içgörüler sunmakta ve karar alma süreçlerini hızlandırmaktadır (Brynjolfsson ve McAfee, 2016; Bhbosale vd., 2020).

YZ'nin sunduğu bir diğer önemli avantaj, 7/24 kesintisiz hizmet kapasitesidir. Müşteri hizmetlerinde kullanılan sohbet robotları (chatbotlar) ve sanal asistanlar, zaman ve coğrafi sınırlamalar olmadan kullanıcılarla etkileşim kurabilir. Tüm bu yönleriyle YZ, işletmeler ve toplumlar için üretkenliği artıran ve inovasyonu teşvik eden bir araç haline gelmiştir (Marcineková vd., 2025). Yapay zekanın avantajları maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir (Khanzode ve Sarode, 2020; Ahmad ve Qureshi, 2024);

- Verimlilik Artışı: YZ, tekrarlayan görevleri otomatikleştirerek insan iş gücünü daha verimli kullanmasını sağlar. Bu da üretkenliği artırır ve zaman tasarrufu sağlar. Bu sayede çalışanlar, rutin işlerden ziyade yaratıcılık, stratejik düşünme ve problem çözme gibi daha yüksek katma değerli faaliyetlere odaklanabilmektedir.
- Doğruluk ve Hassasiyet: YZ, özellikle tıbbi görüntüleme ve teşhis sistemlerinde, insan hatalarını azaltarak yüksek doğruluk ve hassasiyet sağlar. Bu, sağlık sektöründe önemli bir gelişmedir. Ayrıca erken teşhis imkânlarını güçlendirerek hastalıkların daha hızlı ve etkili biçimde tedavi edilmesine katkı sunmaktadır.
- Yenilikçi Çözümler: YZ, karmaşık problemleri çözmede yeni ve yaratıcı yöntemler sunarak yenilikçi çözümler üretir. Örneğin, otonom araçlar ve robotik cerrahi gibi gelişmeler, toplumu dönüştüren yeniliklerdir. Bu tür uygulamalar, hem insan müdahalesini minimize ederek güvenliğini artırmakta hem de teknolojik dönüşümün hızlanmasına öncülük etmektedir.
- Risk Azaltma: YZ, tehlikeli işler veya riskli çevrelerde insanların yerine çalışarak güvenliğini artırır. Özellikle sanayi, maden ve uzay araştırmalarında kullanımı önemlidir. Bu sayede iş kazaları ve insan kaynaklı riskler azaltılırken, zorlu koşullarda kesintisiz ve daha güvenli operasyonlar gerçekleştirilebilmektedir.
- Kişiselleştirilmiş Deneyimler: Eğitim, sağlık ve pazarlama alanlarında YZ, bireylerin ihtiyaçlarına göre kişiselleştirilmiş çözümler sunar. Bu, daha verimli hizmet ve daha iyi sonuçlar elde edilmesine yardımcı olur. Bu yaklaşım, kullanıcı memnuniyetini artırırken kaynakların daha etkin kullanılmasını ve karar süreçlerinin daha isabetli hâle gelmesini sağlar.

2.1.3.2. Yapay Zekânın Dezavantajları

Yapay zekâ (YZ), sunduğu çok yönlü faydalara rağmen beraberinde önemli dezavantajlar ve riskler de getirmektedir. Özellikle etik sorunlar, iş gücü üzerindeki etkiler, şeffaflık eksikliği ve güvenlik açıkları, YZ teknolojilerinin yaygınlaşmasında önemli endişelere yol açmaktadır (Russell ve Norvig, 2020).

YZ sistemleri, otomasyon nedeniyle bazı sektörlerde istihdam kaybına sebep olabilmektedir. Özellikle tekrarlayan ve manuel işlerde YZ'nin devreye girmesi, düşük ve orta gelirli çalışanlar için işsizlik riskini artırmaktadır. Ayrıca, algoritmaların eğitildiği verilerdeki önyargılar, YZ tabanlı karar destek sistemlerinde ayrımcılığa yol açabilmektedir (Bhbosale vd., 2020).

Bununla birlikte, derin öğrenme gibi karmaşık modellerin karar alma süreçlerini açıklamak zor olduğu için “kara kutu” (black box) sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu durum, şeffaflığı azaltmakta ve hatalı kararların nedenini anlamayı güçleştirmektedir. Son olarak, siber saldırılar ve veri mahremiyetine ilişkin ihlaller, YZ sistemlerinin güvenilirliğini sorgulatmaktadır. Tüm bu faktörler, YZ'nin geliştirilmesi ve uygulanmasında dikkatli olunması gerektiğini göstermektedir. Yapay zekanın dezavantajları maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir (Khanzode ve Sarode, 2020; Thomas ve Kuppasani, 2025);

- İşsizlik: YZ'nin otomasyonu, birçok işin makinelerle devredilmesine neden olabilir. Bu, özellikle düşük beceri gerektiren işlerde çalışanların işsizlik riskini artırır. Bu nedenle iş gücünün yeni beceriler kazanmasını destekleyen eğitim ve yeniden yetkinleştirme programlarının yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır.
- Etik Sorunlar: YZ, veri gizliliği, algoritmik ayrımcılık ve karar verme süreçlerinin şeffaf olmaması gibi etik sorunlara yol açabilir. Bu, toplumsal eşitsizlikleri derinleştirebilir. Bu risklerin azaltılabilmesi için yapay zekâ sistemlerinin tasarım ve kullanım aşamalarında etik ilkeler, hukuki düzenlemeler ve hesap verebilirlik mekanizmaları titizlikle uygulanmalıdır.
- Güvenlik ve Gizlilik Riski: YZ, siber saldırılara ve veri hırsızlığına karşı savunmasız olabilir. Özellikle kişisel verilerin kullanımı, gizlilik endişelerine yol açmaktadır. Bu nedenle güçlü siber güvenlik önlemleri, veri koruma

politikaları ve güvenli yapay zekâ mimarilerinin geliştirilmesi kritik bir gereklilik hâline gelmiştir.

- **Bağımlılık:** İnsanlar, YZ sistemlerine aşırı bağımlı hale gelebilir, bu da problem çözme yeteneklerinin zayıflamasına neden olabilir. Ayrıca, YZ'nin yanlış kararlar alması durumunda bu bağımlılık sorun yaratabilir. Bu yüzden yapay zekânın karar destek aracı olarak konumlandırılması ve insan denetiminin her zaman sürecin merkezinde tutulması büyük önem taşımaktadır.
- **Kontrol Kaybı:** YZ'nin karmaşıklığı arttıkça, sistemlerin ne şekilde çalıştığını ve hangi verileri kullanarak karar aldığını anlamak zorlaşır. Bu, kontrol kaybına ve YZ'nin potansiyel olarak insanlara zarar vermesine yol açabilir. Bu nedenle açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımlarının benimsenmesi ve düzenleyici çerçevelerle sistemlerin sürekli denetlenmesi, olası risklerin azaltılması açısından kritik bir gerekliliktir.

2.1.4. Yapay Zeka Uygulama Alanları

Yapay zekâ (YZ), insan benzeri düşünme, öğrenme ve karar verme yeteneklerini bilgisayar sistemlerine kazandırarak, pek çok sektörde devrim niteliğinde yenilikler yaratmıştır. YZ'nin uygulama alanları, sağlık hizmetlerinden finans sektörüne, eğitimden savunma sanayine kadar uzanmakta ve her bir alanda süregelen dönüşümlere öncülük etmektedir (Russell ve Norvig, 2020).

Sağlık alanında yapay zekâ; hastalık teşhisi, tıbbi görüntü analizi, kişiselleştirilmiş tedavi planları ve ilaç keşfi gibi kritik uygulamalarda kullanılmaktadır (Jimma, 2023). Finans sektöründe dolandırıcılık tespiti, kredi risk analizi, algoritmik alım-satım ve müşteri hizmetleri chatbotları yapay zekâ destekli çözümlerle yürütülmektedir (Riani, 2023). Eğitim alanında ise akıllı öğrenme sistemleri, öğrencilerin bireysel öğrenme hızına ve ihtiyaçlarına göre uyarlanmış içerikler sunarak öğrenme süreçlerini daha etkili hâle getirmektedir (Pham ve Sampson, 2022).

Endüstri ve tedarik zinciri yönetiminde yapay zekâ; talep tahmini, envanter optimizasyonu, üretim planlama ve lojistik süreçlerin iyileştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Otonom araçlar ve akıllı ulaşım sistemleri, yapay zekâ sayesinde trafik yönetimini optimize ederken güvenliği artırmaktadır. Müşteri hizmetlerinde kullanılan

sohbet robotları ve sanal asistanlar, 7/24 kesintisiz hizmet sunarak kullanıcı deneyimini iyileştirmektedir. Ayrıca tarım, enerji, güvenlik ve eğlence gibi birçok alanda da yapay zekâ uygulamaları yaygınlaşmaktadır (Russell ve Norvig, 2020).

Tüm bu örnekler, yapay zekânın disiplinler arası bir teknoloji olarak çok çeşitli alanlarda dönüştürücü potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Ancak bu uygulamaların etik, yasal ve toplumsal etkileri de göz önünde bulundurularak geliştirilmesi gerekmektedir. Yapay zekâ (YZ), teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte farklı sektörlerde geniş bir uygulama alanına sahiptir (Ortega-Bolaños vd., 2024).

2.1.4.1. Sağlık Sektörü

Sağlık sektöründe YZ'nın geniş bir kullanım alanı oluşmuştur. Sağlık alanında YZ, hastalıkların erken teşhisi, tedavi önerileri ve kişiselleştirilmiş ilaç geliştirme süreçlerinde kullanılmaktadır. Derin öğrenme algoritmaları, görüntüleme verilerinden hastalıkları tespit etme gibi görevlerde doktorlara önemli destek sağlamaktadır (Bajwa vd., 2021).

Buna ek olarak, YZ destekli klinik karar destek sistemleri, hekimlerin tanı ve tedavi süreçlerinde daha hızlı ve tutarlı kararlar almasına yardımcı olmaktadır. Elektronik sağlık kayıtlarının analizinde kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri, hasta risklerinin öngörülmesini ve önleyici sağlık hizmetlerinin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, uzaktan hasta izleme ve giyilebilir sağlık teknolojileriyle entegre edilen YZ uygulamaları, kronik hastalıkların yönetiminde sağlık hizmetlerinin sürekliliğini ve etkinliğini artırmaktadır (Fahim vd., 2025). Bu destekler arasında aşağıdaki noktalar belirtilebilir (Bohr ve Memarzadeh, 2020);

- Görüntüleme ve teşhisi: YZ, tıbbi görüntüleme, genetik veriler ve hasta geçmişi üzerinde analizler yaparak daha hızlı ve doğru teşhis koymaya yardımcı olur. Bu sayede klinisyenler, büyük ve karmaşık veri setlerinden elde edilen öngörülerle daha bilinçli kararlar verebilmekte ve teşhis süreçlerinde insan kaynaklı hatalar azaltılabilmektedir. Ayrıca YZ destekli karar destek sistemleri, erken evrede tespit edilmesi zor olan hastalıkların belirlenmesini kolaylaştırarak tedavi başarısını ve hasta yaşam kalitesini artırmaktadır.
- Bireysel Tedavi süreçleri ve planları: Yapay zekâ, her hastanın ihtiyaçlarına göre kişiselleştirilmiş tedavi planları oluşturur, bu da tedavi süreçlerini

optimize eder. Bu yaklaşım, hastaların genetik özellikleri, yaşam tarzı ve klinik geçmişi gibi çok boyutlu verilerin birlikte değerlendirilmesini mümkün kılar. Böylece tedaviye verilen yanıt daha doğru öngörülebilir, gereksiz müdahaleler azaltılabilir ve hem klinik etkinlik hem de kaynak kullanımı açısından daha verimli sağlık hizmetleri sunulabilir.

- Otonom ve robotik Cerrahi: YZ, robotik cerrahilerde kullanılmakta ve cerrahların hassasiyetini artırarak iyileşme süreçlerini hızlandırmaktadır. Yapay zekâ destekli sistemler, ameliyat sırasında gerçek zamanlı veri analizi ve görüntü işleme yetenekleri sayesinde cerrahlara daha isabetli yönlendirmeler sunmaktadır. Bu durum, cerrahi komplikasyon risklerinin azalmasına katkı sağlarken hastanede kalış süresini kısaltarak hasta güvenliği ve tedavi başarısını artırmaktadır.

2.1.4.2. Eğitim Sektörü

Yapay zekâ (YZ), eğitim alanında öğrenci merkezli ve kişiselleştirilmiş öğrenme yaklaşımlarının geliştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Öğretim süreçlerinin otomasyonu, veri odaklı analizler ve akıllı öğretim sistemleri sayesinde YZ, geleneksel eğitim modellerinin sınırlarını genişletmiştir (Farhood vd., 2025).

YZ, öğrencilerin öğrenme hızına ve seviyesine uygun olarak içerik sunan kişiselleştirilmiş öğrenme sistemleri geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Örneğin, akıllı öğretim sistemleri, öğrenci performansını analiz ederek eksiklikleri belirler ve uygun materyaller önerir. Chatbotlar ve sanal asistanlar, öğrencilere 7/24 destek sunarak öğrenme sürecini daha erişilebilir hale getirmektedir (Garzón vd., 2025).

Ayrıca, öğretmenler için YZ tabanlı analiz araçları, sınıf içi başarı durumlarını değerlendirme ve bireysel öğrencilerin güçlü ve zayıf yönlerini belirleme imkânı sunmaktadır. Bu sayede öğretim stratejileri daha etkili bir şekilde uyarlanabilmektedir. Bununla birlikte, eğitimde YZ uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte etik ve mahremiyet konuları da tartışılmaktadır. YZ, eğitimin kalitesini artırma ve daha kapsayıcı öğrenme ortamları oluşturma potansiyeline sahip olsa da, bu teknolojilerin tasarımında ve uygulanmasında insan merkezli yaklaşımlar benimsenmelidir (Tahiru, 2021). Bunlara ek olarak da aşağıdaki alanlar belirtilebilir (Holmes vd., 2019);

- Kişiselleştirilmiş Öğrenme: Yapay zekâ, öğrencilerin öğrenme hızına ve tarzına göre uyarlanmış eğitim materyalleri ve öğretim stratejileri sunar. Bu sayede her öğrencinin güçlü ve gelişime açık yönleri daha doğru biçimde belirlenerek bireysel öğrenme deneyimi desteklenir. Ayrıca YZ tabanlı öğrenme analitiği araçları, öğrencilerin ilerlemesini sürekli izleyerek anlık geri bildirim sunar ve öğrenme sürecinin daha etkili ve sürdürülebilir olmasına katkı sağlar.
- Otomatik Değerlendirme: Öğrenci başarılarını analiz ederek hızlı ve objektif değerlendirmeler sağlar. Bu yaklaşım, değerlendirme süreçlerinde öğretmen üzerindeki iş yükünü azaltırken ölçme-değerlendirme sonuçlarının tutarlılığını artırmaktadır. Ayrıca veri temelli geri bildirimler sayesinde öğrencilerin öğrenme eksiklikleri erken aşamada tespit edilerek zamanında ve hedefe yönelik müdahaleler yapılabilmektedir.
- Eğitimde Yapay Zeka Destekli Öğretmen Asistanları: Eğitim materyallerinin oluşturulmasında ve öğrenci geri bildirimlerinin sağlanmasında kullanılır. Yapay zekâ destekli sistemler, içerik üretim süreçlerini otomatikleştirerek öğretim materyallerinin güncel, etkileşimli ve öğrenci seviyesine uygun hâle gelmesini sağlar. Ayrıca öğrenci performans verilerine dayalı kişiselleştirilmiş geri bildirimler sunarak öğrenme sürecinin daha etkili ve motive edici olmasına katkıda bulunur.

2.1.4.3. Pazarlama ve Tüketici Davranışları

Yapay zekâ (YZ), pazarlama stratejilerinin geliştirilmesinde ve tüketici davranışlarının analizinde çığır açan yenilikler sunmaktadır. Makine öğrenimi, doğal dil işleme ve tahmine dayalı analitik gibi YZ teknolojileri, firmalara müşteri beklentilerini daha iyi anlama ve kişiselleştirilmiş pazarlama kampanyaları oluşturma fırsatı sağlamaktadır (Sudhir ve Toubia, 2023).

YZ, büyük veri analizleri yoluyla tüketici davranışları hakkında derinlemesine içgörüler sunar. Örneğin, alışveriş geçmişi, sosyal medya etkileşimleri ve çevrim içi gezinme verileri, algoritmalar aracılığıyla analiz edilerek müşteri profillemesi yapılır ve hedef odaklı reklamcılık stratejileri geliştirilir. Chatbotlar ve sanal asistanlar, tüketicilerle gerçek zamanlı etkileşim kurarak müşteri hizmetlerinin kalitesini

arttırırken, kişiselleştirilmiş öneri sistemleri tüketici deneyimini iyileştirmektedir (Chintalapati ve Pandey, 2022).

Ayrıca, YZ'nin sunduğu tahmine dayalı analitik, şirketlerin pazarlama kampanyalarının başarısını önceden değerlendirmesine ve dinamik fiyatlandırma stratejileri oluşturmaya olanak tanır. Bununla birlikte, veri gizliliği ve etik pazarlama konuları, YZ tabanlı sistemlerin geliştirilmesinde dikkate alınması gereken önemli hususlar olarak ortaya çıkmaktadır. YZ, pazarlama dünyasında rekabet avantajı sağlayan güçlü bir araç haline gelmiş olsa da, tüketici odaklı ve şeffaf bir şekilde kullanılması, uzun vadeli başarı için kritik öneme sahiptir (Huang ve Rust, 2021). Bunlara ek olarak da aşağıdaki alanlar da belirtilebilir (Sudhir ve Toubia, 2023);

- Hedeflenmiş Reklamlar: YZ, kullanıcı verilerini analiz ederek kişiye özel reklam ve pazarlama stratejileri geliştirir. Bu sayede tüketicilerin ilgi alanları, satın alma eğilimleri ve çevrim içi davranışları daha doğru biçimde tahmin edilebilmektedir. Ayrıca yapay zekâ destekli kişiselleştirme yaklaşımları, pazarlama kampanyalarının etkililiğini artırırken müşteri memnuniyeti ve marka bağlılığının güçlenmesine katkı sağlamaktadır.
- Chatbotlar ve Sanal Asistanlar: Müşteri hizmetlerinde otomatik yanıt veren yapay zekâ sistemleri, kullanıcıların sorularına anında yanıt verir. Bu sistemler, doğal dil işleme teknikleri sayesinde kullanıcı taleplerini doğru biçimde anlayarak tutarlı ve standartlaştırılmış hizmet sunar. Ayrıca 7/24 erişilebilir olmaları, müşteri memnuniyetini artırırken işletmelerin operasyonel maliyetlerini azaltmalarına katkı sağlar.
- Tüketici Davranışlarını Analiz Etme: YZ, büyük veri analizleri yaparak tüketici alışkanlıklarını ve eğilimlerini tahmin eder. Bu öngörüler, işletmelerin pazar dinamiklerine daha hızlı uyum sağlamasına ve stratejik kararlarını veri temelli biçimde şekillendirmesine olanak tanır. Ayrıca yapay zekâ destekli tahmin modelleri, talep dalgalanmalarını önceden belirleyerek stok yönetimi, fiyatlandırma ve kampanya planlaması gibi süreçlerin optimize edilmesine katkı sağlar.

2.1.4.4. Üretim ve Endüstri Sektörü

Yapay zekâ (YZ), üretim ve endüstri sektöründe otomasyon, verimlilik artışı ve kalite kontrol gibi alanlarda devrim yaratan bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Endüstri 4.0 konsepti ile birlikte YZ, geleneksel üretim süreçlerini dijitalleştirerek daha esnek, hızlı ve verimli üretim sistemlerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Zonta vd., 2020).

YZ, akıllı robotlar, öngörücü bakım sistemleri ve üretim optimizasyonu gibi uygulamalarla endüstriyel üretimi dönüştürmektedir. Örneğin, makine öğrenimi algoritmaları, üretim hattındaki arızaları önceden tahmin ederek bakım maliyetlerini azaltmakta ve operasyonel sürekliliği sağlamaktadır. Ayrıca, bilgisayarla görme sistemleri sayesinde kalite kontrol süreçlerinde insan gözüyle fark edilemeyecek hatalar bile tespit edilebilmektedir (Javaid vd., 2022).

YZ tabanlı sistemler, tedarik zinciri yönetiminde de önemli bir rol oynamaktadır. Talep tahmini, stok yönetimi ve lojistik optimizasyonu gibi alanlarda YZ'nin kullanımı, kaynakların daha etkin kullanılmasını ve maliyetlerin düşürülmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte, YZ'nin üretim süreçlerine entegrasyonu veri güvenliği, iş gücü dönüşümü ve yüksek başlangıç maliyetleri gibi bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir (Alenizi vd., 2023).

Tüm bu gelişmeler, yapay zekânın üretim ve endüstri sektöründe rekabet avantajı sağlayan bir unsur olduğunu ve gelecekte sektörün temel bileşeni haline geleceğini göstermektedir. Bunlara ek olarak da aşağıdaki alanlar da belirtilebilir (Kejriwal, 2023);

- Otomatik Üretim Hatları: Yapay zekâ, üretim süreçlerini hızlandırmak ve maliyetleri düşürmek için robotlar ve otomasyon sistemleri kullanır. Yapay zekâ destekli robotlar, tekrarlayan ve yüksek hassasiyet gerektiren görevleri kesintisiz şekilde yerine getirerek üretim hatlarında verimliliği artırmaktadır. Ayrıca otomasyon sistemlerinin gerçek zamanlı veri analiziyle desteklenmesi, süreçlerdeki darboğazların hızlıca tespit edilmesini sağlayarak kaynak kullanımını optimize etmektedir.
- Bakım ve Arıza Tahmini: Sensörlerden gelen verileri analiz ederek makine arızalarını tahmin eder ve bakım sürelerini optimize eder. Bu yaklaşım, plansız duruşların önüne geçilmesine yardımcı olurken üretim sürekliliğini ve sistem

güvenilirliğini artırmaktadır. Ayrıca tahmine dayalı bakım uygulamaları sayesinde gereksiz bakım işlemleri azaltılmakta, bakım maliyetleri düşürülerek ekipman ömrü uzatılmaktadır.

- Tedarik Zinciri Yönetimi: YZ, lojistik süreçlerde verimliliği artırmak için talep tahminleri yapar ve envanter yönetimini optimize eder. Bu sayede işletmeler, stok fazlası veya stok yetersizliği gibi sorunları önceden öngörerek tedarik zinciri risklerini azaltabilmektedir. Ayrıca yapay zekâ destekli analizler, dağıtım ve depolama süreçlerinin daha etkin planlanmasına katkı sağlayarak maliyetleri düşürmekte ve müşteri memnuniyetini artırmaktadır.

2.1.4.5. Otomotiv Sektörü

Yapay zekâ (YZ), otomotiv sektöründe son yıllarda en dikkat çekici teknolojik gelişmelerin temelinde yer almakta ve sektörde köklü bir dönüşüm sağlamaktadır. Sürücüsüz araçlar, akıllı trafik yönetimi, otonom park sistemleri ve gelişmiş sürücü destek sistemleri (ADAS) gibi uygulamalar, YZ'nin otomotiv alanındaki etkisini somutlaştıran başlıca örneklerdir. Özellikle Endüstri 4.0 paradigmasıyla birlikte otomotiv üretim süreçlerinde YZ, kalite kontrol, üretim hattı optimizasyonu ve tahmine dayalı bakım gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Kamran vd., 2022).

YZ'nin otomotiv sektöründeki en çarpıcı uygulamalarından biri otonom araç teknolojileridir. Bu sistemler, derin öğrenme ve bilgisayarla görme algoritmaları aracılığıyla çevreyi algılar, trafik durumunu analiz eder ve gerçek zamanlı kararlar alır. Örneğin, Tesla ve Waymo gibi şirketler, seviye 4 ve 5 otonom sürüş sistemlerini geliştirmek için YZ tabanlı modellerden yararlanmaktadır (Banerjee, 2021).

Yapay zeka ayrıca akıllı Sürücü Destek Sistemleri (ADAS), çarpışma önleme, şerit takip asistanları ve adaptif hız sabitleyiciler gibi gelişmiş sürücü destek sistemlerinin temelinde yer almaktadır. Bu sistemler, sürücü hatalarından kaynaklanan kazaları azaltmayı ve yol güvenliğini artırmayı hedefler (Adrian vd., 2025).

Yine üretim süreçlerinde ve otomotiv üretiminde YZ, robotik otomasyon sistemleriyle entegre edilerek üretim hatlarının verimliliğini artırır. Makine öğrenimi tabanlı algoritmalar, üretim sırasında ortaya çıkabilecek olası arızaları önceden tahmin ederek bakım maliyetlerini düşürmektedir. YZ'nin otomotiv sektöründeki yaygınlaşması, beraberinde etik ve hukuki soruları da gündeme getirmektedir. Otonom araçların karar

mekanizmalarında yaşanan “kaza anında kimin korunacağı” gibi konular, sektörün karşılaştığı en büyük zorluklardan biridir (Ahmed vd., 2022).

Sonuç olarak, yapay zekâ teknolojileri otomotiv sektörünü daha güvenli, verimli ve kullanıcı dostu hale getirme potansiyeline sahiptir. Ancak bu teknolojilerin etik, hukuki ve toplumsal boyutları dikkate alınarak geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bunlara ek olarak aşağıdaki alanlar da belirtilebilir (Rajendran vd., 2024);

- **Otonom Araçlar:** Yapay zekâ, otonom araçların geliştirilmesinde kullanılır. Bu araçlar, çevreyi algılar, kararlar alır ve trafik kurallarına göre hareket eder. Derin öğrenme ve sensör füzyonu teknikleri sayesinde otonom araçlar, kamera, radar ve lidar gibi farklı veri kaynaklarını birlikte analiz edebilmektedir. Bu sayede sürüş güvenliği artırılmakta, insan hatasından kaynaklanan kazaların azaltılması ve trafik akışının daha verimli hâle getirilmesi hedeflenmektedir.
- **Sürüş Yardım Sistemleri:** YZ, sürücülere park etme, hız kontrolü, acil durum frenlemesi gibi konularda yardımcı olan sistemler geliştirilmiştir. Bu tür gelişmiş sürücü destek sistemleri (ADAS), sensörler ve yapay zekâ algoritmaları aracılığıyla çevresel riskleri sürekli izleyerek sürüş güvenliğini artırmaktadır. Ayrıca sürücünün yükünü azaltarak daha konforlu ve kontrollü bir sürüş deneyimi sunmakta, kaza risklerinin önemli ölçüde düşürülmesine katkı sağlamaktadır.

2.1.4.6. Finans ve Ekonomi Sektörü

Yapay zekâ (YZ), finans ve ekonomi alanlarında karar alma süreçlerini dönüştüren en önemli teknolojilerden biri haline gelmiştir. Büyük veri, makine öğrenimi ve doğal dil işleme gibi YZ teknikleri, finansal kurumlara daha hızlı, doğru ve öngörülebilir çözümler sunma imkânı sağlamaktadır. Algoritmik ticaret, kredi risk analizi, dolandırıcılık tespiti ve portföy yönetimi, YZ’nin bu sektörde en yaygın kullanıldığı başlıca uygulamalardır (Hilpisch, 2020).

Algoritmik ticaret ve portföy yönetimi için YZ, algoritmik ticaret sistemleri sayesinde saniyeler içinde milyonlarca veriyi analiz ederek en uygun yatırım kararlarını alabilir. Derin öğrenme modelleri, geçmiş piyasa verilerinden öğrenerek gelecekteki fiyat hareketlerini tahmin edebilmekte ve böylece yatırımcılara rekabet avantajı sağlamaktadır. Ayrıca robo-danışmanlık sistemleri, bireysel yatırımcılara otomatik

portföy yönetimi hizmeti sunarak yatırım kararlarının kişiselleştirilmesini mümkün kılmaktadır (Ahmed vd., 2022).

Kredi risk analizi ve dolandırıcılık tespiti için bankacılık sektöründe YZ, kredi başvurularını değerlendirmek için geleneksel yöntemlerden daha doğru modeller sunmaktadır. Makine öğrenimi algoritmaları, başvuru sahiplerinin finansal geçmişini ve davranışsal verilerini analiz ederek kredi riskini hızlı ve doğru bir şekilde tahmin edebilir. Dolandırıcılık tespitinde ise YZ sistemleri, anormal işlemleri gerçek zamanlı olarak belirleyerek finansal kayıpların önüne geçmektedir (Bahoo vd., 2024).

Ekonomik öngörüler ve politika analizleri ve ekonomi alanında YZ, makroekonomik göstergelerin tahmininde ve politika etkilerinin simülasyonunda önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Örneğin, doğal dil işleme teknikleri sayesinde sosyal medya verileri ve haber akışları analiz edilerek piyasa duyarlılığı ölçülebilmektedir. Ancak YZ'nin finans ve ekonomi alanındaki yaygınlaşması, veri gizliliği, etik karar alma süreçleri ve algoritmik önyargı gibi bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, YZ sistemlerinin şeffaflığı ve denetlenebilirliği finansal sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca aşağıda liste olarak da belirtilmiştir (Hilpisch, 2020);

- Yatırım Tahminleri: YZ, borsa ve finansal piyasalarda yatırımcıların daha iyi kararlar almasına yardımcı olacak analizler yapar. Bu kapsamda YZ tabanlı algoritmalar, geçmiş piyasa verilerini ve anlık dalgalanmaları analiz ederek fiyat hareketlerine ilişkin daha isabetli tahminler üretebilmektedir. Ayrıca duygu analizi ve haber akışı değerlendirmeleri sayesinde yatırımcılar, piyasa psikolojisini daha iyi anlayarak risklerini daha etkin biçimde yönetebilmektedir.
- Dolandırıcılık Tespiti: YZ, finansal işlemleri analiz ederek anormal davranışları tespit eder ve dolandırıcılığı engeller. Bu doğrultuda makine öğrenimi algoritmaları, işlem örüntülerini sürekli izleyerek olağandışı hareketleri gerçek zamanlı olarak belirleyebilmektedir. Böylece finansal kurumlar, potansiyel dolandırıcılık girişimlerine hızlı müdahale ederek hem maddi kayıpları hem de güvenlik risklerini önemli ölçüde azaltabilmektedir.
- Risk Yönetimi: Finansal risklerin belirlenmesi ve yönetilmesinde kullanılır. YZ tabanlı modeller, piyasa oynaklığı, kredi riski ve likidite riski gibi unsurları çok boyutlu veri analizleriyle değerlendirerek olası senaryoları önceden tahmin

edebilmektedir. Bu sayede kurumlar, risklere karşı daha proaktif stratejiler geliştirerek finansal istikrarlarını güçlendirebilmektedir.

2.1.4.7. Tarım Sektörü

Yapay zekâ (YZ), tarım sektöründe üretkenliği artırmak, kaynak kullanımını optimize etmek ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemek amacıyla hızla yaygınlaşan bir teknoloji haline gelmiştir. Geleneksel tarım yöntemleri, dünya nüfusunun artışı ve iklim değişikliği gibi küresel sorunlara yanıt vermekte yetersiz kalırken, YZ tabanlı çözümler bu zorlukların üstesinden gelmek için yenilikçi fırsatlar sunmaktadır (Bannerjee vd., 2018).

Hassas tarım ve veri tabanlı karar destek sistemleri olarak YZ, hassas tarım uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Sensörler ve insansız hava araçları (İHA'lar) aracılığıyla toplanan veriler, makine öğrenimi algoritmaları ile analiz edilerek bitki sağlığı, toprak kalitesi ve nem oranı gibi parametreler hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlar. Bu sayede çiftçiler, sulama, gübreleme ve pestisit uygulamalarını daha verimli bir şekilde planlayabilir (Sharma vd., 2023).

Otonom tarım makineleri ve robotik sistemler konusunda YZ destekli otonom traktörler, biçerdöverler ve robotik hasat makineleri, insan gücüne olan bağımlılığı azaltarak iş süreçlerini hızlandırmaktadır. Görüntü işleme teknikleri sayesinde yabancı otları tespit eden ve ayıklayan robotlar, çevre dostu üretim için kimyasal kullanımını da minimize eder (Ahmad ve Nabi, 2021).

İklim tahminleri ve hastalık erken uyarı sistemleri için YZ, iklim verilerini analiz ederek olası kuraklık, don ve sel gibi riskleri önceden tahmin edebilmekte ve böylece tarımsal üretimde kayıpların önüne geçmektedir. Ayrıca bitki hastalıklarını ve zararlı istilalarını erken aşamada tespit eden sistemler, verim kaybını en aza indirmeyi mümkün kılar (Javaid vd., 2023).

Zorluklar ve geleceğe bakış olarak YZ'nin tarıma entegrasyonu birçok avantaj sağlamakla birlikte, yüksek maliyet, teknik bilgi eksikliği ve veri güvenliği gibi bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Ancak bu teknolojilerin doğru uygulanması halinde, tarım sektörü daha sürdürülebilir, verimli ve iklim değişikliğine dayanıklı bir yapıya kavuşabilir. Ayrıca aşağıda liste olarak da verilmiştir (Chouhan vd., 2024);

- Verimlilik İzleme: YZ, çiftliklerde toprak ve hava koşullarını izleyerek verimi artırmaya yönelik öneriler sunar. Bu kapsamda sensörler ve uydu görüntülerinden elde edilen veriler, yapay zekâ algoritmaları tarafından analiz edilerek sulama, gübreleme ve ekim zamanlaması optimize edilebilmektedir. Böylece çiftçiler, çevresel koşullara daha hızlı uyum sağlayarak hem ürün verimini artırmakta hem de kaynak kullanımını daha sürdürülebilir hâle getirmektedir.
- Bitki Hastalıkları Tespiti: YZ, görüntü işleme teknikleriyle bitki hastalıklarını erken aşamada tespit eder. Bu sayede yaprak, gövde ve meyve üzerindeki renk, doku ve şekil değişimleri analiz edilerek hastalık belirtileri insan gözüyle fark edilmeden önce belirlenebilmektedir. Erken teşhis imkânı, zamanında müdahaleyi mümkün kılarak ürün kayıplarını azaltmakta ve tarımsal verimliliği artırmaktadır.

2.1.4.8. Güvenlik ve Savunma Sektörü

Yapay zekâ (YZ), güvenlik ve savunma sektörlerinde giderek artan bir şekilde stratejik bir unsur haline gelmiştir. Otonom silah sistemleri, siber güvenlik çözümleri, istihbarat analizi ve gözetim teknolojileri gibi pek çok alanda YZ'nin sunduğu yenilikçi çözümler, ülkelerin savunma kapasitesini artırmakta ve tehditlere karşı daha hızlı tepki verme yeteneği sağlamaktadır (Bastian, 2021).

Otonom sistemler ve insansız araçlar için YZ, insansız hava araçları (İHA), insansız kara araçları (İKA) ve denizaltı sistemlerinde temel bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Bu otonom sistemler, keşif, gözetleme ve hedef tespiti gibi görevleri insan müdahalesi olmadan yerine getirebilme kapasitesine sahiptir. Derin öğrenme ve görüntü işleme teknikleri, bu sistemlerin çevreyi algılamasını ve gerçek zamanlı kararlar almasını mümkün kılarak operasyonel etkinliği artırmaktadır (Pal vd., 2023).

Siber güvenlikte yapay zekâ ve savunma sektöründe YZ, siber güvenlik alanında da kritik bir rol oynamaktadır. Makine öğrenimi algoritmaları, anormal ağ trafiğini tespit ederek olası siber saldırıları önceden belirleyebilmekte ve otomatik karşı önlemler geliştirebilmektedir. Bu, özellikle askeri iletişim ağlarının korunması açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır (Mohamed, 2025).

İstihbarat analizi ve tehdit değeriendirmesi için doğal dil işleme (NLP) teknikleri, açık kaynaklardan ve sosyal medya platformlarından elde edilen büyük hacimli verilerin analiz edilmesinde kullanılmakta; böylece potansiyel tehditler hakkında öngörüler geliştirilmektedir. Bu sayede askeri ve istihbarat birimleri, hızlı ve veri odaklı kararlar alabilmektedir (Ismail, 2024).

Etik ve hukuki tartışmalar içinde YZ'nin savunma alanında yaygınlaşması, etik ve hukuki açıdan tartışmalı bir konudur. Özellikle otonom silah sistemlerinin insan denetimi olmaksızın ölümcül kararlar alabilme yeteneği, uluslararası kamuoyunda ciddi endişelere yol açmaktadır. Bu nedenle YZ'nin askeri kullanımı, yalnızca teknolojik bir mesele değil, aynı zamanda etik ve stratejik bir sorumluluk olarak ele alınmaktadır (Hamad, 2025).

Sonuç olarak, yapay zekâ güvenlik ve savunma sektörlerinde devrim niteliğinde yenilikler sunarken, bu teknolojilerin dikkatli ve sorumlu bir şekilde geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu konuda aşağıdaki liste verilebilir (Mohamed, 2025);

- Siber Güvenlik: YZ, ağ trafiğini analiz ederek siber saldırılara karşı koruma sağlar ve güvenlik açıklarını tespit eder. Bu kapsamda yapay zekâ tabanlı sistemler, normal ağ davranışlarını öğrenerek olağandışı trafik örüntülerini gerçek zamanlı olarak belirleyebilmektedir. Böylece potansiyel güvenlik açıkları erken aşamada tespit edilerek saldırılara karşı proaktif ve etkili savunma mekanizmaları geliştirilebilmektedir.
- Yüz Tanıma Sistemleri: Güvenlik kameraları ve biyometrik sistemlerde, YZ, yüz tanıma teknolojilerini kullanarak güvenliği artırır. Bu sistemler, derin öğrenme tabanlı algoritmalar sayesinde yüz özelliklerini yüksek doğrulukla analiz ederek yetkisiz kişilerin hızlı bir şekilde tespit edilmesini sağlar. Ayrıca gerçek zamanlı kimlik doğrulama ve izleme imkânı sunarak kamu alanları ve kritik tesislerde güvenlik seviyesinin artırılmasına katkıda bulunur.

2.1.4.9. Enerji Sektörü

Yapay zekâ (YZ), enerji sektöründe üretimden dağıtıma, tüketimden yönetim süreçlerine kadar birçok alanda devrim yaratmaktadır. Artan enerji talebi, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve iklim değışikliği gibi küresel zorluklar, enerji yönetiminde daha akıllı ve öngörücü sistemlerin geliştirilmesini zorunlu hale

getirmiştir. Bu bağlamda YZ, enerji sektöründe verimlilik, sürdürülebilirlik ve esnekliğin artırılmasına yönelik yenilikçi çözümler sunmaktadır (Shahverdi vd., 2025).

Yenilenebilir enerji yönetimi ve talep tahmini için, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının doğası gereği değişken olması, enerji arz ve talep dengesini korumayı zorlaştırmaktadır. YZ tabanlı makine öğrenimi algoritmaları, hava durumu verilerini analiz ederek güneş ve rüzgâr enerjisi üretimini tahmin edebilir ve böylece şebeke kararlılığını artırır. Ayrıca, enerji talebini tahmin eden sistemler, üretim ve dağıtım süreçlerinin optimize edilmesine katkı sağlar (Ahmad vd., 2021).

Akıllı şebekeler ve enerji dağıtımı için YZ, akıllı şebekelerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Akıllı sayaçlardan elde edilen büyük veriler, tüketim modellerini analiz etmek ve yük dengelemesi yapmak için kullanılır. Bu sayede enerji arzı ve talebi dinamik olarak yönetilerek hem maliyetler düşürülür hem de enerji israfı önlenir. Arıza tespiti ve bakım süreçlerinde ise, enerji altyapılarında meydana gelen arızalar, ciddi ekonomik ve çevresel sonuçlar doğurabilir. YZ destekli öngörücü bakım sistemleri, sensör verilerini analiz ederek ekipman arızalarını önceden tespit edebilir ve kesintisiz enerji sağlanmasına yardımcı olur (Lyu ve Liu, 2021).

Sürdürülebilirlik ve karbon ayak izi azaltımında YZ tabanlı sistemler, enerji verimliliğini artırarak karbon emisyonlarını azaltma çabalarına da katkı sağlamaktadır. Örneğin, binalarda kullanılan akıllı enerji yönetim sistemleri, tüketimi optimize ederek çevresel sürdürülebilirliğe destek olmaktadır (Zhao vd., 2025).

Zorluklar ve geleceğe bakış noktasında, her ne kadar YZ, enerji sektöründe büyük avantajlar sunsa da yüksek yatırım maliyetleri, veri güvenliği ve etik konular gibi bazı zorluklar da gündeme gelmektedir. Bununla birlikte, YZ'nin doğru bir şekilde uygulanmasıyla enerji sektörü daha esnek, akıllı ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşabilir. Ayrıca aşağıda liste olarak da verilmiştir (Park, 2025);

- Akıllı Enerji Yönetimi: YZ, enerji tüketimini optimize etmek için akıllı şebekeler kullanır, böylece daha verimli enerji dağıtımı sağlanır. Bu sayede akıllı şebekeler, gerçek zamanlı tüketim verilerini analiz ederek talep–arz dengesini dinamik biçimde ayarlayabilir ve enerji kayıplarını en aza indirebilir. Ayrıca YZ destekli sistemler, tüketici davranışlarını öngörerek pik talep dönemlerini yönetir ve şebeke güvenilirliğini artırır.

- Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yönetimi: YZ, güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimini ve dağıtımını yönetir. Bu kapsamda YZ, hava durumu tahminlerini ve geçmiş üretim verilerini analiz ederek yenilenebilir enerji üretimindeki dalgalanmaları öngörebilir. Böylece enerji depolama sistemleri ve şebeke entegrasyonu daha etkin şekilde planlanarak arz güvenliği ve sistem kararlılığı artırılır.

2.1.4.10. Hukuk

Yapay zekâ (YZ), hukuk alanında son yıllarda hızla gelişen bir teknoloji olarak, hukuki süreçlerin daha verimli, hızlı ve erişilebilir hale gelmesine katkıda bulunmaktadır. Büyük veri analitiği, doğal dil işleme (NLP) ve makine öğrenimi gibi YZ teknikleri; dava yönetimi, sözleşme inceleme, hukuki araştırmalar ve hatta karar destek sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu gelişmeler, hukukun işleyişine yenilikçi çözümler sunarken, aynı zamanda etik ve hukuki sorumluluk tartışmalarını da beraberinde getirmektedir (Surden, 2021; Lai vd., 2024).

Hukuki araştırma ve sözleşme analizinde YZ, hukuk profesyonellerinin büyük miktardaki hukuki belgeleri tarayarak hızlı bir şekilde sonuçlara ulaşmalarını sağlamaktadır. Özellikle NLP tabanlı sistemler, mahkeme kararlarını, mevzuatı ve içtihatları analiz ederek avukatlara önemli içgörüler sunmaktadır. Ayrıca, YZ destekli sözleşme analizi araçları, belgelerdeki potansiyel riskleri ve eksiklikleri belirleyerek hukuki süreçleri hızlandırmakta ve hata oranlarını azaltmaktadır (Shahid vd., 2023).

Tahmin sistemleri ve karar destek alanında ve hukuki alanda YZ'nin en dikkat çekici uygulamalarından biri, mahkeme kararlarını tahmin eden algoritmalar. Bu sistemler, benzer davalardaki sonuçları analiz ederek yeni vakalarda olası kararlar hakkında öngörülerde bulunabilir. YZ tabanlı karar destek sistemleri, hâkim ve avukatlara yol gösterici bilgiler sunarken, dava süreçlerinde tutarlılığın artırılmasına katkıda bulunmaktadır (Dina vd., 2025).

Etik ve hukuki tartışmalar noktasında, hukuk alanında YZ'nin kullanımı, beraberinde önemli etik ve hukuki sorunları da gündeme getirmektedir. Özellikle algoritmik önyargılar, şeffaflık ve hesap verebilirlik eksiklikleri, adaletin sağlanması açısından tartışmalara yol açmaktadır. Ayrıca, YZ'nin hukuki karar alma süreçlerine dahil edilmesi, “insan yargısının” rolü üzerine önemli soruları beraberinde getirmektedir

(Hermansyah vd., 2023). Sonuç olarak, yapay zekâ hukuk alanında verimliliği artıran güçlü bir araç haline gelmiş olsa da, bu teknolojinin sorumlu ve etik bir şekilde geliştirilmesi ve uygulanması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca aşağıda liste olarak da verilmiştir (Rafanelli, 2022);

- Hukuki Belgelerin Analizi: YZ, büyük veri ve makine öğrenimi algoritmalarını kullanarak hukuki belgeleri tarar ve analiz eder. YZ, doğal dil işleme (NLP) teknikleri sayesinde sözleşmeler, mahkeme kararları ve mevzuat metinleri içerisindeki anahtar kavramları, ilişkileri ve risk unsurlarını otomatik olarak tespit edebilmektedir. Bu sayede hukuk profesyonelleri, zaman alan manuel inceleme süreçlerini azaltarak daha hızlı, tutarlı ve veri temelli hukuki değerlendirmeler yapabilmektedir.
- Dava Tahminleri: YZ, geçmiş davalar ve mahkeme kararları üzerinden öğrenerek olası dava sonuçlarını tahmin edebilir. Bu tahminler, benzer olaylarda verilen kararların istatistiksel analizi ve örüntü tanıma yöntemleri kullanılarak oluşturulmaktadır. Böylece avukatlar ve hukuk danışmanları, dava stratejilerini daha bilinçli şekilde planlayarak riskleri önceden değerlendirme imkânı elde etmektedir.

2.2. Blokzincir Teknolojisi

Blokzincir teknolojisi Bitcoin'in piyasaya sürüldüğü 2008 yılı itibariyle ilgi görmeye başlamıştır. Nitekim Bitcoin, blokzincir teknolojisinin kullanıldığı ilk yerdir (Vern vd., 2025). Firmalara nasıl katkı sunabileceği ile ilgili akademik araştırmalar ise 2016'dan itibaren büyük hızla artmıştır (Zhang vd., 2024). Çünkü blokzincir teknolojisi her ne kadar finans ile ilişkili bir teknoloji olarak görülse de aslında tedarik zinciri yönetimi, lojistik ve üretim gibi pek çok alana değer sağlama potansiyeline sahiptir (Moosavi vd., 2021).

Blokzincir teknolojisi bir ağ içerisinde kayıt tutulmasını mümkün kılmaktadır. Bu kayıtlar ağdaki aktörler tarafından gerçek zamanlı olarak eklenebilmekte ve değiştirilememektedir (Javaid vd., 2021). Ayrıca, kayıtlar kendi içerisinde doğrulanabilir. Yani, doğrulama için üçüncü bir tarafın varlığına ya da merkezi bir sisteme ihtiyaç bulunmamaktadır (Iansiti ve Lakhani, 2017). Diğer bir deyişle

blokzincir teknolojisi, merkezi olmayan ve eklemeli bir dijital defteri ifade etmektedir ve verilerin değiştirilmesi neredeyse imkansızdır (Köhler ve Pizzol, 2020).

Blokzincir teknolojisinin tedarik zincirinde kullanılmasıyla zincir boyunca tüm taraflar işlemlerini burada saklayabilmektedir (Casado-Vara vd., 2018). Böylece silinemez ve üzerinde oynanamaz bir geçmiş bilgi altyapısı oluşmuş olur (Gupta vd., 2024). Düşük maliyetli bir şekilde bunu mümkün hale getiren blokzincir teknolojisi, bu sayede paydaşlar arasındaki güveni garanti altına almakta ve sürekli kontrol edilebilirliği sağlamaktadır (Jabbar vd., 2021). Blokzincir teknolojisi verilerin depolanmasını sağlamanın yanı sıra etkili bir biçimde dağıtımını ve paylaşımını da sağlamaktadır (Gupta vd., 2024). Dolayısıyla blokzincir ürünün konumu ve kökeni gibi pek çok bilginin takip edilmesini sağlamakta (Cozzio vd., 2023), bu da güveni, izlenebilirliği ve şeffaflığı mümkün kılmaktadır (Köhler ve Pizzol, 2020).

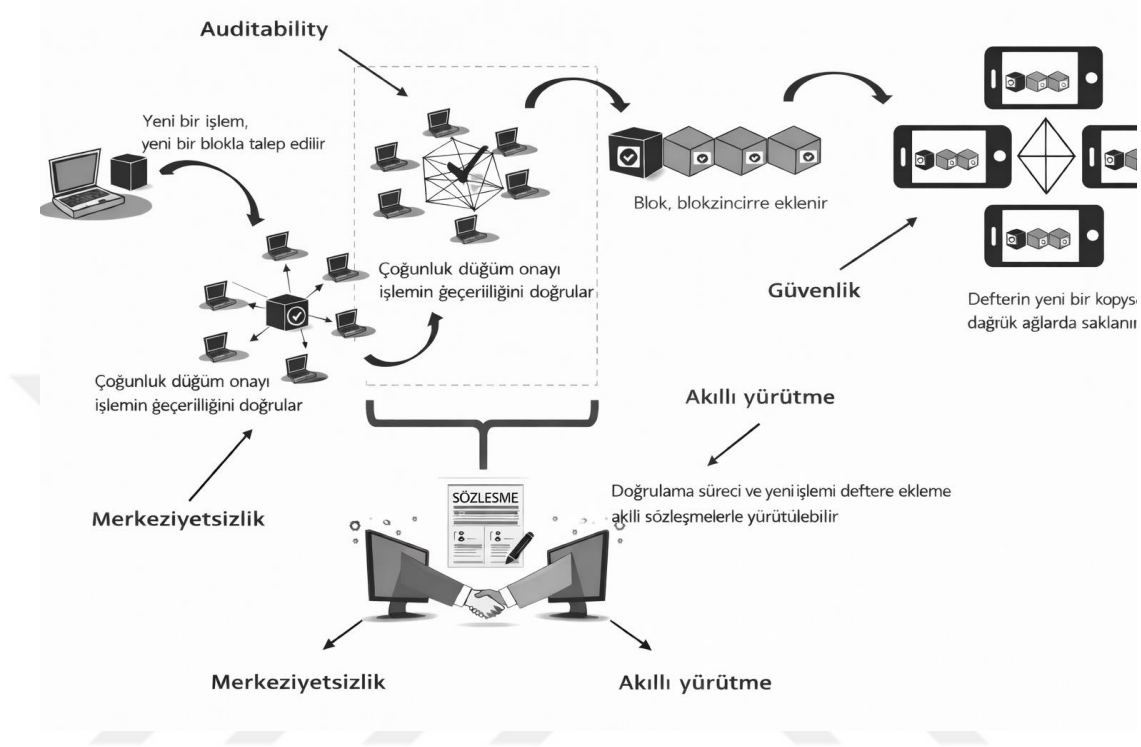
2.2.1. Blokzincir Teknolojisi Tanımı ve Özellikleri

Blockchain teknolojisi, blockchain katılımcı ajanları arasında yürütülen ve paylaşılan tüm dijital olayların kayıtlarının veya paylaşılan genel/özel defterlerinin dağıtılmış bir veritabanıdır. Tarihi, dağıtılmış defter teknolojisine kadar uzanmaktadır. Blockchain teknolojisi, dört temel özelliği içermesiyle mevcut bilgi sistemleri tasarımlarının çoğundan farklıdır; yerleştirmeme (merkeziyetsizlik), güvenlik, denetlenebilirlik ve akıllı yürütme (Tripathi vd., 2023). Şekil 2.2’de blokzincir teknolojisinin özellikleri verilmektedir.

Blockchain’de, bir ajan blockchain’e eklenecek yeni bir işlem oluşturur. Bu yeni işlem doğrulama ve denetim için ağa yayınlanır. Zincirdeki düğümlerin çoğunluğu bu işlemi önceden belirlenmiş onaylı kurallara göre onayladıktan sonra, bu yeni işlem zincire yeni bir blok olarak eklenir. Bu işlemin kaydı güvenlik için birkaç dağıtılmış düğümde saklanır. Bu arada, blockchain teknolojisinin kritik bir özelliği olan akıllı sözleşme, üçüncü tarafların katılımı olmadan güvenilir işlemlerin gerçekleştirilmesine olanak tanır (Punia vd., 2024).

İnternetin mevcut tasarımı ile blok zinciri teknolojisi arasındaki büyük bir fark, İnternetin bilgiyi (değeri değil) ve şeylerin kopyalarını (orijinal bilgileri değil) taşımak için tasarlanmış olmasıdır. Blok zincirlerinde değer, paylaşılan bir defterde kaydedilen ve güvenli ve denetlenebilir bilgiler sağlayan doğrulanabilir, zaman damgalı bir işlem

kaydı sağlayarak güvence altına alınan işlemlerde temsil edilir. Bu işlemler, ağ fikir birliği kurallarıyla tutarlı bir doğrulama süreciyle görünür. Yeni kayıt doğrulandıktan ve blok zincirine eklendikten sonra, güvenilir bir zincir oluşturmak için merkezi olmayan bir şekilde birden fazla kopya oluşturulur (Jin ve Xiao, 2022).



Şekil 2.2: Blokzincir Teknolojisi Özellikleri (Kirillova vd., 2020).

Merkeziyetsizlik, blok zinciri teknolojisinin önemli bir özelliğidir ve herhangi bir bilginin bozulmasına karşı bir kontroldür, böylece bilgi geçerliliğini artırır. Toplu olarak tutulan kayıtları kaldırmak pratik değildir ve her bir işlemin doğrulanmış kayıtları katılımcılar tarafından dağıtılmış genel veya özel defterler aracılığıyla erişilebilir. Merkezi bir veritabanı, bilgisayar korsanlığına, bozulmaya veya çökmeye karşı daha hassastır (Xu vd., 2019; Tripathi vd., 2023).

Güven, merkeziyetsizliğin temel bir sonucudur çünkü ağdaki aracının veya diğer katılımcıların güvenilirliğini değerlendirmeye gerek yoktur ve bilgiler kolayca görüntülenebilir ve karşılaştırılabilir. Bu yaklaşım, katılımcılar adına herhangi bir özel davranış gerektirmez; bunun yerine, temeldeki teknoloji, sahtekârlık veya boşa kalma durumunda bile sistemin bütünlüğünü garanti eder. Katılımcılar defterleri görüntüleyebilir ve işlemleri analiz edebilir. Bu özellik, şeffaflık sağlar ve aynı zamanda kriptografik kayıtların arkasında kayıtları koruyarak anonimliği sağlar (Ziegler vd., 2025). Blok zincirleri geliştirilebilir ve hiç kimsenin, ne kullanıcıların

ne de sistemin operatörlerinin, bozamayacağı, üzerinde anlaşılmış bir kurallar kümesini uygulamak için kullanılabilir. Birbirlerine çok az güven duymaları gereken birden fazla tarafı içeren uygulamalar için benzersiz bir sistem mimarisi platformuna güvenirlir; örneğin, parçalanmış tedarik zincirleri (Tripathi vd., 2023).

Teknoloji uygulamasına bağlı olarak, blok zinciri tasarımı farklıdır ve genel (izinsiz) veya özel (izinli) defterler ve ağlar oluşturabilir. Tasarımları, ağ oyuncuları ve blok zincirini sürdürme kuralları açısından farklıdır (Zheng vd., 2018). Özel veya kapalı bir blok zincirinde, taraflar birbirlerini tanır ve anonimlik yoktur, örneğin ürünleri üretmek ve dağıtmak için çalışan bilinen varlıklara sahip bir tedarik zinciri ağında olduğu gibi. Bu durumda, tedarik zinciri ağı katılımcılarına sertifikalar sağlayan ve bu özel ağı sürdüren sertifikacılar gibi yeni roller olacaktır. Alternatif olarak, genel veya açık bir blok zincirinde, birçok anonim kullanıcıyla güveni sürdürmek için, kullanıcıların ağa girmesine ve işlemlerini kaydetmesine izin vermek için kriptografik yöntemler uygulanır (Queiroz vd., 2020).

Bu arada, blok zinciri teknolojisi aracılığıyla güven, hesap verebilirlik ve şeffaflık oluşturan yeni nesil işlemsel uygulamalar teşvik edilmektedir ve bu uygulamalar akıllı sözleşme adı verilen bir sözleşme tarafından yönetilmektedir. Akıllı sözleşme, genellikle taraflar arasındaki şartları ve eylemleri müzakere etmek için kuralları ve politikaları depolayan bir yazılım programıdır. Sözleşme şartlarının karşılandığını otomatik olarak doğrular ve işlemleri yürütür. Akıllı sözleşmenin mantığı, sözleşmenin yürütülmesinin sonucu konusunda fikir birliğine varan oyuncular ağı tarafından yürütülür. Sözleşme, ağdaki bir oyuncudan veya başka bir sözleşmeden bir mesaj aldığı anda kodunu yürütür ve kamu veya özel ağının sözleşme şartları karşılanırsa muhasebe defterlerini buna göre günceller (Sharma vd., 2023).

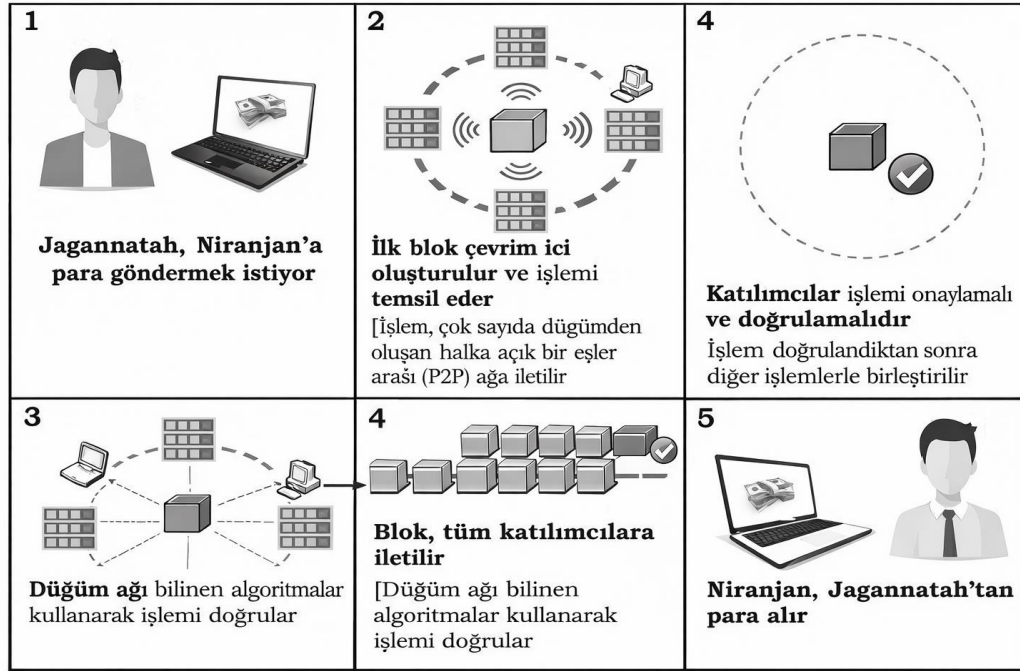
Blockchain teknolojisi ilk olarak dijital bir kripto para birimi olan Bitcoin'i yönetmek için bir platform olarak popülerlik kazandı. Dijital para biriminin yanı sıra, blockchain teknolojisi tedarik zinciri yönetimi ve lojistikte gelecekteki gelişmeler için geniş kapsamlı etkileri olan yeni bir bilgi işlem ve bilgi akışı paradigmasıdır. Günümüzde gerçekleşen herhangi bir kripto para birimi işlemi şeffaf olmak zorundadır. Bu işlemlerde yanlış ellere düşerse büyük hasara yol açabilecek çok sayıda özel veri bulunmaktadır. Bu işlemlerle ilişkili olan hem donanım hem de yazılım teknolojisine de dikkat edilmelidir, çünkü bu bileşenlerden herhangi birinin arızalanması para içeren bir işlemin başarısızlığına yol açacaktır (Zheng vd., 2018).

Bir blockchain, tüm dijital işlemleri kronolojik bir sırayla kaydeden veya bir veri yapısı olarak “Tamamlanmış İşlem Blokları” olarak kaydeden ve bunu bir ağ üzerinden dağıtılmış bir şekilde depolayan dijitalleştirilmiş bir genel defter olarak düşünülebilir. Bu defter, bu ağa bağlanabilen herkesin indirebilmesi için kullanılabilir olacaktır. Blockchain'ler üç ana teknoloji kullanılarak uygulanır: (1) Özel Anahtar Kriptografisi, (2) Eşler Arası Ağ (3) Program (Blockchain protokolü) (Casino vd., 2019).

Blockchain'in en büyük avantajı, yük paylaşımı sorunlarının üstesinden gelmesine yardımcı olan dağıtılmış bilgi işlem teknolojisinde kullanılmasıdır. Dağıtılmış bilgi işlem teknolojisi ayrıca, Blockchain teknolojisini tıbbi kayıtlar, yönetim faaliyetleri, işlem işleme, belgeleme türetme, gıda izlenebilirliği veya oylama gibi hassas bilgileri depolamak için çok güvenilir kılan zarif bozulmayı da destekler. Blockzincir çalışma mantığı şu şekildedir (Arshad vd., 2023);

- Birisi bir işlem talep eder. Talep edilen işlem, düğümler olarak bilinen bilgisayarlardan oluşan P2P ağına yayınlanır.
- Doğrulama. Düğüm ağı, bilinen algoritmaları kullanarak işlemi ve kullanıcının durumunu doğrular.
- Doğrulanmış bir işlem. Kripto para birimi, sözleşmeler, kayıtlar veya diğer bilgileri içerebilir.
- Doğrulandıktan sonra. İşlem, defter için yeni bir veri bloğu oluşturmak üzere diğer işlemlere bağlanır.
- Yeni blok daha sonra kalıcı ve değiştirilemez bir şekilde mevcut Blockchain'e eklenir.
- İşlem sonunda tamamlanır.

İşlemler zincire eklenene kadar geçerli değildir. Kurcalama hemen belli olur. Blockchain, ağdaki herkesin bir kopyası olduğu için güvenli kabul edilir. Herhangi bir tutarsızlığın kaynakları genellikle hemen belli olur (Julie vd., 2020) (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Blokzincir Teknolojisinin Çalışma Şekli (Julie vd., 2020).

2.2.2. Blokzincir Teknolojisinin Temel Unsurları

Blokzincir (blockchain) teknolojisi, verilerin merkezi olmayan bir ağ üzerinde güvenli, şeffaf ve değiştirilemez bir şekilde saklanmasını sağlayan yenilikçi bir sistemdir. İlk olarak Satoshi Nakamoto'nun 2008 yılında yayımladığı Bitcoin makalesiyle gündeme gelen blokzincir, bugün finans, sağlık, tedarik zinciri ve daha birçok sektörde dönüştürücü bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Bu teknolojiyi benzersiz kılan unsurlar; dağıtık defter yapısı, şifreleme teknikleri, konsensüs mekanizmaları ve akıllı sözleşmeler gibi temel bileşenlerden oluşmaktadır (Dong vd., 2023).

Blokzincir sisteminin en temel unsurlarından biri, dağıtık defter yapısıdır. Bu yapı sayesinde, blokzincirde tutulan veriler merkezi bir otoritede değil, ağdaki tüm katılımcılarda eş zamanlı olarak bulunur. Bu özellik, sistemin herhangi bir tekil arıza noktasına sahip olmamasını sağlar ve verilerin değiştirilemezliğini garanti eder. Her bir katılımcı, ağdaki işlemlerin tamamının kopyasına sahip olur ve böylece tüm ağın şeffaflığı artırılır (Julie vd., 2020).

Blokzincirin güvenliği, kriptografik algoritmalarla sağlanmaktadır. Her bir blok, önceki bloğun kriptografik özetini (hash) içerir ve bu da blokların zincirleme bir şekilde bağlanmasına neden olur. Bu yapı, veriler üzerinde yapılan herhangi bir

değişikliğin tüm zinciri etkilemesine yol açar ve dolayısıyla izinsiz müdahaleleri neredeyse imkânsız hale getirir. Ayrıca, dijital imzalar sayesinde işlemler ağda doğrulanabilir ve kimlik sahteciliği önlenir (Zheng vd., 2018).

Blokzincir ağlarında katılımcılar arasında uzlaşma sağlamak için konsensüs mekanizmaları kullanılır. En yaygın konsensüs protokollerinden biri olan İş Kanıtı (Proof of Work – PoW), Bitcoin gibi kripto para birimlerinde kullanılmaktadır. Alternatif olarak, Hisse Kanıtı (Proof of Stake – PoS) gibi daha enerji verimli mekanizmalar, Ethereum 2.0 gibi yeni nesil blokzincirlerde benimsenmiştir. Bu protokoller, kötü niyetli kullanıcıların ağı manipüle etmesini önlemek için kritik bir rol oynar (Xie vd., 2023).

Akıllı sözleşmeler, blokzincir üzerinde çalışan ve belirli koşullar sağlandığında otomatik olarak yürütülen kod parçalarıdır. Bu sözleşmeler, üçüncü tarafların müdahalesine gerek kalmadan işlemlerin güvenilir bir şekilde gerçekleşmesini sağlar. Ethereum platformu, akıllı sözleşmelerin en yaygın kullanıldığı blokzincirlerden biridir ve finans, sigorta, lojistik gibi sektörlerde yeni nesil uygulamaların geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Blokzincir, işlemlerin kaydedildiği bloklardan oluşur. Her bir blok, zaman damgası, işlem verileri ve önceki bloğun hash değerini içerir. Bu zincirleme yapı, blokzincirin geri dönük değişimlere kapalı olmasını sağlar ve sistemin bütünlüğünü korur (Julie vd., 2020).

Blokzincir teknolojisinin temel unsurları, verilerin güvenli bir şekilde saklanması, doğrulanması ve paylaşılmasına olanak tanır. Dağıtık defter yapısı, kriptografik güvenlik, konsensüs protokolleri ve akıllı sözleşmeler, bu teknolojiyi merkeziyetsiz bir ekosistem için ideal hale getirmektedir. Bu temel unsurlar sayesinde blokzincir, yalnızca bir teknoloji değil, aynı zamanda dijital dönüşümün ve yeni nesil internetin (Web 3.0) temel taşı olarak değerlendirilmektedir (Tripathi vd., 2023).

Blockchain teknolojileri, kriptografi, matematik, algoritma ve ekonomik model içerir, eşler arası ağları birleştirir ve geleneksel dağıtılmış veritabanı senkronizasyon problemini çözmek için dağıtılmış fikir birliği algoritmasını kullanır, entegre bir çok alanlı altyapı inşasıdır. Blockchain teknolojileri genellikle altı temel unsurdan oluşur; merkeziyetsizlik, şeffaflık, açık kaynak, özerklik, değiştirilemezlik ve anonimlik (Dong vd., 2023).

2.2.2.1. Merkeziyetsizlik

Blokzincir (blockchain) teknolojisinin en temel özelliklerinden biri merkeziyetsizliktir. Bu kavram, verilerin ve işlemlerin herhangi bir merkezi otoriteye veya aracıya bağlı olmadan doğrulanmasını ve kaydedilmesini sağlar. Merkeziyetsiz bir yapı sayesinde, katılımcılar arasındaki güven unsuru üçüncü taraf kurumlara değil, doğrudan ağı kendisine dayandırılır. Merkeziyetsizlik, blokzinciri geleneksel veri tabanlarından ve finansal sistemlerden ayıran kritik bir unsur olarak dijital dönüşümün temel taşlarından biri haline gelmiştir (Bezuidenhout vd., 2022).

Merkeziyetsizlik, verilerin birden fazla düğüm (node) tarafından tutulduğu ve yönetildiği bir sistem mimarisidir. Geleneksel merkezi sistemlerde veriler tek bir sunucu veya otorite tarafından kontrol edilirken, blokzincir ağında her bir katılımcı (node), işlemlerin ve kayıtların bir kopyasına sahiptir. Bu yapı, tek bir hata noktasının ortadan kaldırılmasını sağlayarak sistemin güvenliğini ve sürekliliğini artırır (Tripathi vd., 2023).

Merkeziyetsizlik, blokzincir teknolojisinin şeffaflık, güvenlik ve sansüre dayanıklılık gibi avantajlarının temelinde yer alır. Tüm işlemler ağdaki katılımcılar tarafından görülebilir ve doğrulanabilir. Bu sayede, finansal işlemlerden tedarik zinciri yönetimine kadar birçok alanda daha şeffaf ve güvenilir bir ortam sağlanır (Zheng vd., 2018). Ayrıca merkeziyetsiz yapı, sistemin herhangi bir merkezi noktaya yapılan saldırılara karşı daha dirençli olmasına katkıda bulunur. Örneğin, Bitcoin gibi merkeziyetsiz kripto para birimleri, geleneksel bankacılık sistemlerinde olduğu gibi merkez bankalarına veya finansal aracılara ihtiyaç duymadan işlem yapılmasına olanak tanır. Bu durum, finansal hizmetlere erişimi olmayan veya sınırlı olan bireyler için büyük bir avantaj sağlar (Julie vd., 2020).

Konsensüs mekanizmaları ile merkeziyetsizlik için, merkeziyetsiz sistemlerde ağın tutarlılığını sağlamak için konsensüs mekanizmaları kullanılır. İş Kanıtı (Proof of Work – PoW) ve Hisse Kanıtı (Proof of Stake – PoS) gibi yöntemler, ağdaki tüm katılımcıların belirli kurallar çerçevesinde uzlaşmasını mümkün kılar. Bu mekanizmalar, kötü niyetli aktörlerin ağı manipüle etmesini önleyerek merkeziyetsiz yapının korunmasına yardımcı olur (Shen vd., 2025).

Merkeziyetsizlik ve zorlukları ise, merkeziyetsizlik pek çok avantaj sunarken, ölçeklenebilirlik, işlem hızı ve enerji tüketimi gibi bazı teknik zorlukları da

beraberinde getirir. Özellikle büyük ve halka açık blokzincir ağlarında, merkeziyetsizliği korurken yüksek işlem kapasitesine ulaşmak önemli bir mühendislik problemidir. Bununla birlikte, katman 2 çözümleri (Layer-2) ve yeni nesil konsensüs algoritmaları bu sorunlara yönelik çözümler sunmaktadır (Rao vd., 2024).

Merkeziyetsizlik, blokzincir teknolojisinin en kritik ve yenilikçi unsurlarından biridir. Güvenin algoritmalara dayandırıldığı bu yapı, yalnızca finans sektöründe değil; sağlık, enerji, hukuk ve eğitim gibi pek çok alanda da devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Gelecekte merkeziyetsiz sistemlerin daha yaygınlaşması, hem teknik inovasyonları hem de sosyal yapıları derinden etkileyebilir (Julie vd., 2020).

2.2.2.2. Şeffaflık

Blokzincir (blockchain) teknolojisi, şeffaflık ilkesi sayesinde dijital işlemlerin güvenilirliğini artıran, katılımcılar arasında güveni tesis eden yenilikçi bir sistem sunmaktadır. Merkeziyetsiz ve dağıtık yapısıyla blokzincir, tüm işlemlerin herkes tarafından görülebileceği bir kayıt defteri oluşturur. Bu özellik, yalnızca finansal işlemlerde değil, kamu yönetimi, tedarik zinciri ve sağlık gibi birçok alanda şeffaflık ihtiyacını karşılamak için önemli bir araç haline gelmiştir (Zheng vd., 2018).

Blokzincir sistemlerinde, ağ üzerindeki her bir işlemin kaydedildiği defter tüm katılımcılar tarafından erişilebilir durumdadır. Bu yapı, kullanıcıların işlem geçmişini incelemesine ve sistemin işleyişi hakkında bilgi sahibi olmasına imkân tanır. Geleneksel merkezi sistemlerde veri genellikle yalnızca yetkilendirilmiş aktörler tarafından görüntülenebilirken, blokzincir şeffaflığı artırarak tüm işlemlerin denetlenebilir olmasını sağlar (Madanchian ve Taherdoost, 2025).

Blokzincirin şeffaflık sağlamanın arkasındaki temel mekanizma, dağıtık defter teknolojisi (DLT) ve bloklar arası bağlantının sağladığı değiştirilemezliktir. Bir kez kaydedilen veriler, ağ katılımcılarının çoğunluğunun onayı olmadan değiştirilemez. Bu durum, işlemlerin geriye dönük olarak manipüle edilmesini neredeyse imkânsız kılar ve katılımcılar arasında güven ortamı oluşturur (Tripathi vd., 2023).

Blokzincir teknolojisinin sunduğu şeffaflık, birçok sektörde devrim niteliğinde uygulamalara yol açmıştır. Özellikle tedarik zinciri yönetiminde ürünlerin kaynağından tüketiciye kadar olan yolculuğu izlemek mümkün hale gelmiştir. IBM Food Trust gibi sistemler, gıda güvenliği ve sahteciliğin önlenmesinde şeffaflığı artıran

çözümler sunmaktadır (Cozzio vd., 2023). Kamu sektöründe ise blokzincir, kamu kaynaklarının kullanımını izleyerek yolsuzlukla mücadelede etkili bir araç olarak görülmektedir. Estonya ve Gürcistan gibi ülkeler, kamu hizmetlerinde blokzincir temelli şeffaflık uygulamaları geliştiren öncüler arasındadır (Rijal ve Saranani, 2023).

Blokzincirin şeffaflık özelliği birçok avantaj sunarken, veri gizliliği ile ilgili bazı endişeleri de beraberinde getirmektedir. Tüm işlemlerin herkes tarafından görülebilmesi, hassas verilerin korunmasını zorlaştırabilir. Bu nedenle, blokzincir ekosisteminde şeffaflığı korurken kullanıcıların kişisel verilerini korumaya yönelik çeşitli teknik çözümler (ör. sıfır bilgi ispatları, zk-SNARKs) geliştirilmektedir (Zhou vd., 2024).

Şeffaflık, blokzincir teknolojisinin temel taşlarından biri olarak dijital işlemlerde güven ve hesap verebilirlik sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu şeffaflığın veri gizliliği ile dengelenmesi kritik bir öneme sahiptir. Gelecekte blokzincir teknolojisinin daha yaygın hale gelmesiyle birlikte, şeffaflık ilkesi birçok sektörde etik, hukuki ve teknik boyutlarıyla tartışılmaya devam edecektir (Julie vd., 2020).

2.2.2.3. Açık Kaynak

Blokzincir (blockchain) teknolojisi, merkeziyetsizlik, şeffaflık ve değiştirilemezlik gibi özelliklerinin yanı sıra açık kaynak (open source) yaklaşımıyla da ön plana çıkmaktadır. Açık kaynak yazılım modeli, blokzincir ağlarının gelişimi, benimsenmesi ve güvenilirliğinin sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Açık kaynak felsefesi, blokzincir teknolojisinin hem teknik hem de sosyal yönlerini şekillendiren temel bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır (Santalo ve Filatotchev, 2025).

Açık kaynak yazılımlar, kaynak kodlarının herkes tarafından görüntülenebilir, değiştirilebilir ve dağıtılabılır olmasına olanak tanır. Blokzincir projelerinin büyük bir kısmı bu modeli benimsemiştir. Bitcoin, Ethereum ve Hyperledger gibi öncü blokzincir platformları açık kaynak lisansları ile geliştirilmiş, bu sayede dünya çapında geliştiriciler tarafından sürekli olarak denetlenmiş ve iyileştirilmiştir (Narayanan vd., 2024). Blokzincirin açık kaynak doğası, kullanıcıların teknolojiye erişimini demokratikleştirirken, güvenliği de artırır. Çünkü kaynak kodunun herkes tarafından denetlenebilir olması, potansiyel açıkların veya kötü niyetli kodların tespit edilmesini kolaylaştırır (Zheng vd., 2018).

Blokzincir sistemlerinde açık kaynak kullanımı; şeffaflık, birlikte çalışabilirlik (interoperability) ve inovasyon gibi avantajlar sunmaktadır. Açık kaynaklı projeler, geliştirici topluluklarının katkısıyla daha hızlı evrim geçirir ve sürekli olarak güncellenir. Örneğin, Ethereum'un açık kaynaklı yapısı sayesinde, binlerce geliştirici merkeziyetsiz uygulamalar (DApps) geliştirmiştir (Wu vd., 2021). Ayrıca açık kaynak yaklaşımı, farklı blokzincir platformlarının birbiriyle entegrasyonunu kolaylaştırır. Hyperledger Fabric gibi kurumsal blokzincir çözümleri, açık kaynak yapısıyla şirketlerin kendi ihtiyaçlarına uygun özel çözümler geliştirmesine olanak tanımaktadır (Julie vd., 2020).

Açık kaynak yazılımlar, geniş geliştirici toplulukları tarafından sürekli gözden geçirildiği için kapalı kaynak sistemlere göre daha güvenli kabul edilir. Blokzincir teknolojilerinin açık kaynak doğası, yalnızca teknik güvenlik değil, aynı zamanda kullanıcı güveni açısından da önemlidir. Bu durum, kullanıcıların blokzincir protokollerine olan güvenini artırarak daha geniş bir benimsenme sağlar (Zheng vd., 2018).

Her ne kadar açık kaynak yaklaşımı birçok avantaj sunsa da, bazı zorluklar da beraberinde gelmektedir. Özellikle projelerin sürdürülebilirliği, geliştirici topluluğunun büyüklüğüne ve aktif katılımına bağlıdır. Ayrıca, açık kaynak kodlarının kötü niyetli kişiler tarafından istismar edilme riski de bulunmaktadır. Bu nedenle, açık kaynaklı blokzincir projelerinde yönetim mekanizmaları büyük önem taşır (Casino vd., 2019).

Blokzincir teknolojisinin açık kaynak doğası, şeffaflık, iş birliği ve inovasyonu teşvik ederek bu teknolojinin evriminde merkezi bir rol oynamaktadır. Bitcoin ve Ethereum gibi projelerden kurumsal çözümlere kadar birçok blokzincir uygulaması, açık kaynak yaklaşımı sayesinde gelişmiş ve küresel ölçekte benimsenmiştir. Gelecekte blokzincirin yaygınlaşması, açık kaynaklı geliştirme modelleriyle daha da hızlanacaktır (Julie vd., 2020).

2.2.2.4. Özerklik

Blokzincir (blockchain) teknolojisi, verilerin merkezi otoritelere veya aracı kurumlara ihtiyaç duyulmadan güvenilir bir şekilde kaydedilmesini ve paylaşılmasını sağlayan yenilikçi bir sistemdir. Bu teknolojiyi benzersiz kılan temel unsurlardan biri özerklik

(autonomy) ilkesidir. Özerklik, blokzincir üzerinde çalışan sistemlerin kendi başına karar verebilmesi, işlemleri otomatik olarak yürütebilmesi ve katılımcılar arasında herhangi bir merkezi kontrol mekanizması olmadan işleyebilmesi anlamına gelir. Bu özellik, blokzincirin merkeziyetsizlik ilkesini desteklerken aynı zamanda güvenli, esnek ve kullanıcı odaklı bir altyapı sunmasına katkıda bulunur (Santana ve Albareda, 2022).

Blokzincir sistemleri, katılımcılar arasında doğrudan etkileşim sağlamak üzere tasarlanmıştır. Geleneksel sistemlerde işlemlerin doğrulanması ve yürütülmesi için bir merkezi otorite veya üçüncü taraf aracı gerekirken, blokzincirde işlemler ağdaki düğümler (nodes) arasında gerçekleşir ve konsensüs mekanizmaları sayesinde doğrulanır. Bu mimari, sistemin özerk bir şekilde çalışmasını mümkün kılar (Julie vd., 2020).

Blokzincir üzerinde çalışan akıllı sözleşmeler (smart contracts), özerkliğin en önemli örneklerinden biridir. Akıllı sözleşmeler, belirli koşullar gerçekleştiğinde otomatik olarak devreye girerek işlemleri yürütür. Örneğin, bir ödeme işlemi için önceden tanımlanan kurallar sağlandığında, bu işlem üçüncü bir tarafa gerek kalmadan otomatik olarak gerçekleştirilir. Bu mekanizma, insan müdahalesi gerekliliğini ortadan kaldırarak hataları ve maliyetleri azaltır (Augustin vd., 2023).

Blokzincir sistemlerinin özerk yapısı birçok avantaj sunmaktadır. Öncelikle, işlemlerin merkezi bir otoriteye bağlı olmaması, maliyetlerin düşürülmesini sağlar. Bankacılık ve finans sektöründe, özerklik sayesinde uluslararası para transferleri gibi işlemler aracı kurumlara gerek kalmadan daha hızlı ve ucuz bir şekilde gerçekleştirilebilir. Ayrıca, özerklik veri güvenliğini de artırır. Sistemler, kullanıcıların kendi verileri üzerinde kontrol sahibi olmasına olanak tanır ve veri manipülasyonunu zorlaştırır. Bu durum, blokzincir tabanlı kimlik yönetimi ve sağlık kayıtları gibi hassas alanlarda önemli bir avantajdır (Agbo vd., 2019).

Her ne kadar özerklik blokzincirin en güçlü yönlerinden biri olsa da, bazı zorluklar da beraberinde gelmektedir. Özellikle akıllı sözleşmelerin doğru programlanmaması durumunda, geri dönülemez hatalar ortaya çıkabilir. DAO (Decentralized Autonomous Organization) örneğinde olduğu gibi, yazılım hataları milyonlarca dolarlık kayıplara yol açabilmektedir. Bu nedenle, özerk sistemlerin geliştirilmesinde dikkatli bir tasarım ve denetim süreci büyük önem taşır (Saurabh vd., 2024).

Özerklik, blokzincir teknolojisinin en önemli bileşenlerinden biridir ve merkezi otoritelere duyulan ihtiyacı ortadan kaldırarak işlemlerin hızlı, güvenilir ve düşük maliyetli bir şekilde yürütülmesini sağlar. Akıllı sözleşmeler ve dağıtık defter teknolojisi sayesinde blokzincir, finans, sağlık, tedarik zinciri ve enerji gibi sektörlerde özerk sistemlerin yaygınlaşmasına öncülük etmektedir. Gelecekte blokzincir tabanlı özerk sistemlerin daha fazla alanda uygulanmasıyla birlikte, iş süreçlerinde ve sosyal yapılarda köklü değişimler beklenmektedir (Julie vd., 2020).

2.2.2.5. Değiştirilemezlik

Blokzincir (blockchain) teknolojisinin temel unsurlarından biri olan değiştirilemezlik (immutability), bu yenilikçi sistemin güvenlik ve güvenilirlik açısından en güçlü özelliklerinden biridir. Değiştirilemezlik, blokzincir üzerine kaydedilen verilerin sonradan değiştirilmesini veya silinmesini imkânsız hale getirir. Bu özellik sayesinde, blokzincir yalnızca bir veri depolama sistemi değil, aynı zamanda dijital işlemler için şeffaf ve güvenilir bir altyapı sunar (Narayanan vd., 2024).

Blokzincir, birbirine bağlı bloklardan oluşan bir yapıdır. Her bir blok, işlem verilerini ve bir önceki bloğun kriptografik özetini (hash) içerir. Bu yapı sayesinde, herhangi bir bloğun içeriğinde yapılacak bir değişiklik, sonraki tüm blokların hash değerlerini değiştirecek ve zincirin bütünlüğünü bozacaktır. Bu nedenle, blokzincir ağında daha önce onaylanmış işlemleri değiştirmek neredeyse imkânsızdır; bunun için ağın çoğunluğunun (genellikle %51'in) kontrol edilmesi gerekir ki bu da pratikte çok zor bir senaryodur (Zheng vd., 2018).

Değiştirilemezlik, blokzincir teknolojisini birçok sektörde cazip kılan başlıca faktörlerden biridir. Öncelikle, bu özellik dolandırıcılık ve sahtecilik risklerini azaltır. Örneğin, finansal işlemler veya tedarik zincirindeki kayıtlar üzerinde geri dönük değişiklik yapılamadığı için taraflar arasında daha yüksek bir güven oluşur (Casino vd., 2019). Ayrıca, yasal ve düzenleyici çerçeveler açısından değiştirilemezlik büyük bir avantajdır. Sağlık kayıtları, mülkiyet belgeleri veya kimlik doğrulama sistemleri gibi alanlarda verilerin bütünlüğünü korumak kritik öneme sahiptir. Blokzincir, bu verilerin herhangi bir yetkisiz erişim veya manipülasyondan korunmasına olanak tanır (Julie vd., 2020).

Değiştirilemezliğin birçok avantajı olsa da, bazı durumlarda bu özellik zorluklara yol açabilir. Özellikle yanlış veya hatalı verilerin blokzincire kaydedilmesi halinde, bu hataların düzeltilmesi mümkün değildir. Bu durum, blokzincirin “çift taraflı kılıç” (double-edged sword) etkisine işaret eder; bir yandan güvenliği artırırken diğer yandan esnekliği sınırlayabilir. Bu nedenle, blokzincir projelerinde veri girişi süreçlerinin titizlikle tasarlanması ve hatalı kayıtların en aza indirilmesi için denetim mekanizmalarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bazı yeni nesil blokzincir çözümleri, hatalı işlemleri düzeltmek için “soft fork” veya “hard fork” gibi yöntemler üzerinde çalışmaktadır (Politou vd., 2019).

Değiştirilemezlik, blokzincir teknolojisinin en kritik yapı taşlarından biridir. Verilerin değiştirilmezliği, güvenilir dijital kayıt sistemlerinin oluşturulmasına olanak tanımakta ve bu özelliği blokzincirin finans, sağlık, hukuk ve tedarik zinciri gibi birçok alanda kullanılabilir kılmaktadır. Gelecekte, değiştirilemezliğin sağladığı güvenilir altyapı, dijital dönüşüm süreçlerinde daha da fazla ön plana çıkacaktır. Ancak, bu özelliğin getirdiği esneklik eksikliğine yönelik çözümler geliştirilmesi de önem arz etmektedir (Duan vd., 2023).

2.2.2.6. Anonimlik

Blokzincir (blockchain) teknolojisi, dijital çağın en dikkat çekici yeniliklerinden biri olarak veri yönetimi, güvenlik ve işlem süreçlerinde köklü değişiklikler yaratmıştır. Bu teknolojiyi benzersiz kılan unsurlardan biri ise anonimlik (anonymity) ilkesidir. Blokzincir ağlarında kullanıcıların kimlik bilgileri doğrudan paylaşılmadan işlemler gerçekleştirilebilir ve bu sayede kullanıcı mahremiyeti korunur. Anonimlik, blokzincirin kripto para birimleri başta olmak üzere çeşitli alanlarda benimsenmesinin arkasındaki temel etkenlerden biridir (Andola vd., 2021).

Blokzincir sistemlerinde her kullanıcı, işlemlerini gerçekleştirirken dijital bir adres (public key) kullanır. Bu adresler kullanıcıların kimliklerini doğrudan ortaya koymaz; dolayısıyla bir işlem kimin tarafından yapıldığını tespit etmek zordur. Ancak, bu yapı tamamen anonim değildir; çünkü blokzincirdeki tüm işlemler şeffaf bir şekilde görüntülenebilir. Bu nedenle, blokzincir anonimlikten ziyade daha çok takma ad kullanımı (pseudonymity) sunar (Jamwal vd., 2024). Bitcoin gibi ilk nesil blokzincir sistemleri, işlemleri herkese açık bir deftere kaydederken kullanıcıların kimliklerini

saklar. Ancak, bu adreslerin çeşitli analiz yöntemleriyle kimlikler ile eşleştirilebileceği de ortaya konmuştur. Bu durum, anonimlik kavramını yeniden tanımlama gerekliliğini gündeme getirmiştir (Al Jawaheri vd., 2020).

Anonimlik, blokzincir kullanıcılarının kişisel verilerini koruma ve gizliliklerini sağlama noktasında önemli bir avantaj sunar. Özellikle sansürün yoğun olduğu ülkelerde blokzincir tabanlı finansal sistemler, bireylerin özgürce işlem yapabilmesine imkân tanımaktadır. Ayrıca, ticari işlemlerde tarafların kimliklerinin ifşa edilmeden işlem yapılabilmesi, iş dünyasında mahremiyet açısından kritik bir özelliktir. Blokzincir üzerinde geliştirilen Monero ve Zcash gibi kripto para projeleri, gelişmiş gizlilik protokolleri sayesinde yüksek seviyede anonimlik sağlamaktadır (Ibikunle vd., 2025).

Her ne kadar anonimlik kullanıcı mahremiyetini korusa da, kötü niyetli aktiviteler için de bir zemin oluşturabilmektedir. Kara para aklama, yasa dışı ticaret ve dolandırıcılık gibi suçlar anonimlik özelliği sayesinde daha kolay gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, blokzincir sistemlerinde anonimlik ile yasal düzenlemeler arasında bir denge kurulması büyük önem taşımaktadır (Julie vd., 2020).

Son yıllarda geliştirilen sıfır bilgi ispatları (zero-knowledge proofs) gibi teknolojiler, hem kullanıcıların gizliliğini korumayı hem de işlemlerin doğrulanabilirliğini sağlamayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, anonimlik ve denetlenebilirlik arasındaki çatışmayı çözmeye yönelik önemli bir adımdır. Anonimlik, blokzincir teknolojisinin en önemli unsurlarından biri olarak kullanıcıların mahremiyetini korumakta ve sistemin benimsenmesini kolaylaştırmaktadır. Ancak bu özellik, kötü niyetli kullanımlar nedeniyle düzenleyici otoritelerin dikkatini çekmiş ve tartışmalar yaratmıştır. Gelecekte, blokzincir sistemlerinde anonimlik ile şeffaflık arasında dengeli çözümler üreten teknolojilerin ön plana çıkması beklenmektedir (Zhou vd., 2024).

2.2.3. Blokzincir Teknolojisinin Yapısı ve Türleri

Blokzincir (blockchain) teknolojisi, son yıllarda dijital dönüşümün temel taşlarından biri haline gelmiş, finans, sağlık, tedarik zinciri ve kamu yönetimi gibi birçok alanda çığır açıcı uygulamalara öncülük etmiştir. Merkeziyetsiz ve güvenilir veri kayıt sistemi olarak tanımlanan blokzincir, dağıtık defter yapısı ve kriptografik mekanizmalar sayesinde işlemlerin güvenli bir şekilde kaydedilmesine olanak tanır. Bu bölümde,

blokzincir teknolojisinin temel yapısı ve çeşitli türleri ele alınarak, bu yenilikçi teknolojinin neden bu kadar güçlü ve esnek bir altyapı sunduğu açıklanacaktır (Tripathi vd., 2023).

Blokzincir, birbirine bağlı bloklardan oluşan bir veri yapısıdır. Her blok; işlem verilerini, bir zaman damgasını (timestamp) ve önceki bloğun kriptografik özetini (hash) içerir. Bu zincirleme yapı sayesinde bir blokta yapılacak herhangi bir değişiklik, zincirin tamamını etkileyeceğinden, veri manipülasyonu son derece zor hale gelir (Zheng vd., 2018).

Blokzincir teknolojisi, yapısal özelliklerine ve erişim düzeylerine göre farklı türlere ayrılmaktadır. Literatürde en yaygın sınıflandırma; genel (public), özel (private) ve izinli/konsorsiyum (consortium) blokzincirler şeklindedir. Genel blokzincirler, herhangi bir merkezi otoriteye bağlı olmaksızın herkesin katılımına açık olup yüksek düzeyde şeffaflık ve güvenlik sunmaktadır (Dong vd., 2023). Özel blokzincirler ise belirli bir kurum veya kuruluş tarafından kontrol edilmekte olup, erişim yetkileri sınırlandırılmıştır ve daha yüksek işlem hızı ile ölçeklenebilirlik sağlamaktadır. Konsorsiyum blokzincirler ise birden fazla kuruluşun ortak kontrolünde çalışarak, hem merkeziyetsizliğin avantajlarını hem de kurumsal yapının gerektirdiği kontrol mekanizmalarını bir araya getirmektedir (Chen vd., 2024). Bu farklı blokzincir türleri, kullanım alanlarına ve organizasyonel ihtiyaçlara göre değişen düzeylerde güvenlik, şeffaflık ve performans sunmakta; özellikle tedarik zinciri yönetimi gibi çok paydaşlı sistemlerde esnek çözümler üretme potansiyeli taşımaktadır (Casino vd., 2019).

Blokzincirin işleyişi üç ana unsurdan oluşur. Bu yapı, blokzincirin güvenilir, şeffaf ve merkeziyetsiz bir sistem olarak çalışmasını sağlar. Bu üç temel unsur; dağıtık defter teknolojisi, kriptografik güvenlik mekanizmaları ve konsensüs (mutabakat) algoritmalarıdır. Bu bileşenlerin birlikte çalışması sayesinde ağ üzerindeki işlemler doğrulanır, bloklar zincire eklenir ve sistem herhangi bir merkezi otoriteye ihtiyaç duymadan bütünlüğünü koruyarak faaliyet gösterir (Deng vd., 2022).

- **Dağıtık Defter Teknolojisi (Distributed Ledger Technology - DLT):** Veriler tek bir merkezi sunucu yerine, ağdaki tüm düğümler (nodes) arasında paylaşılır ve senkronize edilir. Bu sayede ağ üzerindeki her katılımcı, işlemlerin güncel ve doğrulanmış bir kopyasına erişebilir. Dağıtık yapı, tek bir hata noktasını

(single point of failure) ortadan kaldırarak sistemin güvenliğini, dayanıklılığını ve şeffaflığını artırır.

- **Konsensüs Algoritması:** İşlemlerin doğruluğunu sağlamak için Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS) gibi algoritmalar kullanılır. Bu algoritmalar, ağdaki düğümlerin belirli kurallar çerçevesinde uzlaşmaya varmasını sağlayarak sahte veya geçersiz işlemlerin zincire eklenmesini engeller. Böylece merkezi bir otoriteye ihtiyaç duyulmadan ağ güvenliği korunur ve blokzincirin bütünlüğü sürdürülebilir hale gelir.
- **Kriptografik Güvenlik Mekanizması:** Verilerin güvenliğini sağlamak için şifreleme teknikleri kullanılır. Örneğin, dijital imzalar işlemlerin kaynağını doğrular ve yetkisiz erişimi önler. Ayrıca, her blok kriptografik özet (hash) fonksiyonları aracılığıyla bir önceki bloğa bağlanarak zincir yapısı oluşturur ve bu sayede verilerde yapılacak herhangi bir değişiklik kolaylıkla tespit edilir. Asimetrik kriptografi altyapısı sayesinde kullanıcılar özel anahtarlarını gizli tutarak işlemlerini güvenli biçimde gerçekleştirir ve ağ üzerinde kimlik doğrulama süreci güvenilir şekilde sağlanır.

Blokzincir teknolojisinin farklı alanlarda etkin biçimde kullanılabilmesi, sistemin esnek yapısından ve çeşitli ihtiyaçlara uyarlanabilen mimarisinden kaynaklanmaktadır. Her uygulama alanı; güvenlik, gizlilik, işlem hızı ve katılımcı sayısı gibi kriterler açısından farklı gereksinimlere sahiptir. Bu nedenle blokzincir sistemleri, tek tip bir yapı yerine, erişim yetkileri ve yönetim modellerine göre çeşitlendirilmiştir (Julie vd., 2020). Özellikle kurumsal ve kamusal uygulamalarda veri gizliliği ve kontrol mekanizmaları ön plana çıkarken, kripto para ekosistemlerinde merkeziyetsizlik ve şeffaflık temel hedefler olarak öne çıkmaktadır. Bu farklı beklentiler doğrultusunda blokzincir teknolojisi, kullanım amacına uygun olacak şekilde çeşitli türlere ayrılarak geliştirilmiştir (Zheng vd., 2018; Paul vd., 2021).

Blokzincir türleri ise; blokzincir teknolojisi, kullanım amaçlarına ve erişim izinlerine göre farklı türlere ayrılmaktadır. Bu türler genel/açık (public), özel (private), konsorsiyum/izinli (consortium/permissioned) ve hibrit blokzincirler olarak sınıflandırılmaktadır. Her bir tür; katılımcı erişimi, yönetim modeli, işlem doğrulama süreci ve veri gizliliği düzeyi bakımından farklı özellikler sunarak çeşitli sektör

ihtiyaçlarına uygun çözümler geliştirilmesine imkân tanımaktadır (Zeba vd., 2023).
Bu türler aşağıda özetlenmiştir;

- **Açık (Public) Blokzincirler:** Açık blokzincirler, herhangi bir kullanıcının ağı katılmasına ve işlemleri doğrulamasına olanak tanır. Bitcoin ve Ethereum gibi kripto para birimleri, açık blokzincir örnekleridir. Bu sistemlerde şeffaflık ve merkeziyetsizlik en st düzeydedir. Bu tür blokzincirlerde tüm işlemler herkes tarafından görüntülenebilir ve ağın güvenliği katılımcıların dağıtık yapısı sayesinde sağlanır. Ancak yüksek katılım ve yoğun işlem hacmi, ölçeklenebilirlik ve işlem hızı gibi teknik zorlukları da beraberinde getirebilmektedir.
- **Özel (Private) Blokzincirler:** zel blokzincirlerde, ağı erişimi yalnızca yetkilendirilmiş katılımcılarla sınırlıdır. Bu tür sistemler genellikle kurumsal uygulamalarda tercih edilir. Hyperledger Fabric ve Corda, zel blokzincirlerin önde gelen örneklerindendir. Özel blokzincirler, erişim kontrolü ve kimlik doğrulama mekanizmaları sayesinde veri gizliliğini daha yüksek düzeyde koruma imkânı sunar. Ayrıca işlem hızının ve ölçeklenebilirliğin daha kolay optimize edilebilmesi, bu tür ağıları finans, sağlık ve tedarik zinciri gibi sektörlerde kurumsal zmler için cazip hale getirmektedir.
- **Konsorsiyum (Consortium) Blokzincirleri:** Konsorsiyum blokzincirleri, bir grup organizasyonun işlemleri yönettiği yarı merkezi bir yapıya sahiptir. Bu sistemler, tedarik zinciri ve bankacılık gibi sektörlerde iş birliğini kolaylaştırır. Bu yapıda ağın yönetişimi tek bir kuruma değil, önceden belirlenmiş birden fazla paydaşa dağıtılmıştır. Böylece hem veri gizliliği korunur hem de katılımcılar arasında güvene dayalı ve kontrollü bir iş birliği ortamı sağlanmış olur.
- **Hibrit Blokzincirler:** Hibrit blokzincirler, açık ve özel blokzincirlerin özelliklerini birleştirir. Böylece hem şeffaflık hem de veri gizliliği sağlanır. Bu yapı, kamu ve özel sektörün birlikte çalıştığı projelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hibrit yapılar, belirli verilerin herkese açık tutulmasına izin verirken hassas bilgilerin yalnızca yetkili katılımcılar tarafından görüntülenmesini mümkün kılar. Bu esneklik sayesinde performans, güvenlik ve düzenleyici gereklilikler arasında dengeli bir zm sunarak farklı sektör ihtiyaçlarına uyum sağlayabilir.

Blokzincir türleri, sahip oldukları yapısal özellikler doğrultusunda farklı sektörlerde ve uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Açık blokzincirler, merkeziyetsiz yapıları ve yüksek şeffaflık düzeyleri sayesinde özellikle kripto para sistemleri, merkeziyetsiz finans (DeFi) uygulamaları ve dijital varlık yönetimi gibi alanlarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu tür blokzincirlerde tüm katılımcıların ağa erişimi ve işlem doğrulaması mümkün olduğundan, güven unsurunun merkezi bir otoriteye ihtiyaç duyulmadan sağlanması hedeflenmektedir. Bununla birlikte, açık blokzincirlerin işlem hızının görece düşük olması ve enerji tüketimi gibi dezavantajları, bu sistemlerin daha çok finansal ve açık katılımlı uygulamalarla sınırlı kalmasına neden olmaktadır (Bakare vd., 2024).

Özel, konsorsiyum ve hibrit blokzincirler ise daha çok kurumsal ve sektör odaklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Özel blokzincirler; tedarik zinciri yönetimi, sağlık bilgi sistemleri ve kurumsal veri paylaşımı gibi gizlilik gerektiren alanlarda etkin çözümler sunarken, konsorsiyum blokzincirleri bankacılık, lojistik ve uluslararası ticaret gibi çok paydaşlı yapılarda iş birliğini artırmaktadır. Hibrit blokzincirler ise hem şeffaflık hem de gizliliğin bir arada gerekli olduğu kamu-özel sektör ortaklıklarında ve akıllı şehir uygulamalarında öne çıkmaktadır. Bu çeşitlilik, blokzincir teknolojisinin farklı operasyonel ihtiyaçlara uyarlanabilirliğini artırmakta ve teknolojinin sürdürülebilir biçimde yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır (Zheng vd., 2018; Casino vd., 2019).

Blokzincir türlerinin uygulama alanları ise, farklı blokzincir türleri, farklı uygulama alanlarına hizmet eder. Açık blokzincirler genellikle kripto para transferlerinde kullanılırken, özel blokzincirler sağlık ve tedarik zinciri gibi veri hassasiyetinin yüksek olduğu alanlarda tercih edilmektedir. Konsorsiyum blokzincirleri bankalar arası ödeme sistemlerinde öne çıkmaktadır. Blokzincir teknolojisinin esnek yapısı ve çeşitli türleri, bu teknolojinin farklı sektörlerde uyarlanabilmesini mümkün kılar. Açık, özel, konsorsiyum ve hibrit blokzincir türleri; güvenlik, şeffaflık ve verimlilik açısından farklı avantajlar sunmaktadır. Gelecekte, blokzincirin bu farklı türlerinin, dijital ekosistemlerin dönüşümünde kilit bir rol oynaması beklenmektedir (Gholami vd., 2025).

2.2.4. Blokzincir Teknolojisinin Avantajları ve Dezavantajları

Blokzincir (blockchain) teknolojisi, ilk olarak Bitcoin ile gündeme gelmiş, ardından finans, sağlık, tedarik zinciri ve devlet hizmetleri gibi pek çok alanda kullanılmaya başlamıştır. Dağıtık defter yapısı, merkeziyetsizlik ve şeffaflık gibi özellikleri sayesinde devrim niteliğinde bir yenilik olarak görülen blokzincir, sunduğu avantajların yanında çeşitli sınırlılıklara ve zorluklara da sahiptir (Tripathi vd., 2023).

Blokzincir teknolojisi, merkeziyetsizlik, şeffaflık, güvenlik ve maliyet tasarrufu gibi birçok avantaj sunmasına rağmen, ölçeklenebilirlik, enerji tüketimi ve hukuki düzenlemeler gibi konularda önemli zorluklara sahiptir. Gelecekte bu dezavantajların giderilmesi için yapılan çalışmaların, blokzincirin daha geniş bir alanda benimsenmesine olanak tanıyacağı öngörülmektedir. Bu bağlamda, blokzincir teknolojisinin avantajlarını maksimize ederken sınırlılıklarını minimize etmeye yönelik çözümler geliştirilmesi kritik bir gerekliliktir (Dong vd., 2023).

Blokzincir teknolojisinin sunduğu avantajlar ve karşılaşılan dezavantajlar, sistemin mimari yapısına, kullanılan mutabakat mekanizmasına ve erişim modeline göre önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Örneğin, açık blokzincirlerde şeffaflık ve güvenlik ön plandayken, işlem hızı ve enerji tüketimi ciddi birer sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Buna karşılık, özel ve konsorsiyum blokzincirlerinde ölçeklenebilirlik ve performans artarken, merkeziyetsizlik düzeyi azalabilmektedir. Bu durum, blokzincir teknolojisinin tek tip bir çözüm olarak değerlendirilmesinin yerine, kullanım amacına ve sektörel ihtiyaçlara göre yapılandırılması gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla, avantaj ve dezavantajların doğru biçimde analiz edilebilmesi için blokzincir sistemlerinin türlerine göre incelenmesi büyük önem taşımaktadır (Zheng vd., 2018; Casino vd., 2019).

2.2.4.1. Blokzincir Teknolojisinin Avantajları

Blokzincir (blockchain) teknolojisi, verinin merkezi bir otoriteye bağlı kalmaksızın güvenilir bir şekilde saklanması, işlenmesi ve paylaşılmasını sağlayan devrim niteliğinde bir yeniliktir. Kriptografi, dağıtık defter (distributed ledger) ve konsensüs mekanizmalarının bir araya gelmesiyle oluşan bu teknoloji; şeffaflık, güvenlik, izlenebilirlik ve maliyet avantajları gibi benzersiz özellikleri sayesinde pek çok

sektörde köklü dönüşümlere yol açmaktadır. Blokzincir teknolojisinin birçok avantajı bulunmaktadır (Tripathi vd., 2023).

Merkeziyetsizlik ve Aracısız İşlemler: Blokzincir teknolojisinin temelinde merkeziyetsizlik ilkesi yer alır. Geleneksel finansal ve idari sistemlerde tüm işlemler bir merkezi otoritenin onayına tabidir. Ancak blokzincir, işlemleri doğrulamak için merkezi bir otorite yerine ağdaki katılımcılar arasında dağıtılmış bir sistem kullanır. Bu durum, hem sistemdeki tek nokta hatası riskini azaltır hem de herhangi bir otoritenin kötü niyetli müdahalelerini engeller. Blokzincirin merkeziyetsiz yapısı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde finansal erişimi olmayan bireyler için büyük bir fırsat yaratmaktadır. Örneğin, geleneksel bankacılık sistemine erişimi olmayan kişiler, blokzincir tabanlı kripto para cüzdanları ile global finansal işlemlere katılabilmektedir (Rejeb vd., 2021).

Güvenlik ve Veri Bütünlüğü: Blokzincir, güçlü kriptografik algoritmalar ve zincirleme blok yapısı sayesinde yüksek seviyede veri güvenliği sağlar. Her blok, önceki bloğun şifrelenmiş özeti (hash) ile bağlantılıdır. Böylece zincire bir kez kaydedilen veriler geriye dönük olarak değiştirilemez ve silinemez (Zheng vd., 2018). Bu özellik; siber saldırılara karşı yüksek direnç sağlar, finansal işlemlerde sahtecilik ve dolandırıcılığı önler ve sağlık sektöründe hasta kayıtlarının güvenli bir şekilde saklanmasına olanak tanır. Örneğin, Estonya, blokzinciri sağlık sisteminde kullanarak vatandaşların sağlık verilerini güvenli bir şekilde yönetmektedir (Haleem vd., 2021).

Şeffaflık ve İzlenebilirlik: Blokzincir teknolojisi, işlemleri ağdaki tüm katılımcılar tarafından görüntülenebilir bir şekilde kayıt altına alır. Bu şeffaf yapı, dolandırıcılığı azaltır ve taraflar arasında güven tesis eder (Casino vd., 2019). IBM Food Trust gibi çözümler, gıda ürünlerinin kaynağından tüketiciye kadar olan yolculuğunu izlenebilir hale getirerek gıda güvenliğini artırmaktadır. Blokzincir, seçim sistemlerinde kullanıldığında oyların şeffaf bir şekilde sayılmasına olanak tanır. Şeffaflık ayrıca, işletmelerin sürdürülebilirlik taahhütlerini kanıtlamalarına da yardımcı olur (Friedman ve Ormiston, 2022).

Maliyet ve Zaman Tasarrufu: Blokzincir, işlemler sırasında aracı kurumlara olan ihtiyacı ortadan kaldırarak hem maliyetleri düşürür hem de süreçleri hızlandırır. Özellikle sınır ötesi para transferlerinde, SWIFT gibi geleneksel sistemlerde günler süren işlemler blokzincir sayesinde dakikalar içinde tamamlanabilir. Akıllı

sözleşmeler (smart contracts) ise blokzincirin bu avantajını bir adım ileri taşır. Nick Szabo (1997) tarafından ortaya atılan bu kavram, belirli koşullar gerçekleştiğinde otomatik olarak işlemleri yürütür. Örneğin, sigorta şirketleri akıllı sözleşmeler aracılığıyla hasar ödemelerini otomatik hale getirebilir (Giancaspro, 2017).

Kullanıcı Mahremiyeti ve Güçlendirilmiş Veri Sahipliği: Blokzincir, kullanıcıların kimliklerini ifşa etmeden işlem yapmalarına olanak tanır. Merkezi sistemlerde verilerin kontrolü genellikle hizmet sağlayıcılara aittir; ancak blokzincir, bireylere verilerinin tam mülkiyetini kazandırır. Örneğin; kişisel verilerin gizliliğini ön planda tutan Monero ve Zcash gibi kripto para projeleri, gelişmiş anonimlik protokolleriyle kullanıcı mahremiyetini korur (de Haro-Olmo vd., 2020).

Güçlü Sektörel Uyum ve İnovasyon: Blokzincirin avantajları, finansal teknolojilerle sınırlı değildir. Sağlık, enerji, eğitim, hukuk ve lojistik gibi farklı sektörlerde devrimsel yenilikler yaratmaktadır. Örneğin; mikro-şebekelerde enerji ticareti blokzincir ile yapılabilir. Dijital tapu kayıtları blokzincir üzerinde saklanarak sahteciliğe karşı koruma sağlar. NFT'ler (non-fungible tokens), dijital sanat eserlerinin mülkiyetinin korunmasını sağlar (Viet Tran ve Khoa, 2025).

Blokzincir teknolojisi, merkeziyetsizlik, güvenlik, şeffaflık, maliyet avantajı ve sektörler arası esnek uyum gibi özellikleriyle günümüzün en yenilikçi teknolojilerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Her ne kadar enerji tüketimi ve ölçeklenebilirlik gibi zorluklar söz konusu olsa da, bu teknolojinin sunduğu faydalar, gelecekteki dijital altyapıların temelini oluşturma potansiyeline sahiptir. Blokzincirin benimsenme oranının artmasıyla birlikte, iş modellerinin kökten değişeceği ve daha kapsayıcı bir dijital ekosistem yaratılacağı öngörülmektedir (Tripathi vd., 2023).

2.2.4.2. Blokzincir Teknolojisinin Dezavantajları

Blokzincir (blockchain) teknolojisi, merkeziyetsiz yapı, şeffaflık, güvenlik ve izlenebilirlik gibi avantajlarıyla modern dijital dünyada devrim yaratmıştır. Ancak bu teknolojinin her yönüyle kusursuz olduğunu söylemek mümkün değildir. Blokzincirin teknik yapısı, ölçeklenebilirlikten enerji tüketimine, düzenleyici belirsizliklerden kullanıcı hatalarına kadar bir dizi zorluk ve sınırlılık barındırmaktadır. Blokzincir sistemlerinin yaygınlaşması, bu dezavantajların aşılmasına bağlıdır (Khan vd., 2021).

Ölçeklenebilirlik Sorunları: Blokzincir teknolojisinin karşılaştığı en büyük zorluklardan biri ölçeklenebilirliktir. Bitcoin ve Ethereum gibi halka açık blokzincirlerde, işlem hacmi arttıkça ağ tıkanıklığı oluşmakta ve işlem süreleri uzamaktadır. Bitcoin ağı saniyede yalnızca yaklaşık 7 işlem gerçekleştirebilirken, Visa gibi geleneksel ödeme sistemleri saniyede binlerce işlem yapabilmektedir (Li vd., 2021). Bu sınırlılık, blokzincirin kitlesel benimsenmesini engelleyen önemli bir faktördür. Ethereum'un "gas fee" olarak adlandırılan işlem ücretlerinin ağ yoğunluğu arttığında yükselmesi, kullanıcı deneyimini olumsuz etkilemektedir (Chen vd., 2021).

Yüksek Enerji Tüketimi: Özellikle Proof of Work (PoW) konsensüs mekanizmasını kullanan blokzincir ağları, yüksek işlem gücü ve enerji tüketimi gerektirir. Bitcoin ağı, 2022 itibarıyla yıllık yaklaşık 120 terawatt-saat (TWh) enerji tüketerek küçük bir ülkenin enerji tüketimine yaklaşmıştır. Bu durum; çevresel etkileri artırır ve karbon ayak izini büyütür, Blokzincir teknolojisinin sürdürülebilirliği konusunda ciddi tartışmalara yol açar. Her ne kadar Ethereum, enerji tüketimini azaltmak için Proof of Stake (PoS) mekanizmasına geçiş yapsa da, pek çok blokzincir ağı hâlâ enerji yoğun PoW sistemini kullanmaktadır (Wendl vd., 2023).

Hukuki ve Düzenleyici Belirsizlikler: Blokzincir teknolojisinin merkeziyetsiz yapısı, mevcut yasal ve düzenleyici çerçevelerle uyumsuzluklar yaratmaktadır. Kripto para birimleri ve akıllı sözleşmeler gibi uygulamalar, pek çok ülkede henüz net bir şekilde düzenlenmemiştir. Bu durum; yatırımcılar için riskler oluşturur, kötü niyetli faaliyetlerin denetlenmesini zorlaştırır, devletlerin vergilendirme ve denetim mekanizmalarını zayıflatır. Örneğin, 2021 yılında Çin hükümeti, finansal sistem üzerindeki kontrolü korumak için tüm kripto para işlemlerini yasaklamıştır (Yadav vd., 2022).

Veri Gizliliği ve Anonimlikten Kaynaklanan Riskler. Blokzincir, kullanıcıların işlemlerini kısmen anonim olarak gerçekleştirmesine olanak tanır. Bu avantaj, aynı zamanda yasa dışı faaliyetler için bir zemin hazırlamaktadır. Silk Road gibi platformlar, blokzincir ve Bitcoin kullanarak kara para aklama, uyuşturucu ticareti ve yasa dışı işlemleri kolaylaştırmıştır. Blokzincirin bu özelliği, kara para aklama ve terör finansmanı gibi konularda küresel düzenleyici kurumların endişelerini artırmıştır (Fletcher vd., 2021).

Geri Dönüşsüz İşlemler ve Kullanıcı Hataları: Blokzincir üzerindeki işlemler geri alınamaz. Kullanıcılar yanlış bir adrese transfer yaptığında, hatalı işlemin geri alınması mümkün değildir. Bu durum; kullanıcı hatalarının maliyetini artırır, özellikle teknolojiye yeni başlayan kişiler için caydırıcı bir unsur olur. Ayrıca cüzdan anahtarlarının kaybolması, kullanıcıların varlıklarını kalıcı olarak kaybetmesine neden olur. Blockchain.info'ya göre, 2022 itibarıyla tüm Bitcoin'lerin yaklaşık %20'sinin kaybolduğu tahmin edilmektedir (Mahmood vd., 2023).

Yavaş İşlem Hızları ve Depolama Sorunları: Blokzincir sistemleri, işlem hızları bakımından geleneksel veritabanlarına kıyasla daha yavaştır. Tüm ağın işlemleri doğrulaması gerektiği için işlem süreleri uzar. Ayrıca, blokzincirlerin büyüklüğü zamanla artar ve bu durum depolama maliyetlerini yükseltir (Zheng vd., 2018). Bu durum, özellikle yüksek işlem hacmi gerektiren finansal uygulamalarda ölçeklenebilirlik sorunlarını daha belirgin hale getirmektedir. Ölçeklenebilirlik problemlerini aşmak amacıyla ikinci katman (Layer-2) çözümleri ve sharding gibi teknikler geliştirilse de, bu yaklaşımlar sistem mimarisini daha karmaşık hale getirmekte ve güvenlik-performans dengesi konusunda yeni tartışmaları beraberinde getirmektedir (Aldoubaei vd., 2023).

Standartların Eksikliği ve Uyumluluk Problemleri: Farklı blokzincir platformları (ör. Ethereum, Hyperledger, Solana) arasında standart eksikliği bulunmaktadır. Bu durum, sistemler arası uyumluluğu (interoperability) zorlaştırmakta ve teknoloji benimsenmesini yavaşlatmaktadır. Platformlar arasında kullanılan farklı konsensüs mekanizmaları, veri yapıları ve akıllı sözleşme dilleri, zincirler arası entegrasyonu teknik açıdan karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle kurumlar, birden fazla blokzincir altyapısını entegre etmek için ek ara katman çözümleri veya köprü (bridge) teknolojileri geliştirmek zorunda kalmakta, bu da maliyetleri artırarak yaygın kullanım sürecini yavaşlatmaktadır (Ren vd., 2023).

2.3. Tedarik Zinciri Dayanıklılığı

Tedarik zinciri; doğal kaynakların nihai müşteriye ulaşana kadar geçtiği tüm süreçleri, bu süreçlerde yer alan faaliyetleri, kaynakları ve örgütler arası bağlantıları kapsayan bütünsel bir sistemi ifade etmektedir (Jabbar vd., 2021). Bu karmaşık ve kapsamlı yapısı sebebiyle tedarik zincirlerinde belirsizlikler karşısında yavaş kalma gibi

zorluklar söz konusu olabilmektedir. Ayrıca, tedarik zincirleri dış dünyada olan doğal felaketlerden de büyük ölçüde etkilenmektedir. Tedarik zincirinin hem iç yapısındaki karmaşıklık hem de dış olaylara karşı olan hassas yapısı firmalar için ciddi bir karmaşıklık yaratmaktadır ve firmalar çıktılarının bundan etkilenmemesi için çeşitli stratejiler geliştirmektedirler (Hussain vd., 2023).

Bu kapsamda risklerin belirlenip bu riskler doğrultusunda strateji geliştirilmesi fikrine dayanan tedarik zinciri risk yönetimi, önemli bir girişim olarak kabul edilse de günümüzde artan öngörülemezlik sebebiyle etkililiği sorgulanmaktadır (Shishodia vd., 2023). Riskleri azaltmak için tedarik zincirleri bir yandan olası tehditlere hazırlıklı olmalı, diğer yandan her türlü olumsuz durum karşısında buna hızlı bir şekilde yanıt verip hemen üstünden gelmeye odaklanmalıdır. Bunu sağlayan yetenek, tedarik zinciri dayanıklılığı olarak ifade edilmektedir (Agrawal ve Jain, 2022).

Tedarik zinciri dayanıklılığı “tedarik zincirlerinin beklenmeyen olaylara hızlı bir şekilde yanıt vererek operasyonları önceki performans seviyesine, hatta yeni ve daha iyi bir seviyeye geri getirme yeteneği” şeklinde tanımlanmaktadır (Gaudenzi vd., 2023). Bazı yazarlar tedarik zinciri dayanıklılığını bir tedarik zincirinin beklenmedik aksaklıklar karşısında esnek davranarak önlem alabilmesi, meydana gelen sorunlara hızlı ve ekonomik bir şekilde yanıt verebilmesi ve kriz sonrası süreçte operasyonlarını yalnızca eski haline döndürmekle kalmayıp, daha gelişmiş bir seviyeye taşıyabilme becerisi olarak tanımlamaktadır (Shishodia vd., 2023). Li ve arkadaşları (2025a) tedarik zinciri dayanıklılığını “tedarik zincirinin yıkıcı olaylara dayanma, uyum sağlama ve bunlardan kurtulma yeteneği” olarak tanımlamaktadır. Diğer bir deyişle tedarik zinciri dayanıklılığı, tedarik zincirinin adaptasyon becerisidir ve bu beceri beklenmedik durumlara ve aksaklıklara hazırlı olmayı ve bu duruma tepki vererek olumsuz durumlardan kurtulmayı sağlamaktadır (Agrawal ve Jain, 2022; Rahman vd., 2022).

2.3.1. Tedarik Zinciri Kavramı ve Önemi

Tedarik zinciri kavramının çok boyutlu doğası ve tanımı tedarik zincirinin yalnızca fiziksel ürün akışını değil aynı zamanda bilgi ve finansal hareketleri de kapsayan kapsamlı bir sistem olduğunu ortaya koyar. Literatürde tedarik zinciri; hammadde tedarikinden ürünün nihai müşteriye ulaşmasına kadar olan süreçler bütünü olarak

tanımlanmakta ve süreçler arası entegrasyonun önemi vurgulanmaktadır. Bu çerçevede, tedarik zinciri ağlarında malzeme akışının etkin ve verimli yönetimi, işletmelerin rekabet avantajı elde etmelerinde kritik bir unsur olarak görülmektedir. Akademik çalışmalar da tedarik zincirini tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar ve son kullanıcılar arasındaki ilişkiyi bütünlüklü bir ağda ele alan süreçler bütünlüğü olarak tanımlamaktadır (Fang vd., 2022).

Tedarik zincirinin temel işlevi, sadece ürünlerin fiziksel akışını yönetmek değil, aynı zamanda müşteri taleplerine hızlı ve etkili yanıt verecek şekilde bilgi ve finans akışlarını koordine etmektir. Literatürde bu kapsamlı bakış; tedarik zinciri yönetiminin stratejik işlevi ve işletme performansına katkısı olarak değerlendirilmektedir. Uygulamalı akademik çalışmalar, tedarik zincirlerinde bilgi akışının etkinliğinin, operasyonel verimlilik, stok yönetimi ve müşteri tatmini üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bakış açısı, tedarik zincirinin yalnızca mal hareketi değil aynı zamanda rekabet gücünü artıran bir yönetim disiplini olduğunu göstermektedir (Tubis vd., 2023).

Tedarik zincirine ilişkin tanım farklılıkları, kavramın kapsamının genişlemesinden kaynaklanmaktadır. Bazı akademik çalışmalar tedarik zincirini klasik lojistik akışlarının ötesinde değerlendirerek, tedarik zinciri ağındaki teknolojik gelişmelerle birlikte bilgi akışının sistemin başarısındaki kritik rolünü vurgulamaktadır. Özellikle “akıllı tedarik zinciri” yaklaşımları risk ve güvenlik boyutlarını da kapsayan daha kapsayıcı bir anlayış sunmaktadır, bu da tedarik zincirinin önemini daha geniş bir perspektife taşımaktadır. Bu farklı tanım ve yaklaşımlar, tedarik zinciri kavramının hem teorik hem de uygulamalı boyutlarda sürekli geliştiğini göstermektedir (Talih ve Dönmez, 2024).

Tedarik zincirinin önemi, sadece işletmeler için değil, küresel ekonomi açısından da giderek artmaktadır. Tedarik zinciri süreçleri, günümüzün dinamik rekabet ortamında şirketlerin esneklik, verimlilik ve sürdürülebilirlik kazanması için kritik bir rol oynar. Akademik literatür, tedarik zinciri yönetiminin sürdürülebilirlik hedefleri, çevresel performans ve ekonomik fayda sağlama açısından da artan bir araştırma konusu olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle tedarik zinciri performansının artırılması yönündeki uygulamalar, sektörel performansı ve ekonomik dayanıklılığı artırma potansiyeline sahiptir (Sánchez-Flores vd., 2020).

2.3.2. Tedarik Zincirinin Temel Fonksiyonları

Tedarik zincirinin en temel fonksiyonlarından biri planlama ve tedarik süreçleridir. Planlama fonksiyonu, ürünlerin hammaddeden nihai ürüne dönüşüm sürecini başlatmak için talep tahmini, kapasite planlama ve stratejik kaynak ayrımı gibi faaliyetlerin bütünleşik şekilde yürütülmesini gerektirir. Sürdürülebilir ve verimli bir tedarik zinciri için hammaddelerin doğru zamanda ve doğru miktarda temin edilmesi kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, tedarik süreçleri sadece satın alma faaliyetlerini değil, aynı zamanda tedarikçilerle kurumsal ilişkilerin yönetimini ve işbirliğini de içerir; bu, tedarik zincirinin performansını doğrudan etkileyen kritik bir işlevdir (Soori vd., 2023).

Üretim ve envanter yönetimi tedarik zincirinin işlevsel bir diğer önemli parçasıdır. Üretim fonksiyonu, hammadde ve bileşenlerin uygun şekilde işlenip nihai ürün hâline dönüştürülmesini sağlar. Buna paralel olarak envanter yönetimi, stok seviyelerinin optimize edilmesi, maliyetlerin kontrol edilmesi ve arz-talep dengesinin korunması gibi görevleri üstlenir. Modern akademik literatürde envanterin etkin yönetimi, tedarik zincirinin dayanıklılığı ve kesintilere karşı direnci açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır; bu durum özellikle küresel tedarik zincirlerinde kritik risk yönetimi ögesi olarak vurgulanmaktadır (Guo vd., 2025).

Lojistik ve dağıtım fonksiyonları, ürünlerin etkin şekilde müşterilere ulaştırılmasını sağlar. Lojistik, ürünlerin depolanması, elleçlenmesi, taşıma ve teslimat süreçlerini kapsar; bu süreçler tedarik zincirinin genel performansı ve müşteri memnuniyeti üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Etkili lojistik yönetimi, tedarik zincirinin hem maliyet etkinliğini artırır hem de ürünlerin doğru zamanda ve doğru yerde olmasını sağlar. Akademik çalışmalar, lojistik süreçlerin tedarik zincirinin koordinasyonu ve verimliliği açısından merkezi bir role sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (Ngo vd., 2024).

Bilgi ve finansal akışların entegrasyonu, tedarik zincirinin koordinasyonunu ve rekabet avantajını artıran bir diğer temel fonksiyondur. Tedarik zincir süreçlerinde bilgi akışı, sipariş, stok, üretim ve teslimat durumunun paylaşılması ile zincir içi belirsizliklerin azaltılmasına yardımcı olur. Finansal akışlar ise ödeme takvimleri, kredi koşulları ve maliyet yönetimi gibi unsurları kapsayarak zincir boyunca ekonomik etkinliğin sağlanmasına katkı sağlar. Literatürde, bu akışların koordinasyonu ve

entegrasyonu, tedarik zincirinin hem operasyonel hem de stratejik açıdan etkinliği için vazgeçilmez unsurlar olarak tanımlanmaktadır (Richey. Vd., 2023)

2.3.3. Tedarik Zinciri Dayanıklılığı Tanımı

Tedarik zinciri dayanıklılığı kavramı, küresel ve karmaşık tedarik zincirlerinin karşılaştığı belirsizlikler ve kesintilere uyum sağlama kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda dayanıklılık sadece bir sistemin dışsal şokların etkisini azaltması değil, aynı zamanda bu tür olaylara karşı proaktif hazırlık yaparak performansı koruma ve kriz sonrası toparlanma kabiliyeti anlamına gelir. Literatürde tedarik zinciri dayanıklılığı, belirsiz çevresel koşullara rağmen operasyonel sürekliliğin sağlanması için ağ yapılarının, firmaların ve süreçlerin bir arada evrimleşen yetenekler bütününe ifade eder (Ma vd., 2024).

Tedarik zinciri dayanıklılığının önemi, özellikle COVID-19 pandemisi, doğal afetler ve jeopolitik gerilimler gibi geniş çaplı kesintiler sonrasında daha da belirgin hale gelmiştir. Bu güçlü tanımlama, tedarik zinciri dayanıklılığının yalnızca bir “geri dönüş yeteneği” değil, aynı zamanda hazırlıklı olma, hızlı tepki verme ve etkili toparlanma süreçlerini kapsayan çok boyutlu bir yetkinlik olduğunu vurgular. Literatürde bu yaklaşım, dayanıklılığı sadece risk yönetimi ve kırılganlığa direnç olarak değil, aynı zamanda adaptasyon ve sistemsel öğrenme yeteneği olarak ele alır ve bu sayede tedarik zincirlerinin performans sürdürülebilirliğini sağlar (Paul ve Saha, 2025).

Akademik literatürde tedarik zinciri dayanıklılığı tanımlanırken, kavramın çok boyutlu yapısı vurgulanır: hazırlık, tepki ve toparlanma aşamaları, tedarik zincirinin etkin bir şekilde yönetilmesi için kritik olarak ele alınmaktadır. Ayrıca dayanıklılık; sadece olumsuz bir olaya karşı dayanma gücü değil, aynı zamanda sistemin bu tür olaylardan sonra daha güçlü ve esnek hale gelebilme kapasitesidir. Bu holistik tanım, dayanıklılığın hem altyapısal hem de organizasyonel yeteneklerin bir birleşimi olarak kavramsallaştırılmasına yol açmıştır (Shishodia vd., 2023).

Tedarik zinciri dayanıklılığının uygulanabilirliği, risk yönetimi stratejileri ve teknolojik yeniliklerle de ilişkilendirilir. Literatürde dayanıklılığı artırmak için çoklu tedarik kaynakları, güçlü bilgi paylaşımı, esnek üretim kapasiteleri, dijital izlenebilirlik ve veri odaklı karar verme süreçleri gibi stratejiler öne çıkar. Bu stratejiler, bir tedarik zincirinin sadece şoklara karşı direnç göstermesini değil, aynı

zamanda bu tür kesintilere tepki verme ve etkin bir şekilde toparlanma süreçlerini de optimize etmesini sağlar (Zhao vd., 2023).

2.3.4. Tedarik Zinciri Dayanıklılığının Stratejik Yönleri

Tedarik zinciri dayanıklılığının stratejik yönleri, işletmelerin belirsizlik ve aksamalara karşı sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmeleri açısından kritik rol oynar. Dayanıklılık stratejileri sadece risk yönetimi değil, aynı zamanda stratejik hazırlık, esneklik ve toparlanma kapasitelerinin bilinçli olarak planlanmasını içerir; bu sayede tedarik zinciri şoklara karşı proaktif olarak çözümler üretebilir ve süreçlerini hızla eski performans seviyesine döndürebilir. Literatürde vurgulandığı üzere, dayanıklılık yalnızca kesintiye karşı tepki verme kabiliyeti değil, aynı zamanda stratejik kapasite geliştirme ve ağ düzeyinde koordinasyon ile birlikte teknolojik entegrasyon gibi boyutları kapsayan dinamik bir süreç olarak görülmektedir. Bu stratejik yaklaşım, tedarik zinciri aktörlerinin hem içsel yeteneklerini (ör. süreç esnekliği, risk planlaması) hem de dışsal işbirliklerini (ör. tedarikçi ağları ve bilgi paylaşımı) optimize ederek belirsizliklere karşı uzun vadeli bir dayanıklılık inşa etmelerini sağlar (Paul ve Saha, 2025).

Stratejik Vizyon ve Liderlik: Zincirin belirsizlikler ve aksaklıklarla karşılaştığında sadece teknik süreçlerin değil, aynı zamanda üst düzey liderlik vizyonu ve yönetsel kararların başarısı ile güçlü bir şekilde bağlantılıdır. Akademik literatürde liderliğin, tedarik zinciri dayanıklılığı üzerinde doğrudan stratejik bir etkisi olduğu vurgulanmaktadır; özellikle liderlerin vizyoner bakış açısı, tedarik zinciri ağındaki işbirliği, bilgi paylaşımı ve ortak risk yönetimi kapasitelerini güçlendirerek zincirin kesintilere karşı dayanıklılığını artırır. Liderlik sorumluluğu, tedarik zinciri üyeleri arasındaki etkileşimleri yönetme, ortak hedeflere odaklanmayı sağlama ve şoklara karşı stratejik yanıt mekanizmalarını uyumlu hale getirme açısından kritik bir rol oynar; bu da dayanıklılığı sadece operasyonel bir hedef olmaktan çıkarıp stratejik bir hedef haline getirir. Bu bağlamda liderlik ve vizyon; tedarik zincirinin proaktif risk planlaması, belirsizliklere uyum sağlama ve sürdürülebilir performans elde etme süreçlerinde ayrıran rekabet avantajları sunar (Shin ve Park, 2021).

Risk Yönetimi Stratejileri: Risk stratejileri, dayanıklılığın omurgasını oluşturur. Bu stratejiler şunları içerir; çoklu tedarikçi yönetimi, tedarikçi ortaklığı ve co-creation,

risk haritaları ve finansal stres testleri, sigorta ve hedging stratejileri ile olası finansal sonuçları minimize etme. Bu stratejilerin etkin biçimde uygulanması, tedarik zinciri ağının kırılma noktalarının önceden tespit edilmesini ve alternatif senaryoların hazırlanmasını mümkün kılar. Ayrıca dijital izleme sistemleri, erken uyarı mekanizmaları ve veri analitiği araçlarının entegrasyonu, risklerin proaktif biçimde yönetilmesini sağlayarak organizasyonun hem operasyonel sürekliliğini hem de stratejik dayanıklılığını güçlendirir (Hosseini Shekarabi vd., 2025).

Kaynak ve Envanter Optimizasyonu: Dayanıklı stratejiler, kesinti anında yeterli kapasite ve esneklik sunmalıdır: Güvenlik stokları ve tampon kapasiteler, çapraz eğitim ve çoklu üretim hatları sayesinde kaynak yedekliliği, esneklikle maliyeti optimal şekilde dengeleyecek envanter/servis seviye dengesi. Bu kapsamda, talep dalgalanmalarına hızlı uyum sağlayabilmek için modüler üretim sistemleri ve esnek lojistik ağ tasarımları da stratejik önem taşır. Ayrıca veri temelli kapasite planlaması ve senaryo analizleri, işletmelerin hem hizmet seviyesini korumasına hem de aşırı maliyet yükünden kaçınarak dayanıklılık–verimlilik dengesini sürdürülebilir biçimde yönetmesine katkı sağlar (Chakraborty vd., 2023).

Teknoloji Odaklı Stratejik Uyum: Dijital araçların stratejik entegrasyonu, dayanıklılığı güçlendirir: IoT ve gerçek zamanlı izleme sayesinde görünürlüğü önlemler, yapay zekâ ile öngörücü modellemeler, blockchain tabanlı güvenlik ve şeffaflık çözümleri, ajan tabanlı simülasyonlarla farklı kesinti senaryolarının analiz edilmesi. Bu teknolojilerin bütüncül biçimde entegre edilmesi, tedarik zinciri boyunca veri paylaşımını hızlandırarak karar alma süreçlerinin doğruluğunu ve çevikliğini artırır. Ayrıca dijital ikiz (digital twin) uygulamaları sayesinde işletmeler, olası kesintilerin sistem üzerindeki etkilerini sanal ortamda test ederek risk azaltıcı stratejileri uygulamaya almadan önce optimize edebilir (Hosseini Shekarabi vd., 2025).

Performans Yönetimi ve Sürekli İyileştirme: Dayanıklılığın stratejik etkisini ölçmek için performans göstergeleri geliştirilmiştir. Zamanında teslimat, tedarikçi yanıt süreleri, üretim esnekliği ve müşteri memnuniyeti, Finansal dayanıklılık göstergeleri: maliyet sapmaları, kâr marjları, Sürekli iyileştirme mekanizmaları: kriz sonrası öğrenme döngüleri, geri bildirim sistemleri. Bu göstergelerin düzenli olarak izlenmesi ve karşılaştırmalı analizlerle değerlendirilmesi, organizasyonların zayıf noktalarını belirleyerek stratejik müdahale alanlarını netleştirmesine olanak tanır.

Ayrıca performans ölçüm sistemlerinin kurumsal karar destek mekanizmalarına entegre edilmesi, kriz deneyimlerinden elde edilen bilgilerin kurumsal hafızaya aktarılmasını ve dayanıklılık kapasitesinin zaman içinde sistematik biçimde artırılmasını sağlar (Hohenstein, 2022).

Sürdürülebilirlik ve ESG Stratejileri: Dayanıklılığın stratejik boyutu, çevresel ve sosyal sorumlulukla birleştiğinde daha güçlü bir yapıya dönüşür: Yeşil tedarik uygulamaları, karbon ayak izi ölçümü, Sosyal sürdürülebilirlik: adil tedarikçi uygulamaları, Kurumsal itibar stratejileriyle ESG göstergelerinde olumlu performans. Bu yaklaşım, yalnızca risklere karşı direnç geliştirmekle kalmayıp aynı zamanda paydaş güvenini artırarak uzun vadeli rekabet avantajı yaratır. Çevresel ve sosyal kriterlerin stratejik karar süreçlerine entegre edilmesi, tedarik zincirinin hem sürdürülebilirlik performansını hem de krizlere karşı uyum kapasitesini bütüncül biçimde güçlendirir (Zhou vd., 2024).

Kurumlar Arası İşbirliği: Dayanıklı stratejiler, tedarikçiler, lojistik sağlayıcılar, müşteriler ve kamusal kurumlarla derinlemesine işbirliğini gerektirir: Stratejik ortaklıklar, veri paylaşımı ve ortak kriz tatbikatları, Tedarikçi geliştirme programları yoluyla tedarikçi performansının artırılması, Kamu-özel sektör işbirlikleri ile altyapı dayanıklılığının artırılması. Bu tür çok paydaşlı işbirliği modelleri, bilgi asimetrisini azaltarak belirsizlik dönemlerinde daha koordineli ve hızlı karar alınmasını mümkün kılar. Ayrıca güvene dayalı uzun vadeli ilişkiler, kriz anlarında kaynak paylaşımını ve esnek kapasite kullanımını kolaylaştırarak tedarik zincirinin genel toparlanma hızını artırır (Simon, 2025).

Tedarik zinciri dayanıklılığının stratejik yönleri; yönetim vizyonu, risk planlaması, kaynak optimizasyonu, teknoloji entegrasyonu, performans süreçleri, sürdürülebilirlik ve işbirliği eksenlerinde şekillenmektedir. Bu stratejik bileşenlerin koordine edilmesi, tedarik zincirinin sadece aksiyonel değil, aynı zamanda geleceği şekillendiren bir varlık olmasını sağlar (Paul ve Saha, 2025).

2.3.5. Tedarik Zinciri Dayanıklılığını Etkileyen Faktörler

Küresel tedarik zincirlerinin giderek daha karmaşık hale gelmesi, bu zincirlerin dayanıklılığını artırmak için gerekli stratejilerin belirlenmesini zorunlu kılmaktadır. Tedarik zinciri dayanıklılığı, bir zincirin dışsal şoklar, aksaklıklar ve krizler karşısında

işleyişini sürdürebilme ve yeniden yapılandırılabilme kapasitesini ifade eder. Tedarik zincirinin dayanıklılığı, sadece kriz anlarında değil, normal işleyişin sürdürülebilirliğinde de önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, tedarik zinciri dayanıklılığını etkileyen faktörlerin doğru bir şekilde belirlenmesi, işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmesi için kritik bir adımdır (Ivanov ve Dolgui, 2020).

Tedarikçi Yönetimi ve Çeşitlendirme: Tedarikçi yönetimi, tedarik zinciri dayanıklılığını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Tedarikçiler, zincirin en temel yapı taşlarından biri olup, tedarik zincirinin sürekliliğini sağlamada kritik rol oynar. Tedarik zincirinde yaşanan bir aksaklık, doğrudan tedarikçi problemleriyle ilişkilidir. Bu nedenle, tedarikçilerin performansının izlenmesi ve değerlendirilmesi, tedarik zincirinin dayanıklılığını artıran temel unsurlardır. Çeşitlendirilmiş bir tedarikçi ağı, tedarik zincirinin dayanıklılığını artırabilir. Çeşitlendirme, tedarikçi bağımlılığını azaltarak, bir tedarikçinin yaşadığı problem nedeniyle zincirin genel işleyişinin kesintiye uğramasını engeller. Ayrıca, tedarikçi çeşitlendirmesi, alternatif kaynaklardan mal temin etme imkanı sunduğu için, kriz anlarında tedarik zincirinin esnekliğini artırır (Joshi ve Luong, 2022).

Teknolojik Altyapı ve Dijitalleşme: Teknoloji, tedarik zinciri dayanıklılığının en kritik faktörlerinden birini oluşturur. Dijitalleşme ve teknolojik altyapı, tedarik zincirinin verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda onun dayanıklılığını da güçlendirir. Gelişmiş bilgi sistemleri, veri analitiği ve yapay zeka, tedarik zinciri yöneticilerinin hızlı ve doğru kararlar almasına olanak tanır. Örneğin, IoT (Nesnelerin İnterneti) teknolojileri, tedarik zincirinin her aşamasında anlık veri sağlama ve izleme imkanı sunar. Bu, potansiyel risklerin erken tespiti ve çözüm sürecinde hızlı hareket edilmesi açısından büyük önem taşır. Blockchain teknolojisi de tedarik zincirlerinde şeffaflık sağlayarak, ürünlerin izlenebilirliğini artırır. Tedarik zinciri süreçlerinde daha fazla şeffaflık ve güven sağlamak, kriz anlarında daha hızlı ve etkili bir yanıt verme kapasitesini artırır (Ivanov, 2022).

Esneklik ve Adaptasyon Yeteneği: Tedarik zinciri esnekliği, dışsal şoklara ve krizlere karşı hızlı adapte olabilme yeteneği olarak tanımlanır. Esneklik, tedarik zincirinin dayanıklılığını artıran önemli bir faktördür. Çeşitlendirilmiş tedarikçi ağları, esnek lojistik çözümleri ve alternatif yollar, esneklik stratejilerinin temel öğeleridir. Esnek tedarik zincirleri, yalnızca kriz anlarında değil, aynı zamanda normal

operasyonel süreçlerde de hızla uyum sağlayabilirler. Esneklik, aynı zamanda tedarik zincirinin kaynaklarını etkin bir şekilde yönetebilme kapasitesiyle de ilişkilidir. Esnek tedarik zincirleri, ürünlerin farklı kanallar aracılığıyla tedarik edilmesini ve ihtiyaç duyulan malzemelerin farklı tedarikçilerden temin edilmesini sağlayarak, kriz anlarında tedarik kesintilerini minimize eder (Shishodia vd., 2023).

İletişim ve Koordinasyon: Tedarik zincirlerinde etkili iletişim ve koordinasyon, dayanıklılığı güçlendiren bir diğer önemli faktördür. Kriz anlarında, tüm paydaşlar arasında hızlı ve doğru bir iletişim ağı kurulması, tedarik zincirinin etkili bir şekilde yönetilmesine olanak tanır. Güçlü bir iletişim ağı, tedarik zinciri aktörlerinin kriz sırasında birbirleriyle koordinasyon sağlamalarını ve çözüm önerilerini hızla tartışmalarını sağlar. Koordinasyon ayrıca tedarik zincirinin daha esnek olmasına yardımcı olur. Tedarikçiler, lojistik firmaları ve diğer paydaşlar arasındaki güçlü ilişkiler, tedarik zincirinin kriz anlarında hızla adapte olabilmesini ve kaynakların verimli bir şekilde dağıtılmasını sağlar (Umar ve Wilson, 2021).

Risk Yönetimi ve Planlama: Tedarik zinciri dayanıklılığı, etkili risk yönetimi stratejilerinin uygulanmasına bağlıdır. Risk yönetimi, potansiyel krizlerin önceden belirlenmesi, bu krizlere karşı hazırlıkların yapılması ve kriz anında hızlı tepki verebilme yeteneğini geliştirme sürecini içerir. Risk yönetimi, tedarik zinciri dayanıklılığını artıran temel unsurlardan biridir. Çünkü, tedarik zincirinin karşılaşılabileceği olası kesintiler ve aksaklıklar hakkında bilgi edinilmesini sağlar. Birçok işletme, olası riskleri analiz etmek ve bu risklere karşı önceden stratejiler geliştirmek için simülasyonlar ve senaryo analizleri kullanmaktadır. Bu tür analizler, kriz durumlarında hızlı ve etkili bir yanıt verilmesine yardımcı olur. Ayrıca, bu tür planlama, tedarik zincirinin esnekliğini artırarak, risklerin minimize edilmesini sağlar (Hosseini Shekarabi vd., 2025).

Kültürel ve Sosyal Faktörler: Tedarik zincirinin dayanıklılığını etkileyen bir diğer faktör ise kültürel ve sosyal dinamiklerdir. Tedarik zincirinde yer alan organizasyonlar arasındaki güven ve işbirliği, zincirin genel dayanıklılığını etkileyebilir. Özellikle tedarik zinciri ilişkilerinin uzun vadeli olması ve güven temelli bir yapının inşa edilmesi, kriz anlarında daha etkili bir şekilde çözüm üretilmesini sağlar. Kültürel farklar, uluslararası tedarik zincirlerinde önemli bir rol oynar. Kültürel uyumsuzluklar, tedarik zinciri ilişkilerinin zayıflamasına ve koordinasyon eksikliklerine yol açabilir.

Bu nedenle, tedarik zincirindeki tüm paydaşlar arasında kültürel farkındalık ve anlayış geliştirilmesi, kriz anlarında daha verimli bir işbirliği sağlar (Jiang ve Chang, 2025).

2.3.6. Tedarik Zinciri Dayanıklılığı Boyutları

Tedarik zincirleri, küresel ekonomi ve ticaretin temel yapı taşlarından biridir. Ancak, bu zincirler, doğal afetler, ekonomik krizler, politik belirsizlikler ve pandemiler gibi çeşitli dışsal şoklara karşı oldukça hassastır. Bu bağlamda, tedarik zinciri dayanıklılığı kavramı, iş sürekliliğini sağlamak, aksaklıkları minimize etmek ve kriz durumlarına hızlı bir şekilde adapte olabilmek için kritik bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Tedarik zinciri dayanıklılığı, bir zincirin beklenmeyen olaylar karşısında işleyişini sürdürme, hızla iyileşme ve gelecekteki aksaklıklara karşı daha dirençli hale gelme kapasitesini ifade eder (Ivanov ve Dolgui, 2020).

Literatürde tedarik zinciri dayanıklılığı, tek boyutlu bir kavram olarak değil, birbiriyle ilişkili çok sayıda boyutun bileşkesi olarak ele alınmaktadır. Bu boyutlar arasında hazırlık, yanıt, iyileşme, esneklik, iletişim ve koordinasyon öne çıkmaktadır. Bu boyutların bütüncül bir şekilde ele alınması, tedarik zincirinin yalnızca kriz anında tepki verme kapasitesini değil, aynı zamanda kriz öncesi riskleri öngörebilme ve kriz sonrası daha güçlü bir yapıya dönüşebilme yeteneğini de kapsamaktadır. Dolayısıyla tedarik zinciri dayanıklılığı, statik bir özellikten ziyade öğrenme, uyum sağlama ve sürekli gelişim süreçleriyle beslenen dinamik bir yetkinlik olarak değerlendirilmektedir (Chowdhury ve Quaddus, 2017; Ivanov, 2021).

2.3.6.1. Hazırlık

Tedarik zinciri dayanıklılığının ilk boyutu, "hazırlık"tır. Hazırlık, tedarik zincirinin potansiyel risklere karşı önceden stratejiler geliştirme sürecini ifade eder. Bu aşama, tedarik zincirinin tüm bileşenlerinin olası aksaklıklarla başa çıkabilmek için gerekli önlemleri almasını içerir. Hazırlık, genellikle risk değerlendirmesi, kriz senaryoları geliştirme, tedarikçi ilişkileri oluşturma ve iş sürekliliği planları hazırlama gibi süreçleri kapsar (Shishodia vd., 2023).

Hazırlık aşamasının temel unsurlarından biri, risklerin tanımlanmasıdır. Tedarik zincirindeki potansiyel tehditlerin (doğal afetler, tedarikçi aksaklıkları, ekonomik krizler vb.) belirlenmesi, bu tehditlere karşı alınacak önlemleri şekillendirir. Ayrıca,

hazırlık, tedarik zinciri aktörlerinin işbirliği ve koordinasyon düzeylerini artırmayı da içerir. Bu aşamada, alternatif tedarikçi ve lojistik çözümleri geliştirmek, bir aksaklık durumunda operasyonların sürdürülebilirliğini sağlamada önemli rol oynar (Hosseini Shekarabi vd., 2025).

Hazırlık aşamasında öne çıkan bir diğer önemli unsur, tedarik zinciri görünürliğünün artırılmasıdır. Bilgi teknolojilerinin etkin kullanımı sayesinde, tedarik zinciri boyunca veri akışının şeffaf ve gerçek zamanlı olarak sağlanması, potansiyel risklerin erken tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Talep dalgalanmaları, tedarik gecikmeleri veya üretim kesintileri gibi sorunlar, yüksek görünürlük sayesinde daha ortaya çıkmadan öngörülebilmekte ve önleyici aksiyonlar alınabilmektedir. Bu bağlamda, hazırlık düzeyi yüksek olan tedarik zincirlerinin belirsizlik ortamlarında daha düşük operasyonel kayıp yaşadığı literatürde vurgulanmaktadır (Liu vd., 2024).

Hazırlık sürecinin etkinliği, aynı zamanda organizasyonel esneklik ve kaynak çeşitliliği ile doğrudan ilişkilidir. Kritik hammaddeler için çoklu tedarikçi stratejileri geliştirmek, alternatif üretim ve dağıtım kanalları oluşturmak ve stok tamponları planlamak, hazırlık aşamasında sıklıkla başvurulan uygulamalar arasındadır. Bu uygulamalar, tedarik zincirinin tek bir kaynağa veya bölgeye bağımlılığını azaltarak, olası kesintilerin zincir üzerindeki etkisini minimize etmektedir. Araştırmalar, kaynak çeşitlendirmesinin kriz dönemlerinde tedarik zinciri performansını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir (Shishodia vd., 2023).

Son olarak, hazırlık boyutu yalnızca teknik ve yapısal önlemlerle sınırlı olmayıp, insan kaynağı ve kurumsal öğrenme süreçlerini de kapsamaktadır. Çalışanların kriz yönetimi konusunda eğitilmesi, acil durum tatbikatlarının düzenli olarak gerçekleştirilmesi ve geçmiş aksaklıklardan elde edilen deneyimlerin kurumsal hafızaya aktarılması, hazırlık düzeyini güçlendiren faktörler arasında yer almaktadır. Bu tür proaktif yaklaşımlar, tedarik zincirinin yalnızca krizlere karşı dirençli olmasını değil, aynı zamanda uzun vadede daha sürdürülebilir ve rekabetçi bir yapıya kavuşmasını sağlamaktadır (Kumar vd., 2024).

2.3.6.2. Yanıt

Yanıt, tedarik zinciri dayanıklılığının ikinci boyutudur ve bir kriz durumunda tedarik zincirinin nasıl tepki verdiğini açıklar. Kriz anlarında, zincirin etkin bir şekilde tepki

verebilmesi için hız ve esneklik çok önemlidir. Yanıt, tedarik zincirindeki tüm paydaşlar arasında güçlü bir iletişim ve koordinasyonu gerektirir. Bu süreçte, karar alıcıların hızla doğru kararlar alabilmesi için anlık veriye ve iyi bir risk değerlendirmesine ihtiyaç vardır (Ivanov, 2021).

Yanıt aşamasında tedarik zincirinin esnekliği kritik bir rol oynar. Esneklik, zincirin hızlıca alternatif çözümler geliştirme ve mevcut kaynakları etkin bir şekilde yönlendirme kapasitesidir. Ayrıca, kriz anında tedarik zincirinin bir kısmının zarar görmesi durumunda, kalan kaynakların optimize edilmesi ve minimum kayıpla operasyonların sürdürülmesi sağlanmalıdır. Yanıtın etkinliği, bir kriz anında zincirin ne kadar hızlı toparlanabileceği ile ölçülür. Bu süreçte, tedarik zinciri liderlerinin kriz yönetimi konusunda deneyimli olmaları ve hızlı karar alabilme yeteneğine sahip olmaları gerekir (Queiroz vd., 2022).

Yanıt aşamasında bilgi paylaşımının hızı ve doğruluğu, tedarik zinciri performansını doğrudan etkileyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Kriz anlarında, tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar ve perakendeciler arasında kesintisiz bilgi akışının sağlanması, yanlış kararların ve gecikmelerin önüne geçilmesine yardımcı olur. Dijital teknolojiler ve entegre bilgi sistemleri, gerçek zamanlı veri paylaşımı sağlayarak yöneticilerin duruma hızlı bir şekilde müdahale edebilmesine olanak tanımaktadır. Literatürde, yüksek bilgi entegrasyonuna sahip tedarik zincirlerinin krizlere daha etkin yanıt verdiği vurgulanmaktadır (Dubey vd., 2019).

Yanıt sürecinde operasyonel yeniden yapılandırma da önemli bir rol oynamaktadır. Üretim planlarının yeniden düzenlenmesi, alternatif lojistik rotalarının devreye alınması ve talep önceliklendirmesi gibi uygulamalar, kriz dönemlerinde sıkça kullanılan yanıt stratejileridir. Bu tür uygulamalar, tedarik zincirinin tamamen durmasını önleyerek temel faaliyetlerin sürdürülmesini sağlar. Özellikle esnek üretim sistemlerine sahip işletmelerin, ani talep değişimlerine ve arz kesintilerine daha hızlı adapte olabildiği belirtilmektedir (Ivanov, 2020).

Son olarak, yanıt boyutunun başarısı büyük ölçüde kurumsal liderlik ve karar alma mekanizmalarının etkinliğine bağlıdır. Kriz dönemlerinde merkeziyetçi ve net bir liderlik yapısının benimsenmesi, belirsizliği azaltmakta ve koordinasyonu güçlendirmektedir. Aynı zamanda, geçmiş kriz deneyimlerinden elde edilen öğrenmelerin karar süreçlerine entegre edilmesi, yanıt kapasitesini artırmaktadır. Bu

bağlamda, sürekli iyileştirme yaklaşımını benimseyen ve kriz sonrası değerlendirme süreçlerini etkin yürüten tedarik zincirlerinin, gelecekteki şoklara karşı daha hazırlıklı olduğu ifade edilmektedir (Zhou vd., 2024).

2.3.6.3. İyileşme

İyileşme, tedarik zinciri dayanıklılığının üçüncü boyutudur ve kriz sonrası tedarik zincirinin eski işleyişine geri dönme sürecini ifade eder. Kriz anlarında yaşanan aksaklıklar sonrasında, tedarik zincirinin hızla iyileşmesi ve normale dönmesi gerekir. Bu, sadece operasyonel değil, aynı zamanda finansal iyileşmeyi de içerir. İyileşme aşamasının temel unsurları, kaynakların yeniden dağıtılması, tedarikçi ve lojistik ağlarının yeniden inşa edilmesi ve işletmenin mali durumunun toparlanmasıdır (Ivanov ve Dolgui, 2020).

İyileşme sürecinde, tedarik zinciri liderlerinin uzun vadeli stratejiler geliştirmeleri ve gelecekteki krizlere karşı daha dayanıklı bir yapı kurmaları önemlidir. Ayrıca, bu aşamada tedarik zincirinin daha verimli hale gelmesi için iyileştirme fırsatları değerlendirilmelidir. Tedarik zincirindeki her aşamanın gözden geçirilmesi ve yeniden yapılandırılması, hem mevcut zorlukları aşmak hem de gelecekteki olası risklere karşı hazırlıklı olmak adına önemlidir (Wieland ve Wallenburg, 2012).

İyileşme aşamasında performans ölçümü ve değerlendirme mekanizmalarının kullanılması, tedarik zincirinin ne ölçüde toparlandığını analiz etmek açısından kritik öneme sahiptir. Kriz sonrası dönemde teslimat süreleri, hizmet seviyesi, stok devir hızı ve maliyet yapıları gibi temel performans göstergelerinin izlenmesi, iyileşme sürecinin etkinliğini ortaya koymaktadır. Bu göstergeler aracılığıyla, kriz sırasında ortaya çıkan zayıf noktalar belirlenebilmekte ve gelecekte benzer aksaklıkların etkisini azaltmaya yönelik önleyici stratejiler geliştirilebilmektedir (Queiroz vd., 2022).

İyileşme sürecinin bir diğer önemli boyutu, organizasyonel öğrenme ve bilgi birikiminin kurumsallaştırılmasıdır. Kriz deneyimlerinden elde edilen derslerin dokümanite edilmesi ve tedarik zinciri süreçlerine entegre edilmesi, zincirin uzun vadeli dayanıklılığını artırmaktadır. Bu bağlamda, kriz sonrası değerlendirme toplantıları, senaryo güncellemeleri ve iş sürekliliği planlarının revize edilmesi, iyileşme sürecinin kalıcı bir faydaya dönüşmesini sağlar. Literatürde, öğrenen

organizasyon yapısına sahip tedarik zincirlerinin, kriz sonrası daha hızlı toparlandığı ve rekabet avantajı elde ettiği vurgulanmaktadır (Hosseini Shekarabi vd., 2025).

Son olarak, iyileşme aşaması tedarik zincirinde sürdürülebilirlik ve dayanıklılık hedeflerinin birlikte ele alınmasını gerektirmektedir. Kriz sonrası yeniden yapılandırma süreci, yalnızca eski duruma dönmeyi değil, aynı zamanda çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan daha sürdürülebilir bir tedarik zinciri oluşturmayı da hedeflemelidir. Sürdürülebilir tedarikçi ilişkileri, alternatif lojistik çözümleri ve dijitalleşme yatırımları, tedarik zincirinin gelecekteki şoklara karşı daha güçlü hale gelmesine katkı sağlar. Bu yaklaşım, iyileşme sürecini geçici bir onarım aşaması olmaktan çıkararak, uzun vadeli bir dönüşüm sürecine dönüştürmektedir (Ivanov, 2021).

2.3.6.4. Esneklik

Tedarik zinciri dayanıklılığının esneklik boyutu, zincirin krizlere ne kadar hızlı adapte olabildiği ve operasyonlarını sürdürebilme kapasitesini ifade eder. Esneklik, tedarik zincirinin tasarımında ve yönetiminde önemli bir rol oynar ve kriz anlarında tedarik zincirinin operasyonlarını kesintisiz sürdürmesini sağlar. Esnek tedarik zincirleri, alternatif tedarikçilerle çalışabilme, farklı lojistik yolları kullanabilme ve operasyonları hızla yeniden yapılandırabilme yeteneğine sahip olurlar (Ivanov ve Dolgui, 2020).

Tedarik zinciri esnekliği, riskleri en aza indirmek için kritik bir bileşendir. Esneklik, tedarik zincirinin tüm bileşenlerinin birbirleriyle uyum içinde çalışabilmesini ve değişen koşullara hızlıca adapte olabilmesini sağlar. Ayrıca, esnek tedarik zincirleri, müşteri taleplerindeki değişikliklere de hızlı yanıt verebilir ve böylece operasyonel verimliliği artırabilir. Tedarik zinciri esnekliği, yalnızca kriz anlarında değil, belirsiz ve değişken piyasa koşullarında da rekabet avantajı sağlayan stratejik bir yetkinliktir. Özellikle küresel tedarik ağlarında talep dalgalanmaları, arz kesintileri ve lojistik gecikmeler gibi faktörler, zincirin hızlı uyum yeteneğini zorunlu kılmaktadır (Hamidu vd., 2024).

Bu bağlamda esneklik; kapasite ayarlama, üretim hacmini artırma veya azaltma, alternatif dağıtım kanallarını devreye alma gibi operasyonel kararların etkin biçimde uygulanabilmesini mümkün kılar. Literatürde, yüksek esneklik seviyesine sahip

tedarik zincirlerinin belirsizlik ortamlarında daha düşük performans kaybı yaşadığı vurgulanmaktadır. Esnekliğin sağlanmasında bilgi teknolojileri ve dijital altyapı önemli bir rol oynamaktadır. Gerçek zamanlı veri paylaşımı, gelişmiş tahmin sistemleri ve tedarik zinciri görünürlüğü, karar alıcıların hızlı ve doğru aksiyonlar almasına olanak tanır. Özellikle büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT) ve blokzincir gibi teknolojiler, tedarik zinciri esnekliğini artırarak zincirin farklı senaryolara uyum kapasitesini güçlendirmektedir (Choi vd., 2018).

Bu teknolojik destek sayesinde işletmeler, potansiyel riskleri önceden tespit edebilmekte ve kriz anlarında daha çevik bir yapı sergileyebilmektedir (Ivanov ve Dolgui, 2020). Esneklik aynı zamanda tedarik zinciri ortakları arasındaki iş birliği düzeyiyle yakından ilişkilidir. Tedarikçiler, üreticiler ve lojistik hizmet sağlayıcıları arasında kurulan güçlü ilişkiler, kaynakların paylaşılmasını ve alternatif çözümlerin hızla devreye alınmasını kolaylaştırmaktadır. Bu iş birliği yaklaşımı, yalnızca kısa vadeli krizlere yanıt vermekle kalmayıp, uzun vadede daha dayanıklı ve sürdürülebilir tedarik zincirlerinin oluşmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle esneklik, tedarik zinciri dayanıklılığının diğer boyutlarıyla birlikte ele alınması gereken bütüncül bir yetkinlik olarak değerlendirilmektedir (Alvarenga vd., 2023).

2.3.6.5. İletişim ve Koordinasyon

İyi bir iletişim ve koordinasyon, tedarik zinciri dayanıklılığını artıran önemli boyutlardır. Kriz anlarında, tüm paydaşlar arasında hızlı ve etkin bir iletişim, sorunun çözülmesini hızlandırır ve koordinasyon eksikliklerini ortadan kaldırır. Tedarik zinciri paydaşları arasındaki güçlü ilişkiler, kriz sırasında hızlı karar alma ve etkili çözüm üretme süreçlerini kolaylaştırır (Katsaliaki vd., 2022).

Tedarik zincirinin esnekliği, ancak güçlü bir iletişim ve koordinasyon ile desteklendiğinde etkili olabilir. İletişim, tedarik zincirinin tüm paydaşları arasında bilgi akışını sağlar ve bu da kriz anında zincirin daha hızlı toparlanmasına olanak tanır. Ayrıca, kriz yönetimi için kurulan iletişim ağları, tedarik zincirindeki tüm aktörlerin ortak bir hedefe yönlendirilmesini sağlar (Song vd., 2022).

Etkili iletişim ve koordinasyon, tedarik zinciri paydaşları arasında güvenin tesis edilmesini ve ortak karar alma mekanizmalarının güçlenmesini sağlar. Özellikle kriz dönemlerinde bilgi asimetrisi, yanlış kararların alınmasına ve aksaklıkların

derinleşmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle, şeffaf ve zamanında bilgi paylaşımı, tedarik zincirinin dayanıklılığını doğrudan etkileyen kritik bir unsurdur. Literatürde, bilgi paylaşım düzeyi yüksek olan tedarik zincirlerinin, beklenmeyen kesintiler karşısında daha hızlı ve etkili çözümler üretebildiği vurgulanmaktadır (Hussain vd., 2023).

İletişim ve koordinasyonun etkinliği, büyük ölçüde kullanılan bilgi sistemleri ve teknolojik altyapı ile ilişkilidir. Entegre bilgi sistemleri, tedarik zinciri boyunca gerçek zamanlı veri akışını mümkün kılarak, paydaşların eş zamanlı ve tutarlı kararlar almasına olanak tanır. Kurumsal kaynak planlama (ERP) sistemleri, tedarik zinciri yönetim yazılımları ve dijital platformlar, koordinasyonu güçlendirerek kriz anlarında operasyonel karmaşıklığı azaltır. Bu teknolojik entegrasyon, tedarik zincirinin yalnızca krizlere yanıt verme kapasitesini değil, aynı zamanda uzun vadeli performansını da olumlu yönde etkiler (Gunasekaran vd., 2017).

İletişim ve koordinasyon, yalnızca teknik altyapı ile sınırlı olmayıp, örgütsel kültür ve liderlik anlayışıyla da yakından ilişkilidir. Tedarik zinciri liderlerinin açık iletişimi teşvik eden ve iş birliğini ön planda tutan bir yönetim yaklaşımı benimsemeleri, zincirin genel dayanıklılığını artırmaktadır. Ortak hedeflerin net bir şekilde tanımlanması ve kriz durumlarında yetki ve sorumlulukların açık olması, koordinasyon süreçlerinin etkinliğini artırır. Bu bağlamda, güçlü iletişim ve koordinasyon yapıları, tedarik zinciri dayanıklılığının sürdürülebilirliğini sağlayan temel unsurlar arasında yer almaktadır (Ivanov ve Dolgui, 2020).

3. HİPOTEZ GELİŞTİRME

3.1. Yapay Zeka ve Tedarik Zinciri Dayanıklılığı İlişkisi

Tedarik zinciri alanı, değişimler ile kesintilerin küresel etkileri ve teknolojinin yoğun kullanımı sebebiyle bir dönüşüm geçirmektedir. Bu şartlar altında tedarik zincirlerinin ortama uyum sağlamaları ve dayanıklı olmaları büyük önem arz etmektedir. Dijital teknolojilerden yapay zeka; tedarik zincirine esneklik, çeviklik, daha iyi karar alma ve arz ile talebi en doğru şekilde tahmin etme olanağı sağlamaktadır (Beta vd., 2025). Başka bir deyişle yapay zeka, hem gerçek zamanlı olarak tüm durumun analiz edilmesini sağlamakta hem de doğru bir çıkış yolu göstermektedir (Le ve Behl, 2023).

Yapay zeka tedarik zincirini etkileyebilecek her türlü riskin olasılığını hesaplayabilir, etkilerine yönelik değerlendirme yapabilir ve böylece tedarik zincirindeki risk yönetimini önemli ölçüde iyileştirebilir (Beta vd., 2025). Nitekim tedarik zinciri için olası tehditleri önceden tespit edebilmek, bu tehditlerin yaratabileceği olumsuz etkileri önemli derecede azaltabilir. Yapay zeka ile bu mümkün olmakla birlikte, olası etkiler ve zayıf halkalar tespit edilerek tehdit ve tehlikelere karşı daha dayanıklı bir duruş sergilenebilir (Singh vd., 2024). Yapay zeka aynı zamanda tedarik zinciri içerisindeki operasyonları değerlendirmek ve daha verimli hale getirmek için de faydalar sağlamaktadır. Bu kapsamda yapay zeka sayesinde ulaşım optimize edilebilir, envanter yönetimi geliştirilebilir ve otonom sistemlerden faydalanılarak teslimat iyileştirilebilir (Singh vd., 2025).

Yapay zeka ile hem tedarik zinciri içindeki veriler, hem de pazar ile ilgili veriler kolayca işlenebilmektedir. Bu durum aksaklıklar karşısında hızlı karar almayı sağlar, doğru kaynak düzenlemesini mümkün kılar ve böylece aksaklıklara hızla yanıt verilebilir (Yue vd., 2025). Dahası, yapay zeka geçmiş verilere dayanarak da talebe yönelik doğru öngörüler sağlayabilir. Tüm bunlar tedarik zincirinde karar vermeyi önemli ölçüde geliştirmeyi mümkün hale getirmektedir (Singh vd., 2025). Böylece her türlü değişim ve aksaklığa karşı sürekli olarak hazırlıklı olmak ve hızlıca tepki vermek mümkün hale gelebilir. Diğer yandan, güçlü işbirlikleri her türlü örgüt ve değer zinciri için olumsuz durumlara karşı dayanıklı olma ve dalgalanmalardan minimum etkiyle kurtulma açısından önemlidir. Dolayısıyla, tedarik zincirinde de güçlü işbirliği dayanıklılığı artırmak açısından önem arz etmektedir. Yapay zeka tedarik zinciri

boyunca tüm aktörler arası bilgi paylaşımına katkı sunarak iş birliğini güçlendirme etkisine sahiptir ve bu durum tedarik zincirinin dayanıklılığını katkı sunmaktadır (Le ve Behl, 2023). Bu doğrultuda aşağıdaki hipotez oluşturulmuştur:

H1. Yapay zeka ile tedarik zinciri dayanıklılığı arasında pozitif bir ilişki vardır.

3.2. Blokzincir Teknolojisi ve Tedarik Zinciri Dayanıklılığı İlişkisi

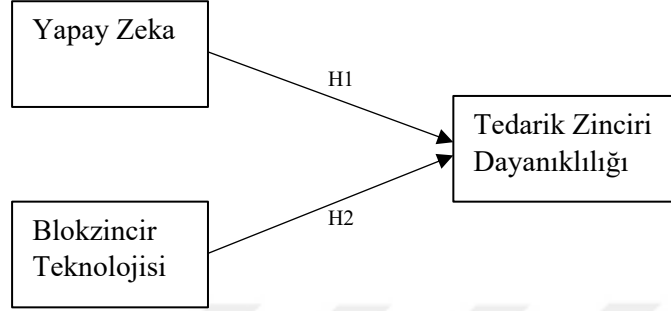
Blokzincirin tedarik zincirine entegre edilmesi değer zinciri boyunca şeffaflık ve izlenebilirliği mümkün hale getirmekte, üretici ve tüketici arasındaki güveni artırmakta, maliyetleri düşürmekte, dolandırıcılık ile sahteciliğin önüne geçilmekte ve zaman tasarrufu sağlamaktadır (Azzi vd., 2019). Bu kapsamda Manzoor ve arkadaşları (2025), blokzincir teknolojisini kullanan ve risklerden ve sorunlardan etkilenen tedarik zinciri aktörlerinin bundan kurtulabildiğini ve toparlanabildiğini ifade etmiş ve kesinti sonrası %36'lık bir kurtarma sağladığını belirtmiştir.

Blokzincir teknolojisi tedarik zincirinin tüm aktörlerini birbirine bağlama olanağı sunmaktadır (Datta vd., 2023). Bunun yanı sıra ağ boyunca şeffaf bir veri kaydı sağladığından her türlü sorunlu alan kolayca tespit edilebilmektedir (Pandey vd., 2024). Bu da tüm aktörlerin bütün bilgilere eş zamanlı ulaşmasını ve darboğazları kolaylıkla tespit etmeyi mümkün kılmaktadır (Datta vd., 2023). Ayrıca blokzincir, eş zamanlı görünürlüğü mümkün kıldığından ekstrem durumlarda hızla aksiyon almayı sağlamaktadır (Nagariya vd., 2024). Böylece kesintilerden etkilenen ağdaki aktör sayısını azaltma etkisi bulunmaktadır (Lohmer vd., 2020).

Blokzincir teknolojisi, tedarik zincirinde envanter düzeylerini kontrol altında tutmayı mümkün kılar. Bu durum, zincir içerisinde stoklama sebepli sorunların ortaya çıkmasını engellemekte ve çevresel etkilerin azalmasını sağlamaktadır (Pandey vd., 2024). Ayrıca blokzincir teknolojisi, ürünlerin ağ boyunca hareketinin izlenmesini sağlamaktadır. Böylece risklerin tespit edilmesi sağlanabilir, tedarik kesintilerinde hızla harekete geçilebilir ve risklere karşı planlamalar yapılabilir (Datta vd., 2023). Yani, blokzincir teknolojisi sadece mevcut risklerin değil görünmez risklerin azaltılmasını da mümkün kılma potansiyeline sahiptir (Nagariya vd., 2024). Bu doğrultuda oluşturulan hipotez şu şekildedir:

H2. Blokzincir teknolojisi ile tedarik zinciri dayanıklılığı arasında pozitif bir ilişki vardır.

Literatür taraması sonucu geliştirilen araştırma modeli Şekil 3.1’de verilmektedir. Modelde yapay zeka ve blokzincir teknolojilerinin tedarik zinciri dayanıklılığı üzerine etkisi araştırılmaktadır.



Şekil 3.1: Araştırma Modeli

4. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ

4.1. Ölçüm ve Örneklem

Araştırma verilerini toplamak üzere anket tekniğinden faydalanılmıştır. Anketteki değişkenleri ölçmek üzere kullanılan ifadeler, geçmiş çalışmalardan uyarlanmıştır. Yapay zeka ölçeği sekiz ifadeden ve blokzincir teknolojisi ölçeği altı ifadeden oluşmaktadır. Bu iki ölçek için Gupta ve arkadaşlarının (2023) çalışmasından yararlanılmıştır. Tedarik zinciri dayanıklılığı ölçeği Al-Swidi ve arkadaşlarının (2024a) çalışmasından uyarlanmıştır ve altı ifadeden oluşmaktadır. Tüm değişkenler 5’li Likert ölçeği (1. kesinlikle katılmıyorum 5. kesinlikle katılıyorum) kullanılarak ölçülmüştür.

Ölçek ifadelerinin Türkçeye uyarlanması sürecinde çeviri–geri çeviri yöntemi uygulanarak kavramsal eşdeğerlik sağlanmış ve alan uzmanlarının görüşleri doğrultusunda gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Ayrıca veri toplama süreci öncesinde pilot çalışma gerçekleştirilmiş, elde edilen bulgular doğrultusunda ifadelerin anlaşılabilirliği ve ölçeklerin güvenilirliği test edilerek nihai ankete son şekli verilmiştir.

Anketin hazırlanmasının ardından, Kocaeli ve İstanbul’da çeşitli sektörlerde faaliyet gösteren 300 firma yöneticisiyle iletişime geçilmiş ve anketler gönderilmiştir. 248 geri dönüş olmuştur ve bunlar incelendiğinde 11 tane ankette çok sayıda cevap verilmeyen soru olduğu görüldüğünden, bu anketler analize dahil edilmemiştir. Sonuç olarak analizler 237 firma yöneticinden elde edilen verilerle gerçekleştirilmiştir.

Analizlere geçilmeden önce örnekleme ilişkin demografik bilgiler incelenmiştir. Katılımcıların %68.4’ü erkektir ve %64.1’i 30-45 yaş aralığındadır. Katılımcıların yönetici oldukları işletmelerin %40.5’i otomotiv, %13.2’si demir çelik, %12.6’sı makine, %5.5’i bilişim sektöründedir. %50,6’sı en az 50 yıldır faaliyettedir ve %64.9’u 250’den fazla çalışan istihdam etmektedir. Demografik özellikler ayrıntılı olarak Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

Tablo 4.1: Demografik Özellikler

	Frekans	Yüzde (%)
Çalışan sayısı		
1-250	83	35,1
251-500	38	16,0
501-1000	78	32,9
1001-2000	15	6,5
>2000	23	9,5
Firma yaşı		
<10	11	4,6
10-24	35	14,8
26-49	71	30,0
>49	120	50,6
Cinsiyet		
Kadın	75	31,6
Erkek	162	68,4
Yaş		
<30	63	26,7
30-39	114	47,9
40-50	56	23,7
>50	4	1,7
Eğitim		
Lise	2	0,8
Önlisans	12	5,1
Lisans	161	67,9
Yüksek Lisans - Doktora	62	26,2

4.2. Ölçüm Geçerliliği ve Güvenilirliği

Hipotez testinden önce, ölçüm geçerliliği ve güvenilirliği test edilmiştir. Öncelikle açıklayıcı faktör analizi (AFA) uygulanmıştır. Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) oranının 0.5'in üzerinde çıkması verilerin faktör analizine uygun olduğunu göstermektedir. KMO değeri 0.926 olarak bulunmuştur. Bu durum veri setinin faktör analizi için uygun olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak, Barlett küresellik testi de anlamlı bulunmuştur ($\chi^2(190)=4123.953$, $p<0.01$). Açıklayıcı faktör analizi sonucunda tüm maddelerin ilgili faktörler altında yüksek faktör yüklerine sahip olduğu ve çapraz yükleme sorununun bulunmadığı görülmüştür. Ayrıca toplam açıklanan varyans oranının kabul edilebilir düzeyin üzerinde olması, ölçeğin yapı geçerliliğinin sağlandığını göstermektedir. AFA sonuçları Tablo 4.2'de verilmektedir.

Tablo 4.2: AFA Sonuçları

Değişken	İfade	1	2	3
1. Yapay Zeka	YapayZeka2	0.848		
	YapayZeka6	0.827		
	YapayZeka3	0.807		
	YapayZeka4	0.794		
	YapayZeka5	0.788		
	YapayZeka7	0.787		
	YapayZeka1	0.755		
	YapayZeka8	0.658		
2. Blokzincir Teknolojisi	Blokzincir2		0.868	
	Blokzincir6		0.862	
	Blokzincir5		0.855	
	Blokzincir4		0.849	
	Blokzincir3		0.825	
	Blokzincir1		0.815	
3. Tedarik Zinciri Dayanıklılığı	TZDayanıklılığı4			0.873
	TZDayanıklılığı5			0.865
	TZDayanıklılığı6			0.820
	TZDayanıklılığı3			0.777
	TZDayanıklılığı1			0.745
	TZDayanıklılığı2			0.709

AFA'nın ardından doğrulayıcı faktör analizi (DFA) yapılmıştır. Elde edilen uyum iyiliği indeksleri iyi bir uyumun varlığını göstermektedir ($\chi^2/df=1.82$, CFI=0.967, TLI=0.962, IFI=0.967, RMSEA=0.059). Hair ve arkadaşları (2010) tarafından önerildiği üzere CFI, TLI ve IFI indekslerinin 0,90'ın üzerinde ve RMSEA değerinin 0,08'in altında olduğu görülmektedir. Ayrıca tüm maddelerin standartlaştırılmış faktör yüklerinin 0,50'nin üzerinde ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Ortalama açıklanan varyans (AVE) ve bileşik güvenilirlik (CR) değerlerinin kabul edilen eşiklerin üzerinde olması, ölçeğin yakınsak ve ayırt edici geçerliliğinin sağlandığını göstermektedir. DFA sonuçları Tablo 4.3'de gösterilmektedir.

Tablo 4.3: DFA Sonuçları

Değişken	İfade	1	2	3
1. Yapay Zeka	YapayZeka8	0.713		
	YapayZeka7	0.852		
	YapayZeka6	0.883		
	YapayZeka5	0.883		
	YapayZeka4	0.897		
	YapayZeka3	0.802		
	YapayZeka2	0.806		
	YapayZeka1	0.698		
2. Blokzincir Teknolojisi	Blokzincir1		0.869	
	Blokzincir2		0.921	
	Blokzincir3		0.853	
	Blokzincir4		0.885	
	Blokzincir5		0.900	
	Blokzincir6		0.899	
3. Tedarik Zinciri Dayanıklılığı	TZDayanıklılığı6			0.782
	TZDayanıklılığı5			0.899
	TZDayanıklılığı4			0.889
	TZDayanıklılığı3			0.723
	TZDayanıklılığı2			0.589
	TZDayanıklılığı1			0.644

DFA'dan sonra korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizi tüm değişkenler arasında anlamlı ilişkiler bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte ortalama açıklanan varyans (AVE) ve birleşik güvenilirlik (CR) değerleri hesaplanmıştır. AVE değerleri 0.5'den ve CR değerleri 0.7'den büyüktür ve bu sonuçlar ölçüm geçerliliğinin olduğunu göstermektedir (Fornell ve Larcker, 1981). Ayrıca, Fornell ve Larcker (1981) tarafından önerildiği üzere AVE değerlerinin karekökü kontrol edilmiştir. AVE değerlerinin karekökünün ilgili korelasyon katsayılarından büyük olduğu görülmüştür.

Güvenilirliği test etmek için Cronbach Alfa değerleri değerlendirilmiştir. Tüm değişkenler için Cronbach Alfa değerlerinin 0.70'den büyük olduğu saptanmıştır ve

böylece ölçüm güvenilirliğinin olduğu da ortaya konmuştur (Nunnally, 1978). Sonuçlar ayrıntılı olarak Tablo 4.4’de sunulmuştur.

Tablo 4.4: Korelasyon Analizi Sonuçları

	CR	AVE	Cronbach Alfa	1	2	3
1. Yapay Zeka	0.942	0.672	0.942	(0.820)		
2. Blokzincir Teknolojisi	0.957	0.789	0.957	0.704*	(0.888)	
3. Tedarik Zinciri Dayanıklılığı	0.891	0.582	0.889	0.280*	0.213*	(0.763)

*p<0.05; Parantez içindeki değerler, AVE değerlerinin kareköküdür

4.3. Hipotez Testleri

Ölçüm geçerliliği ve güvenilirliği testleri yapıldıktan sonra, doğrudan ilişkilere yönelik araştırma hipotezlerini test etmek için yapısal eşitlik modeli (YEM) uygulanmıştır. Uyum iyiliği indeksleri yeterli bir uyumu göstermektedir ($\chi^2/df=1.82$, CFI=0.967, TLI=0.962, IFI=0.967, RMSEA=0.059). Yapısal model sonuçları incelendiğinde, değişkenler arasındaki yol katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı ve beklenen yönde olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, araştırma hipotezlerinin büyük ölçüde desteklendiğini ve modelin açıklayıcılık düzeyinin yeterli olduğunu göstermektedir. Sonuçlar Tablo 4.5’de verilmektedir.

Tablo 4.5: Hipotez Testi Sonuçları

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken	β	t
Yapay zeka	Tedarik zinciri dayanıklılığı	0.258*	2.553
Blokzincir teknolojisi	Tedarik zinciri dayanıklılığı	0.031	0.321

*p<0.05

Hipotez testi sonucunda yapay zeka ile tedarik zinciri dayanıklılığı arasında pozitif bir ilişki olduğu saptanmıştır ($\beta=0.258$, $p<0.05$). Dolayısıyla H1 desteklenmektedir. Ancak, blokzincir ile tedarik zinciri dayanıklılığı arasında anlamlı bir ilişki olmadığı tespit edilmiştir. Bu sebeple H2 desteklenmemektedir. Elde edilen bu sonuçlar, yapay

zekâ uygulamalarının tedarik zinciri süreçlerinde esneklik, görünürlük ve hızlı karar alma kapasitesini artırarak dayanıklılığı güçlendirdiğini göstermektedir. Buna karşılık blokzincir teknolojinin doğrudan etkisinin anlamlı çıkmaması, bu teknolojinin etkisinin dolaylı mekanizmalar üzerinden veya belirli koşullar altında ortaya çıkabileceğine işaret etmektedir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Günümüz dijital çağında dijital teknolojiler işletmeler için bir seçenektan öte bir zorunluluk haline gelmiştir. Dijital teknolojilerden her alanda faydalanmak önemli olmakla birlikte, stratejik öneme sahip olan tedarik zinciri için belirleyici role sahip oldukları açıktır. Nitekim tedarik zinciri küresel, veri odaklı ve iş birliğinin kritik olduğu dinamik bir yapıdır. Bu durum tedarik zincirinin hem iç yapısı içerisindeki durumlara hem de dış çevredeki problemlere karşı oldukça hassas olmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla tedarik zincirinin sahip olduğu bir yetenek olarak tedarik zinciri dayanıklılığı, günümüz modern tedarik zinciri yönetiminin hayati bir kabiliyeti olarak öne çıkmaktadır. Bu kapsamda, araştırmada dijital teknolojilerden yapay zeka ve blokzincirin tedarik zinciri dayanıklılığı ile ilişkisi incelenmiştir.

Araştırma sonucunda yapay zeka ile tedarik zinciri dayanıklılığı arasında pozitif bir ilişki olduğu bulunmuştur. Bu sonuç, Yue ve arkadaşları (2025), Khan ve arkadaşları (2025), Le ve Behl (2024) ile Khan ve arkadaşları (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmaların bulgularıyla benzerdir. Bu bulgu, dayanıklılığa sahip bir tedarik zincirine sahip olmak için yapay zekadan faydalanmanın ve onu süreçlere entegre etmenin önemini ampirik olarak ortaya koymaktadır. Dolayısıyla dış risklerden kaynaklı olası olumsuz durumların önüne geçmek, beklenmeyen durumlara hızlıca tepki vermek ve hızlı bir şekilde eski haline, hatta daha iyi bir pozisyona geçebilmek için tedarik zincirinde, her türlü değişimin hemen fark edilmesini, risklerin hesaplanmasını, zincir boyunca sorunlu alanların tespit edilmesini ve çeşitli senaryoların olası sonuçlarının belirlenmesini mümkün kılan yapay zeka teknolojilerinden maksimum verimde faydalanmak gerekmektedir.

İkinci olarak blokzincir teknolojisi ile tedarik zinciri dayanıklılığının ilişkili olmadığı sonucuna varılmıştır. Literatür incelendiğinde Khan ve arkadaşları (2025) ile Liu ve arkadaşlarının (2024) çalışmalarında blokzincir teknolojisi ile tedarik zinciri dayanıklılığı arasında pozitif ilişki bulunduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte bu çalışmayla benzer şekilde, Al-Swidi ve arkadaşları (2024b) ile Li ve arkadaşları (2025b) ise blokzincir ile tedarik zinciri dayanıklılığı arasında doğrudan bir ilişki olmadığı sonucuna ulaşmıştır. Literatürde olan farklı sonuçlar, bu ilişkide çeşitli faktörlerin etkisinin olma ihtimalini gösteriyor olabilir. Diğer bir deyişle blokzincir teknolojisi, tedarik zinciri dayanıklılığını dolaylı olarak etkiliyor olabilir. Nitekim Al-

Swidi ve arkadaşları (2024b) çalışmasında blokzincir teknolojisinin, tedarik zinciri dayanıklılığını tedarik zinciri entegrasyonun aracı etkisiyle etkilediğini bulmuştur. Li ve arkadaşları (2025b) ise teşvik yapısının geliştirilmesinin, blokzincir teknolojisi ve tedarik zinciri dayanıklılığı ilişkisinde aracı etkisinin olduğu sonucuna varmıştır. Bu durum, araştırma bulgusu olan blokzincir teknolojisi ve tedarik zinciri dayanıklılığı arasında doğrudan bir ilişkinin olmadığı sonucunu desteklemektedir.

Diğer yandan Manzoor ve arkadaşları (2024); her ne kadar tedarik zinciri dayanıklılığı için blokzincir teknolojisinin önemli avantajları olduğunu savunsa da bu etkiye ulaşabilmek için sadece blokzincir teknolojisinin kullanımının yeterli olmayabileceğini ve başarılı bir uygulama için örgütsel ve teknik açılardan hazırlığın önemli birer faktör olduğunu vurgulamıştır. Dolayısıyla elde edilen bu sonucun sebebi, çalışmanın gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye’de yapılmış olması olabilir. Nitekim gelişmekte olan ülkeler genel olarak dijital teknolojilerden tam anlamıyla faydalanabilme ve tam entegre kullanabilme noktasında diğerlerine göre daha geride olabilmektedir. Yani, blokzincir teknolojisine yönelik yeterli hazırlığın bulunmaması ve mevcut uygulamalarla tam anlamıyla entegre edilmemiş olması muhtemeldir. Bu bulgu doğrultusunda ise blokzincirin sunduğu avantajlarla tedarik zincirine önemli katkı sağlama potansiyeli olduğu, ancak sadece onun entegresiyle tedarik zinciri dayanıklılığı açısından doğrudan pozitif bir sonuç alınamayabileceği söylenebilir.

Bu ampirik araştırma, çeşitli katkıların yanı sıra bazı kısıtlara da sahiptir. Bu kısıtlardan ilki çalışma örnekleminin Kocaeli ve İstanbul’da faaliyet gösteren çeşitli sektörlerdeki firmalardan oluşmasıdır. Belirli bir sektöre yoğunlaşıl原因 çalışmalarda farklı sonuçlara ulaşmak mümkündür. Benzer şekilde farklı bölgelerde yapılan araştırmalarda farklı bulgular ortaya konabilir. İkinci bir kısıt ise araştırma verilerinin anket tekniğiyle toplanmış olmasıdır. Boylamsal çalışmalarda nedensel ilişkilere yönelik daha kesin sonuçlara varmak mümkündür. Bu kısıtlar gelecek araştırmalar için bir çıkış noktası olabilir. Diğer yandan bu çalışmada yapay zeka ve blokzincir teknolojilerinin tedarik zinciri dayanıklılığı ile ilişkisi incelenmiştir. Gelecek çalışmalarda tedarik zinciri çevikliği, tedarik zinciri yenilikçiliği ve tedarik zinciri performansı üzerine etkileri ele alınabilir. Ayrıca bu çalışmada blokzincir teknolojisinin tedarik zinciri dayanıklılığı ile doğrudan bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Gelecek çalışmalarda bu ilişkide etkili olabilecek faktörler araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Adrian, D., Diaconu, P., Margareta-Stela, F., & Camelia, D. (2025). The road to autonomy: A systematic review through AI in autonomous vehicles. *Electronics*, 14(21), 4174.
- Agbo, C. C., Mahmoud, Q. H., & Eklund, J. M. (2019). Blockchain technology in healthcare: A systematic review. *Healthcare*, 7(2).
- Agrawal, N., & Jain, R. K. (2022). Insights from systematic literature review of supply chain resilience and disruption. *Benchmarking: An International Journal*, 29(8), 2495-2526.
- Ahmad, L., & Nabi, F. (2021). *Agriculture 5.0: Artificial intelligence, IoT and machine learning*. CRC Press.
- Ahmad, T., Zhang, D., Huang, C., Zhang, H., Dai, N., Song, Y., & Chen, H. (2021). Artificial intelligence in sustainable energy industry: Status Quo, challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125834.
- Ahmad, U., & Qureshi, K. N. (2024). The advantages of artificial intelligence in research. In *Next Generation AI Language Models in Research* (pp. 25-44). CRC Press.
- Ahmed, S., Alshater, M. M., El Ammari, A., & Hammami, H. (2022). Artificial intelligence and machine learning in finance: A bibliometric review. *Research in International Business and Finance*, 61, 101646.
- Aldoubae, A., Hassan, N. H., & Rahim, F. A. (2023). A systematic review on blockchain scalability. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(9), 774-784.
- Alenizi, F. A., Abbasi, S., Mohammed, A. H., & Rahmani, A. M. (2023). The artificial intelligence technologies in Industry 4.0: A taxonomy, approaches, and future directions. *Computers & Industrial Engineering*, 185, 109662.
- Alhijawi, B., & Awajan, A. (2024). Genetic algorithms: Theory, genetic operators, solutions, and applications. *Evolutionary Intelligence*, 17(3), 1245-1256.
- Al Jawaheri, H., Al Sabah, M., Boshmaf, Y., & Erbad, A. (2020). Deanononymizing Tor hidden service users through Bitcoin transactions analysis. *Computers & Security*, 89, 101684.
- Al-Swidi, A. K., Al-Hakimi, M. A., Al-Hosam, A., & Al Koliby, I. S. (2024a). When does entrepreneurial leadership enhance supply chain resilience? A three-way interaction analysis. *Journal of Enterprise Information Management*, 37(6), 1788-1808.

Al-Swidi, A. K., Al-Hakimi, M. A., Al Halbusi, H., Al Harbi, J. A., & Al-Hattami, H. M. (2024b). Does blockchain technology matter for supply chain resilience in dynamic environments? The role of supply chain integration. *Plos One*, 19(1), e0295452.

Alvarenga, M. Z., Oliveira, M. P. V. D., & Oliveira, T. A. G. F. D. (2023). The impact of using digital technologies on supply chain resilience and robustness: The role of memory under the covid-19 outbreak. *Supply Chain Management: An International Journal*, 28(5), 825-842.

Amoako, G., Omari, P., Kumi, D. K., Agbemabiase, G. C., & Asamoah, G. (2021). Conceptual framework—artificial intelligence and better entrepreneurial decision-making: The influence of customer preference, industry benchmark, and employee involvement in an emerging market. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(12), 604.

Andola, N., Yadav, V. K., Venkatesan, S., & Verma, S. (2021). Anonymity on blockchain based e-cash protocols—A survey. *Computer Science Review*, 40, 100394.

Arshad, A., Shahzad, F., Rehman, I. U., & Sergi, B. S. (2023). A systematic literature review of blockchain technology and environmental sustainability: Status quo and future research. *International Review of Economics & Finance*, 88, 1602-1622.

Asrol, M., Yani, M., Papilo, P., & Mursida, S. (2023). Design of intelligent decision support system for supply chain sustainability assessment. *Procedia Computer Science*, 227, 659-669.

Augustin, N., Eckhardt, A., & de Jong, A. W. (2023). Understanding decentralized autonomous organizations from the inside. *Electronic Markets*, 33(1), 38.

Ayinaddis, S. G. (2025). Artificial intelligence adoption dynamics and knowledge in SMEs and large firms: A systematic review and bibliometric analysis. *Journal of Innovation & Knowledge*, 10(3), 100682.

Azzi, R., Chamoun, R. K., & Sokhn, M. (2019). The power of a blockchain-based supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 582-592.

Bahoo, S., Cucculelli, M., Goga, X., & Mondolo, J. (2024). Artificial intelligence in Finance: A comprehensive review through bibliometric and content analysis. *SN Business & Economics*, 4(2), 23.

Bajwa, J., Munir, U., Nori, A., & Williams, B. (2021). Artificial intelligence in healthcare: Transforming the practice of medicine. *Future Healthcare Journal*, 8(2), e188-e194.

Bakare, F. A., Omojola, J., & Iwuh, A. C. (2024). Blockchain and decentralized finance (DEFI): Disrupting traditional banking and financial systems. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 23(3), 3075-3089.

Banerjee, S. (2021). Autonomous vehicles: A review of the ethical, social and economic implications of the AI revolution. *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*, 9(4), 302-312.

- Bannerjee, G., Sarkar, U., Das, S., & Ghosh, I. (2018). Artificial intelligence in agriculture: A literature survey. *International Journal of Scientific Research in Computer Science applications and Management Studies*, 7(3), 1-6.
- Bastian, N. D. (2021). Artificial intelligence for defense applications. *The Journal of Defense Modeling and Simulation*, 18(3), 173-174.
- Beta, K., Nagaraj, S. S., & Weerasinghe, T. D. (2025). The role of artificial intelligence on supply chain resilience. *Journal of Enterprise Information Management*, 38(3), 950-973.
- Bezuidenhout, R., Nel, W., & Maritz, J. M. (2022). Defining decentralisation in permissionless blockchain systems. *The African Journal of Information and Communication*, 2022(29), 1-24.
- Bhbosale, S., Pujari, V., & Multani, Z. (2020). Advantages and disadvantages of artificial intelligence. *Aayushi International Interdisciplinary Research Journal*, 77(1), 227-230.
- Bishop, C. M., & Bishop, H. (2023). *Deep learning: Foundations and concepts*. Springer Nature.
- Bohr, A., & Memarzadeh, K. (Eds.). (2020). *Artificial intelligence in healthcare*. Academic Press.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2016). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies* (Reprint Edition). WW Norton & Company.
- Casado-Vara, R., Prieto, J., De la Prieta, F., & Corchado, J. M. (2018). How blockchain improves the supply chain: Case study alimentary supply chain. *Procedia Computer Science*, 134, 393-398.
- 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.
- Chacón-Gómez, F., Cornejo, M. E., Medina, J., & Ramírez-Poussa, E. (2024). Rough set decision algorithms for modeling with uncertainty. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 437, 115413.
- Chakraborty, K., Ghosh, A., & Pratap, S. (2023). Adoption of blockchain technology in supply chain operations: A comprehensive literature study analysis. *Operations Management Research*, 16(4), 1989-2007.
- Chen, M., Bai, Y., Lee, J. D., Zhao, T., Wang, H., Xiong, C., & Socher, R. (2020). Towards understanding hierarchical learning: Benefits of neural representations. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 22134-22145.
- Chen, W., Xu, H., Jia, L., & Gao, Y. (2021). Machine learning model for Bitcoin exchange rate prediction using economic and technology determinants. *International Journal of Forecasting*, 37(1), 28-43.

- Chen, X., He, S., Sun, L., Zheng, Y., & Wu, C. Q. (2024). A survey of consortium blockchain and its applications. *Cryptography*, 8(2), 12.
- Chintalapati, S., & Pandey, S. K. (2022). Artificial intelligence in marketing: A systematic literature review. *International Journal of Market Research*, 64(1), 38-68.
- Choi, T. M., Wallace, S. W., & Wang, Y. (2018). Big data analytics in operations management. *Production and Operations Management*, 27(10), 1868-1883.
- Chouhan, S. S., Saxena, A., Singh, U. P., & Jain, S. (Eds.). (2024). *Artificial intelligence techniques in smart agriculture*. Springer.
- Chowdhury, M. M. H., & Quaddus, M. (2017). Supply chain resilience: Conceptualization and scale development using dynamic capability theory. *International Journal of Production Economics*, 188, 185-204.
- Cozzio, C., Viglia, G., Lemarie, L., & Cerutti, S. (2023). Toward an integration of blockchain technology in the food supply chain. *Journal of Business Research*, 162, 113909.
- Culot, G., Podrecca, M., & Nassimbeni, G. (2024). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review of empirical studies and research directions. *Computers in Industry*, 162, 104132.
- Daios, A., Kladovasilakis, N., Kelemis, A., & Kostavelis, I. (2025). AI applications in supply chain management: A survey. *Applied Sciences*, 15(5), 2775.
- Datta, S., Jauhar, S. K., & Paul, S. K. (2023). Leveraging blockchain to improve nutraceutical supply chain resilience under post-pandemic disruptions. *Computers & Industrial Engineering*, 183, 109475.
- de Haro-Olmo, F. J., Varela-Vaca, Á. J., & Álvarez-Bermejo, J. A. (2020). Blockchain from the perspective of privacy and anonymisation: A systematic literature review. *Sensors*, 20(24), 7171.
- Deng, W., Huang, T., & Wang, H. (2022). A review of the key technology in a blockchain building decentralized trust platform. *Mathematics*, 11(1), 101.
- Dina, N. Z., Ravana, S. D., & Idris, N. (2025). Legal judgment prediction using natural language processing and machine learning methods: A systematic literature review. *SAGE Open*, 15(2), 21582440251329663.
- Dong, S., Abbas, K., Li, M., & Kamruzzaman, J. (2023). Blockchain technology and application: An overview. *PeerJ Computer Science*, 9, e1705.
- Duan, K., Pang, G., & Lin, Y. (2023). Exploring the current status and future opportunities of blockchain technology adoption and application in supply chain management. *Journal of Digital Economy*, 2, 244-288.
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Papadopoulos, T., Fosso Wamba, S., & Roubaud, D. (2019). Antecedents of resilient supply chains: An empirical study. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 66(1), 8–19.

Eido, W. M., & Ibrahim, I. M. (2025). Ant colony optimization (ACO) for traveling salesman problem: A review. *Asian Journal of Research in Computer Science*, 18(2), 20-45.

Fahim, Y. A., Hasani, I. W., Kabba, S., & Ragab, W. M. (2025). Artificial intelligence in healthcare and medicine: Clinical applications, therapeutic advances, and future perspectives. *European Journal of Medical Research*, 30(1), 848.

Fang, H., Fang, F., Hu, Q., & Wan, Y. (2022). Supply chain management: A review and bibliometric analysis. *Processes*, 10(9), 1681.

Farhood, H., Nyden, M., Beheshti, A., & Muller, S. (2025). Artificial intelligence-based personalised learning in education: A systematic literature review. *Discover Artificial Intelligence*, 5(1), 331.

Fletcher, E., Larkin, C., & Corbet, S. (2021). Countering money laundering and terrorist financing: A case for bitcoin regulation. *Research in International Business and Finance*, 56, 101387.

Fornell, & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39–51.

Fradkov, A. L. (2020). Early history of machine learning. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 1385-1390.

Friedman, N., & Ormiston, J. (2022). Blockchain as a sustainability-oriented innovation?: Opportunities for and resistance to Blockchain technology as a driver of sustainability in global food supply chains. *Technological Forecasting and Social Change*, 175, 121403.

Garzón, J., Patiño, E., & Marulanda, C. (2025). Systematic review of artificial intelligence in education: Trends, benefits, and challenges. *Multimodal Technologies and Interaction*, 9(8), 84.

Gaudenzi, B., Pellegrino, R., & Confente, I. (2023). Achieving supply chain resilience in an era of disruptions: A configuration approach of capacities and strategies. *Supply Chain Management: An International Journal*, 28(7), 97-111.

Gholami, M., Ghaffari, A., Derakhshanfard, N., Ibrahimoglu, N., & Ali, A. (2025). Blockchain integration in IoT: Applications, opportunities, and challenges. *Computers, Materials, & Continua*, 83(2), 1561.

Giancaspro, M. (2017). Is a ‘smart contract’ really a smart idea? Insights from a legal perspective. *Computer Law & Security Review*, 33(6), 825-835.

Gonzalez, C. (2024). Building human-like artificial agents: A general cognitive algorithm for emulating human decision-making in dynamic environments. *Perspectives on Psychological Science*, 19(5), 860-873.

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.

- Gunasekaran, A., Subramanian, N., & Papadopoulos, T. (2017). Information technology for competitive advantage within logistics and supply chains: A review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 99, 14–33.
- Guo, Y., Liu, F., Song, J. S., & Wang, S. (2025). Supply chain resilience: A review from the inventory management perspective. *Fundamental Research*, 5(2), 450-463.
- Gupta, S., Modgil, S., Choi, T. M., Kumar, A., & Antony, J. (2023). Influences of artificial intelligence and blockchain technology on financial resilience of supply chains. *International Journal of Production Economics*, 261, 108868.
- Gupta, R., Meena, A., & Dhir, S. (2024). Blockchain in the age of industrial revolution: A systematic literature review using bibliometric analysis. *Global Business and Organizational Excellence*, 43(5), 5-23.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E. & Tatham, R. L. (2010). *Multivariate data analysis*. Prentice Hall.
- Haleem, A., Javaid, M., Singh, R. P., Suman, R., & Rab, S. (2021). Blockchain technology applications in healthcare: An overview. *International Journal of Intelligent Networks*, 2, 130-139.
- Hamad, B. (2025). The impact of digital technology on international humanitarian law: Ethical and legal implications of autonomous weapons systems. *European Journal of Law and Political Science*, 4(4), 1-14.
- Hamidu, Z., Issau, K., Boachie-Mensah, F. O., & Asafo-Adjei, E. (2024). On the interplay of supply chain network complexity on the nexus between supply chain resilience and performance. *Benchmarking: An International Journal*, 31(5), 1590-1610.
- He, M., Li, Z., Liu, C., Shi, D., & Tan, Z. (2020). Deployment of artificial intelligence in real-world practice: Opportunity and challenge. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, 9(4), 299-307.
- Helo, P., & Hao, Y. (2022). Artificial intelligence in operations management and supply chain management: An exploratory case study. *Production Planning & Control*, 33(16), 1573-1590.
- Hermansyah, M., Najib, A., Farida, A., Sacipto, R., & Rintyarna, B. S. (2023). Artificial intelligence and ethics: Building an artificial intelligence system that ensures privacy and social justice. *International Journal of Science and Society*, 5(1), 154-168.
- Hilpisch, Y. (2020). *Artificial intelligence in finance*. O'Reilly Media.
- Hohenstein, N. O. (2022). Supply chain risk management in the COVID-19 pandemic: Strategies and empirical lessons for improving global logistics service providers' performance. *The International Journal of Logistics Management*, 33(4), 1336-1365.
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.

- Hosseini Shekarabi, S. A., Kiani Mavi, R., & Romero Macau, F. (2025). Supply chain resilience: A critical review of risk mitigation, robust optimisation, and technological solutions and future research directions. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 26(3), 681-735.
- Huang, M. H., & Rust, R. T. (2021). A strategic framework for artificial intelligence in marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 49(1), 30-50.
- Huang, C.-K., & Lin, J.-S. (2025). Firm performance on artificial intelligence implementation. *Managerial and Decision Economics*, 46(3), 1856-1870.
- Hussain, G., Nazir, M. S., Rashid, M. A., & Sattar, M. A. (2023). From supply chain resilience to supply chain disruption orientation: The moderating role of supply chain complexity. *Journal of Enterprise Information Management*, 36(1), 70-90.
- Iansiti, M., & Lakhani, K. R. (2017). The truth about blockchain. *Harvard Business Review*, 95(1), 118-127.
- Iansiti, M., & Lakhani, K. R. (2020). *Competing in the age of AI: Strategy and leadership when algorithms and networks run the world*. Harvard Business Review Press.
- Ibikunle, G., Mollica, V., & Sun, Q. (2025). Why so many coins? Examining the demand for privacy-preserving cryptocurrencies. *The British Accounting Review*, 101637.
- Ismail, W. S. (2024). Threat detection and response using AI and NLP in cybersecurity. *Journal of Internet Services and Information Security (JISIS)*, 14(1), 195-205.
- 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.
- Ivanov, D. (2022). Viable supply chain model: integrating agility, resilience and sustainability perspectives—lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. *Annals of Operations Research*, 319(1), 1411-1431.
- Ivanov, D. (2024). Two views of supply chain resilience. *International Journal of Production Research*, 62(11), 4031-4045.
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). Viability of intertwined supply networks: extending the supply chain resilience angles towards survivability. A position paper motivated by COVID-19 outbreak. *International Journal of Production Research*, 58(10), 2904-2915.
- Ivanov, D., Blackhurst, J., & Das, A. (2021). Supply chain resilience and its interplay with digital technologies: Making innovations work in emergency situations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 51(2), 97-103.

- Jabbar, S., Lloyd, H., Hammoudeh, M., Adebisi, B., & Raza, U. (2021). Blockchain-enabled supply chain: Analysis, challenges, and future directions. *Multimedia Systems*, 27, 787-806.
- Jamwal, S., Cano, J., Lee, G. M., Tran, N. H., & Truong, N. (2024). A survey on Ethereum pseudonymity: Techniques, challenges, and future directions. *Journal of Network and Computer Applications*, 232, 104019.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Khan, S., & Suman, R. (2021). Blockchain technology applications for Industry 4.0: A literature-based review. *Blockchain: Research and Applications*, 2(4), 100027.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Artificial intelligence applications for industry 4.0: A literature-based study. *Journal of Industrial Integration and Management*, 7(01), 83-111.
- Javaid, M., Haleem, A., Khan, I. H., & Suman, R. (2023). Understanding the potential applications of Artificial Intelligence in Agriculture Sector. *Advanced Agrochem*, 2(1), 15-30.
- Jiang, T. H., & Chang, Y. C. (2025). Cultural integration for sustainable supply chain management in emerging markets: Framework development and empirical validation using public data. *Sustainability*, 17(18), 8363.
- Jiang, Y., Li, X., Luo, H., Yin, S. & Kaynak, O. (2022). Quo vadis artificial intelligence? *Discover Artificial Intelligence*, 2(1), 4.
- Jimma, B. L. (2023). Artificial intelligence in healthcare: A bibliometric analysis. *Telematics and Informatics Reports*, 9, 100041.
- Jin, H., & Xiao, J. (2022). Towards trustworthy blockchain systems in the era of “Internet of value”: Development, challenges, and future trends. *Science China Information Sciences*, 65(5), 153101.
- Joshi, S., & Luong, H. T. (2022). Review on supply chain resilience: Phenomena, modelling techniques and framework of resilience building strategies with future research directions. *International Journal of Supply Chain and Operations Resilience*, 5(2), 150-184.
- Julie, E. G., Nayahi, J. J. V., & Jhanjhi, N. Z. (Eds.). (2020). *Blockchain technology: Fundamentals, applications, and case studies*. CRC Press.
- Kamran, S. S., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Prakash, C., & Budhhi, D. (2022). Artificial intelligence and advanced materials in automotive industry: Potential applications and perspectives. *Materials Today: Proceedings*, 62, 4207-4214.
- Kaplan, A. & Haenlein, M. (2019). Siri, Siri, in my hand: Who’s the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Business Horizons*, 62(1), 15-25.
- Katoch, S., Chauhan, S. S., & Kumar, V. (2021). A review on genetic algorithm: Past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications*, 80(5), 8091-8126.

- Katsaliaki, K., Galetsi, P., & Kumar, S. (2022). Supply chain disruptions and resilience: A major review and future research agenda. *Annals of Operations Research*, 319(1), 965-1002.
- Kejriwal, M. (2023). *Artificial intelligence for industries of the future*. Springer International Publishing AG.
- Khan, D., Jung, L. T., & Hashmani, M. A. (2021). Systematic literature review of challenges in blockchain scalability. *Applied Sciences*, 11(20), 9372.
- Khan, S., Zehra, F. T., & Khan, S. (2024). Optimizing organizational agility: The symbiotic impact of AI-enhanced supply chain collaboration and risk management on performance and flexibility. *Engineering Proceedings*, 76(1), 68.
- Khan, S. A. R., Sheikh, A. A., Shamsi, I. R. A., & Yu, Z. (2025). The implications of artificial intelligence for small and medium-sized enterprises' sustainable development in the areas of blockchain technology, supply chain resilience, and closed-loop supply chains. *Sustainability*, 17(1), 334.
- Khanzode, K. C. A., & Sarode, R. D. (2020). Advantages and disadvantages of artificial intelligence and machine learning: A literature review. *International Journal of Library & Information Science (IJLIS)*, 9(1), 3.
- Kirillova, E. A., Bogdan, V. V., Filippov, P. M., Tkachev, V. N., & Zulfugarzade, T. E. (2020). The main features of blockchain technologies classification. *Compusoft*, 9(10), 3900-3905.
- Köhler, S., & Pizzol, M. (2020). Technology assessment of blockchain-based technologies in the food supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122193.
- Kumar, A., Singh, R. K., & Singh, D. (2024). Supply chain resilience in developing countries: A bibliometric analysis and future research directions. *Benchmarking: An International Journal*, 31(7), 2217-2238.
- Lai, J., Gan, W., Wu, J., Qi, Z., & Yu, P. S. (2024). Large language models in law: A survey. *AI Open*, 5, 181-196.
- Lam, W. H., Lam, W. S., & Lee, P. F. (2024). A bibliometric analysis of a genetic algorithm for supply chain agility. *Mathematics*, 12(8), 1199.
- Le, T. D. C., Nguyen, D. D., Oláh, J., & Pakurár, M. (2022). Clustering algorithm for a vehicle routing problem with time windows. *Transport*, 37(1), 17-27.
- Le, T. T., & Behl, A. (2023). Linking artificial intelligence and supply chain resilience: Roles of dynamic capabilities mediator and open innovation moderator. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 8577-8590.
- Leung, Y., Wu, W. Z., & Zhang, W. X. (2006). Knowledge acquisition in incomplete information systems: A rough set approach. *European Journal of Operational Research*, 168(1), 164-180.

- Li, G., Yamaguchi, D., & Nagai, M. (2007). A rough set approach to supplier selection. *International Journal of Production Economics*, 106(2), 336–347.
- Li, Z., Chen, L., & Dong, H. (2021). What are bitcoin market reactions to its-related events? *International Review of Economics & Finance*, 73, 1-10.
- Li, P., Chen, Y., & Guo, X. (2025a). Digital transformation and supply chain resilience. *International Review of Economics & Finance*, 99, 104033.
- Li, X., Zhao, H., Mehrotra, A., Gugnani, R., & Agarwal, V. (2025b). Harmonizing fintech and supply chain resilience: Unveiling the role of blockchain integration, incentives, and resilience. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 72, 2661-2672.
- Liu, Y., Fang, W., Feng, T., & Xi, M. (2024). Blockchain technology adoption and supply chain resilience: Exploring the role of transformational supply chain leadership. *Supply Chain Management: An International Journal*, 29(2), 371-387.
- Lohmer, J., Bugert, N., & Lasch, R. (2020). Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: An agent-based simulation study. *International Journal of Production Economics*, 228, 107882.
- Lyu, W., & Liu, J. (2021). Artificial Intelligence and emerging digital technologies in the energy sector. *Applied Energy*, 303, 117615.
- Ma, C., Zhang, L., You, L., & Tian, W. (2024). A review of supply chain resilience: A network modeling perspective. *Applied Sciences*, 15(1), 265.
- Macmillan-Scott, O., & Musolesi, M. (2025). (Ir) rationality in AI: State of the art, research challenges and open questions. *Artificial Intelligence Review*, 58(11), 352.
- Madanchian, M., & Taherdoost, H. (2025). A narrative review and gap analysis of blockchain for transparency, traceability, and trust in data-driven supply chains. *Applied Sciences*, 15(17), 9571.
- Mahmood, Z., Asif, M., Aljuaid, M., & Lodhi, R. N. (2023). Beneath the surface: A bibliometric analysis of the hidden risks and costs of blockchain technology. *International Journal of Web Information Systems*, 19(5/6), 280-303.
- Manzoor, R., Sahay, B. S., & Singh, S. K. (2024). Examining the factors that facilitate or hinder the use of blockchain technology to enhance the resilience of supply chains. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 10626-10649.
- Manzoor, R., Sahay, B. S., Gumte, K., & Singh, S. K. (2025). Blockchain-backed resilient strategies in a stochastic supply chain sourcing and distribution environment under disruption: Implications for B2B sector. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 40(1), 223-249.
- Mao, R., Liu, Q., Li, X., Cambria, E., & Hussain, A. (2025). Bridging minds and machines: Toward an integration of AI and cognitive science. *arXiv preprint arXiv:2508.20674*.

- Marcineková, K., Sujová, A. J., & Ďurica, R. (2025). Implementing AI chatbots in customer service optimization—A case study in micro-enterprise. *Information*, 16(12), 1078.
- Mariani, M. M., Machado, I., Magrelli, V., & Dwivedi, Y. K. (2023). Artificial intelligence in innovation research: A systematic review, conceptual framework, and future research directions. *Technovation*, 122, 102623.
- Mikalef, P., & Gupta, M. (2021). Artificial intelligence capability: Conceptualization, measurement calibration, and empirical study on its impact on organizational creativity and firm performance. *Information & Management*, 58(3), 103434.
- Min, H. (2019). Blockchain technology for enhancing supply chain resilience. *Business Horizons*, 62(1), 35-45.
- Mitchell, T. M. (1997). *Machine learning*. McGraw-Hill.
- Mohamed, N. (2025). Artificial intelligence and machine learning in cybersecurity: A deep dive into state-of-the-art techniques and future paradigms. *Knowledge and Information Systems*, 1-87.
- Monferdini, L., Casella, G., & Bottani, E. (2025). Development of a fuzzy logic-based tool for evaluating kpis in a lean, agile, resilient, and green (larg) supply chain. *Applied Sciences*, 15(14), 8010.
- Montesinos López, O. A., Montesinos López, A., & Crossa, J. (2022). Fundamentals of artificial neural networks and deep learning. In *Multivariate statistical machine learning methods for genomic prediction* (pp. 379-425). Cham: Springer International Publishing.
- Moosavi, J., Naeni, L. M., Fathollahi-Fard, A. M., & Fiore, U. (2021). Blockchain in supply chain management: A review, bibliometric, and network analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15.
- Nagariya, R., Mukherjee, S., Baral, M. M., & Chittipaka, V. (2024). Analyzing blockchain-based supply chain resilience strategies: Resource-based perspective. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 73(4), 1088-1116.
- Narayanan, G., Cvitić, I., Peraković, D., & Raja, S. P. (2024). Role of blockchain technology in supplychain management. *IEEE Access*, 12, 19021-19034.
- Ngo, V. M., Quang, H. T., Hoang, T. G., & Binh, A. D. T. (2024). Sustainability-related supply chain risks and supply chain performances: The moderating effects of dynamic supply chain management practices. *Business Strategy and the Environment*, 33(2), 839-857.
- Nozawa, K., & Sato, I. (2022). Empirical evaluation and theoretical analysis for representation learning: A survey. *arXiv preprint arXiv:2204.08226*.
- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric theory*. New York: McGraw-Hill.

- Ortega-Bolaños, R., Bernal-Salcedo, J., Germán Ortiz, M., Galeano Sarmiento, J., Ruz, G. A., & Tabares-Soto, R. (2024). Applying the ethics of AI: A systematic review of tools for developing and assessing AI-based systems. *Artificial Intelligence Review*, 57(5), 110.
- Ouifak, H., & Idri, A. (2025). A comprehensive review of fuzzy logic based interpretability and explainability of machine learning techniques across domains. *Neurocomputing*, 130602.
- Pal, O. K., Shovon, M. S. H., Mridha, M. F., & Shin, J. (2023). A comprehensive review of AI-enabled unmanned aerial vehicle: Trends, vision, and challenges. *arXiv preprint arXiv:2310.16360*.
- Pandey, A. K., Daultani, Y., & Pratap, S. (2024). Blockchain technology enabled critical success factors for supply chain resilience and sustainability. *Business Strategy and the Environment*, 33(2), 1533-1554.
- Park, C. (2025). Addressing challenges for the effective adoption of Artificial Intelligence in the energy sector. *Sustainability*, 17(13), 5764.
- Pattanayak, S., Arputham, R. M., Goswami, M., & Rana, N. P. (2023). Blockchain technology and its relationship with supply chain resilience: A dynamic capability perspective. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 10398-10412.
- Paul, P., Aithal, P. S., Saavedra, R., & Ghosh, S. (2021). Blockchain technology and its types—a short review. *International Journal of Applied Science and Engineering (IJASE)*, 9(2), 189-200.
- Paul, A., & Saha, S. C. (2025). A systematic literature review on flexible strategies and performance indicators for supply chain resilience. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 26(Suppl 1), 207-231.
- Pham, S. T., & Sampson, P. M. (2022). The development of artificial intelligence in education: A review in context. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(5), 1408-1421.
- Politou, E., Casino, F., Alepis, E., & Patsakis, C. (2019). Blockchain mutability: Challenges and proposed solutions. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 9(4), 1972-1986.
- Pournader, M., Ghaderi, H., Hassanzadegan, A., & Fahimnia, B. (2021). Artificial intelligence applications in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 241, 108250.
- Punia, A., Gulia, P., Gill, N. S., Ibeke, E., Iwendi, C., & Shukla, P. K. (2024). A systematic review on blockchain-based access control systems in cloud environment. *Journal of Cloud Computing*, 13(1), 146.
- Qian, Y., Siau, K. L., & Nah, F. F. (2024). Societal impacts of artificial intelligence: Ethical, legal, and governance issues. *Societal Impacts*, 3, 100040.

- Queiroz, M. M., Telles, R., & Bonilla, S. H. (2020). Blockchain and supply chain management integration: A systematic review of the literature. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(2), 241-254.
- Queiroz, M. M., Fosso Wamba, S., & Branski, R. M. (2022). Supply chain resilience during the COVID-19: Empirical evidence from an emerging economy. *Benchmarking: An International Journal*, 29(6), 1999-2018.
- Rafanelli, L. M. (2022). Justice, injustice, and artificial intelligence: Lessons from political theory and philosophy. *Big Data & Society*, 9(1), 20539517221080676.
- Rahman, T., Paul, S. K., Shukla, N., Agarwal, R., & Taghikhah, F. (2022). Supply chain resilience initiatives and strategies: A systematic review. *Computers & Industrial Engineering*, 170, 108317.
- Rajendran, S., Sabharwal, M., Hu, Y. C., Dhanaraj, R. K., & Balusamy, B. (Eds.). (2024). *Artificial intelligence for autonomous vehicles: The future of driverless technology*. John Wiley & Sons.
- Rane, N. L., Paramesha, M., Choudhary, S. P., & Rane, J. (2024). Machine learning and deep learning for big data analytics: A review of methods and applications. *Partners Universal International Innovation Journal*, 2(3), 172-197.
- Rao, I. S., Kiah, M. M., Hameed, M. M., & Memon, Z. A. (2024). Scalability of blockchain: A comprehensive review and future research direction. *Cluster Computing*, 27(5), 5547-5570.
- Rejeb, A., Rejeb, K., & Keogh, J. G. (2021). Centralized vs. decentralized ledgers in the money supply process: A SWOT analysis. *Quantitative Finance and Economics*, 5(1), 40-66.
- Ren, K., Ho, N. M., Loghin, D., Nguyen, T. T., Ooi, B. C., Ta, Q. T., & Zhu, F. (2023). Interoperability in blockchain: A survey. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 35(12), 12750-12769.
- Riani, R. (2023). Artificial intelligence (AI) in the financial sector. *Digital Economics Review*, 1(1).
- Richey Jr, R. G., Chowdhury, S., Davis-Sramek, B., Giannakis, M., & Dwivedi, Y. K. (2023). Artificial intelligence in logistics and supply chain management: A primer and roadmap for research. *Journal of Business Logistics*, 44(4), 532-549.
- Rijal, S., & Saranani, F. (2023). The role of blockchain technology in increasing economic transparency and public trust. *Technology and Society Perspectives (TACIT)*, 1(2), 56-67.
- Russell, S., & Norvig, P. (2020). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
- Saatchi, R. (2024). Fuzzy logic concepts, developments and implementation. *Information*, 15(10).

- Sabzaliyev, A. (2024). Knowledge representation in expert systems: Structure, classification, and applications. *Luminis Applied Science and Engineering*, 1(2), 1-15.
- Sánchez-Flores, R. B., Cruz-Sotelo, S. E., Ojeda-Benitez, S., & Ramírez-Barreto, M. E. (2020). Sustainable supply chain management—A literature review on emerging economies. *Sustainability*, 12(17), 6972.
- Santalo, J., & Filatotchev, I. (2025). Strategic governance of blockchain platforms: From centralized to open source control systems. *Long Range Planning*, 102539.
- Santana, C., & Albareda, L. (2022). Blockchain and the emergence of Decentralized Autonomous Organizations (DAOs): An integrative model and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 182, 121806.
- Sarker, I. H. (2021). Machine learning: Algorithms, real-world applications and research directions. *SN Computer Science*, 2(3), 160.
- Saurabh, K., Rani, N., & Upadhyay, P. (2024). Towards novel blockchain decentralised autonomous organisation (DAO) led corporate governance framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 204, 123417.
- Shahid, A., Qureshi, G. M., & Chaudhary, F. (2023). Transforming legal practice: The role of AI in modern law. *Journal of Strategic Policy and Global Affairs*, 4(01), 36-42.
- Shahverdi, N., Saffari, A., & Amiri, B. (2025). A systematic review of artificial intelligence and machine learning in energy sustainability: Research topics and trends. *Energy Reports*, 13, 5551-5578.
- Sharma, R., Shishodia, A., Gunasekaran, A., Min, H., & Munim, Z. H. (2022). The role of artificial intelligence in supply chain management: Mapping the territory. *International Journal of Production Research*, 60(24), 7527-7550.
- Sharma, S., Verma, K., & Hardaha, P. (2023). Implementation of artificial intelligence in agriculture. *Journal of Computational and Cognitive Engineering*, 2(2), 155-162.
- Shen, Z., Qu, Q., & Chen, X. B. (2025). Blockchain consensus mechanisms: A comprehensive review and performance analysis framework. *Electronics*, 14(17), 3567.
- Shin, N., & Park, S. (2021). Supply chain leadership driven strategic resilience capabilities management: A leader-member exchange perspective. *Journal of Business Research*, 122, 1-13.
- Shishodia, A., Sharma, R., Rajesh, R., & Munim, Z. H. (2023). Supply chain resilience: A review, conceptual framework and future research. *The International Journal of Logistics Management*, 34(4), 879-908.
- Shneiderman, B. (2022). *Human-centered AI*. Oxford University Press.
- Simon, D. (2025). Supplier collaboration and trust enablers of sustainable and resilient supply chain. *Engineering Proceedings*, 113(1), 76.

- Singh, R. K., Modgil, S., & Shore, A. (2024). Building artificial intelligence enabled resilient supply chain: A multi-method approach. *Journal of Enterprise Information Management*, 37(2), 414-436.
- Singh, D., Sharma, A., Singh, R. K., & Rana, P. S. (2025). Artificial intelligence enabled supply chain resilience: Insights from FMCG industry. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*, 18(2), 414-441.
- Skowron, A., & Dutta, S. (2018). Rough sets: Past, present, and future. *Natural Computing*, 17(4), 855-876.
- Smyth, C., Dennehy, D., Fosso Wamba, S., Scott, M., & Harfouche, A. (2024). Artificial intelligence and prescriptive analytics for supply chain resilience: A systematic literature review and research agenda. *International Journal of Production Research*, 62(23), 8537-8561.
- Sohail, A. (2023). Genetic algorithms in the fields of artificial intelligence and data sciences. *Annals of Data Science*, 10(4), 1007-1018.
- Song, M., Ma, X., Zhao, X., & Zhang, L. (2022). How to enhance supply chain resilience: A logistics approach. *The International Journal of Logistics Management*, 33(4), 1408-1436.
- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Artificial neural networks in supply chain management, a review. *Journal of Economy and Technology*, 1, 179-196.
- Sudhir, K., & Toubia, O. (Eds.). (2023). *Artificial intelligence in marketing*. Emerald Publishing Limited.
- Surden, H. (2021). Machine learning and law: An overview. *Research Handbook on Big Data Law*, 171-184.
- Tahiru, F. (2021). AI in education: A systematic literature review. *Journal of Cases on Information Technology (JCIT)*, 23(1), 1-20.
- Talih, Ö., & Dönmez, E. (2024). Tedarik zincirine genel bakış: Akıllı tedarik zincirinde risk ve güvenlik. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 836-854.
- Tang, Y., Zhao, C., Wang, J., Zhang, C., Sun, Q., Zheng, W. X., ... & Kurths, J. (2022). Perception and navigation in autonomous systems in the era of learning: A survey. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 34(12), 9604-9624.
- Tavana, M., Sorooshian, S., & Mina, H. (2024). An integrated group fuzzy inference and best–worst method for supplier selection in intelligent circular supply chains. *Annals of Operations Research*, 342(1), 803-844.
- Terrada, L., El Khaïli, M., & Ouajji, H. (2020). Multi-agents system implementation for supply chain management making-decision. *Procedia Computer Science*, 177, 624-630.

- Thomas, A., & Kuppasani, P. R. (2025). Advantages and disadvantages of artificial intelligence. In *Artificial intelligence and biological sciences* (pp. 93-110). CRC Press.
- Tirkolaei, E. B., Sadeghi, S., Mooseloo, F. M., Vandchali, H. R., & Amini, S. (2021). Application of machine learning in supply chain management: A comprehensive overview of the main areas. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021(1), 1476043.
- Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P., & Fischl, M. (2021). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 122, 502-517.
- Toosi, A., Bottino, A. G., Saboury, B., Siegel, E., & Rahmim, A. (2021). A brief history of AI: how to prevent another winter (a critical review). *PET Clinics*, 16(4), 449-469.
- Tripathi, G., Ahad, M. A., & Casalino, G. (2023). A comprehensive review of blockchain technology: Underlying principles and historical background with future challenges. *Decision Analytics Journal*, 9, 100344.
- Tubis, A. A., Grzybowska, K., & Król, B. (2023). Supply chain in the digital age: A scientometric–thematic literature review. *Sustainability*, 15(14), 11391.
- Um, J., & Han, N. (2021). Understanding the relationships between global supply chain risk and supply chain resilience: The role of mitigating strategies. *Supply Chain Management: An International Journal*, 26(2), 240-255.
- Umar, M., & Wilson, M. (2021). Supply chain resilience: Unleashing the power of collaboration in disaster management. *Sustainability*, 13(19), 10573.
- Venkatraman, N. V. (2017). *The digital matrix: New rules for business transformation through technology*. LifeTree Media Limited.
- Vern, P., Panghal, A., Mor, R. S., & Kamble, S. S. (2025). Blockchain technology in the agri-food supply chain: A systematic literature review of opportunities and challenges. *Management Review Quarterly*, 75(1), 643-675.
- Viet Tran, A., & Khoa, B. T. (2025). Systematic review of blockchain business applications and the metaverse. *Sage Open*, 15(4), 21582440251398266.
- Wamba, S. F. (2022). Impact of artificial intelligence assimilation on firm performance: The mediating effects of organizational agility and customer agility. *International Journal of Information Management*, 67, 102544.
- Wendl, M., Doan, M. H., & Sassen, R. (2023). The environmental impact of cryptocurrencies using proof of work and proof of stake consensus algorithms: A systematic review. *Journal of Environmental Management*, 326, 116530.
- Wieland, A., & Wallenburg, C. M. (2012). Dealing with supply chain risks: Linking risk management practices and strategies to performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 42(10), 887-905.

- Wu, Y. C., & Feng, J. W. (2018). Development and application of artificial neural network. *Wireless Personal Communications*, 102(2), 1645-1656.
- Wu, K., Ma, Y., Huang, G., & Liu, X. (2021). A first look at blockchain-based decentralized applications. *Software: Practice and Experience*, 51(10), 2033-2050.
- Xie, M., Liu, J., Chen, S., & Lin, M. (2023). A survey on blockchain consensus mechanism: Research overview, current advances and future directions. *International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics*, 16(2), 314-340.
- Xu, M., Chen, X., & Kou, G. (2019). A systematic review of blockchain. *Financial Innovation*, 5(1), 1-14.
- Xu, L., Mak, S., & Brintrup, A. (2021). Will bots take over the supply chain? Revisiting agent-based supply chain automation. *International Journal of Production Economics*, 241, 108279.
- Xu, Y., Liu, X., Cao, X., Huang, C., Liu, E., Qian, S., ... & Zhang, J. (2021). Artificial intelligence: A powerful paradigm for scientific research. *The Innovation*, 2(4), 1-20.
- Yadav, S. P., Agrawal, K. K., Bhati, B. S., Al-Turjman, F., & Mostarda, L. (2022). Blockchain-based cryptocurrency regulation: An overview. *Computational Economics*, 59(4), 1659-1675.
- Younis, H., Sundarakani, B., & Alsharairi, M. (2022). Applications of artificial intelligence and machine learning within supply chains: Systematic review and future research directions. *Journal of Modelling in Management*, 17(3), 916-940.
- Yue, X., Kang, M., & Zhang, Y. (2025). The impact of artificial intelligence usage on supply chain resilience in manufacturing firms: A moderated mediation model. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 36(4), 759-776.
- Zarei, E., Khan, F., & Abbassi, R. (2023). How to account artificial intelligence in human factor analysis of complex systems? *Process Safety and Environmental Protection*, 171, 736-750.
- Zeba, S., Suman, P., & Tyagi, K. (2023). Types of blockchain. In *Distributed computing to blockchain* (pp. 55-68). Academic Press.
- Zhang, Y., Tavalaei, M. M., Parry, G., & Zhou, P. (2024). Evolution or involution? A systematic literature review of organisations' blockchain adoption factors. *Technological Forecasting and Social Change*, 208, 123710.
- Zhang, Z., Tan, S., Qin, J., Zou, K., & Zhou, S. (2025). Multi-strategy ant colony optimization with k-means clustering algorithm for capacitated vehicle routing problem. *Cluster Computing*, 28(3), 202.
- Zhao, N., Hong, J., & Lau, K. H. (2023). Impact of supply chain digitalization on supply chain resilience and performance: A multi-mediation model. *International Journal of Production Economics*, 259, 108817.

Zhao, X., Tong, Y., Lee, H., & Shahzad, U. (2025). The role of artificial intelligence in enhancing corporate environmental information disclosure: Implications for energy transition and sustainable development. *Energy Economics*, 108680.

Zheng, X., & Lai, K. K. (2008). A rough set based approach for dynamic supply chain performance evaluation. *International Journal of Production Research*, 46(20), 5759–5773.

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X., & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352-375.

Zhou, Z. H. (2021). *Machine learning*. Springer Nature.

Zhou, J., Hu, L., Yu, Y., Zhang, J. Z., & Zheng, L. J. (2024). Impacts of IT capability and supply chain collaboration on supply chain resilience: Empirical evidence from China in COVID-19 pandemic. *Journal of Enterprise Information Management*, 37(2), 777-803.

Zhou, L., Diro, A., Saini, A., Kaisar, S., & Hiep, P. C. (2024). Leveraging zero knowledge proofs for blockchain-based identity sharing: A survey of advancements, challenges and opportunities. *Journal of Information Security and Applications*, 80, 103678.

Zhou, Y., Zhang, N., Wu, C. H., Wang, Y., Zhang, X., & Zhang, D. (2024). The impact of supply chain ESG management on supply chain resilience with emerging IT technologies: Based on supply chain network capabilities. *Journal of Organizational and End User Computing (JOEUC)*, 36(1), 1-31.

Ziegler, M. H., Nowostawski, M., & Katt, B. (2025). A systematic literature review of information privacy in blockchain systems. *Journal of Cybersecurity and Privacy*, 5(3), 65.

ÖZGEÇMİŞ

Levent Özdemir, Yıldız Teknik Üniversitesi İstatistik Bölümünden 1998 yılında mezun olmuştur. 2001 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Strateji Bilimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.



TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

İmamoğlu, S.Z., Türkcan, H., Özdemir, L. (2025). “Yapay Zeka ve Blokzincir Teknolojilerinin Tedarik Zinciri Dayanıklılığı Üzerine Etkisi”, *International Review of Economics and Management*, 13(2), 58-76.



EKLER

EK-A: ANKET FORMU ÖRNEĞİ

Sayın İlgili,

Bu anket formu, Gebze Teknik Üniversitesi Strateji Bilimi Anabilim Dalı tarafından yürütülen “Yapay Zeka ve Blokzincir Teknolojilerinin Tedarik Zinciri Dayanıklılığı Üzerine Etkisi” konulu tez çalışması ile ilgilidir. Bu araştırma çalışması tamamen akademik bir çalışma olup, bilimsel bir amaca yönelik olarak kullanılacaktır. Gönderilecek cevaplarda katılımcılarla ilgili bilgiler kesinlikle gizli tutulacak olup, elde edilecek sonuçlar sadece akademik amaçlı kullanılacaktır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla yönetim ve organizasyon biliminin ilerlemesine ve Türk iş dünyasının gelişimine katkıda bulunmayı arzuluyoruz. İlginiz için teşekkürlerimizi sunar, çalışmalarınızda başarılar dileriz.

© 2025 Prof. Dr. Salih Zeki İMAMOĞLU

Levent ÖZDEMİR

Gebze Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Strateji Bilimi Bölümü

İşletme Hakkında Genel Bilgiler

Çalışan Sayısı:

İşletmenin Kuruluş Yılı:

Firmanızın sektörü (İşkolu): ☐ Otomotiv ☐ Bilişim/Yazılım

☐ Finans/Bankacılık ☐ Elektrik/Elektronik ☐ Makina ☐ Diğer:.....

Formu Dolduran Hakkında Genel Bilgiler

Yaşınız:

Cinsiyetiniz: ☐ Kadın ☐ Erkek

Eğitim Durumunuz (Mezun):

☐ Lise-Meslek Lisesi ☐ Ön Lisans ☐ Lisans ☐ Yüksek Lisans- Doktora

Lütfen aşağıdaki ifadeleri dikkatlice okuyunuz ve verilen derecelendirmeye göre sizin için en geçerli cevabı işaretleyiniz.

1. Kesinlikle Katılmıyorum; 2. Katılmıyorum; 3. Kararsızım; 4. Katılıyorum; 5. Kesinlikle Katılıyorum

Yapay Zekâ

1. Yapay zeka, dahili iş operasyonlarını optimize etti.	1	2	3	4	5
2. Yapay zeka, görevleri otomatikleştirerek çalışanların daha yaratıcı olmaları için bir alan yaratıyor.	1	2	3	4	5
3. Yapay zeka, firmada daha iyi kararlar alınmasını sağlıyor.	1	2	3	4	5
4. Yapay zeka, yeni ürünler için planları gösteriyor.	1	2	3	4	5
5. Yapay zeka, firma için yeni pazarlar belirliyor.	1	2	3	4	5
6. Yapay zeka, firmanın dağıtım ve satış gibi harici süreçlerini optimize etmesine yardımcı oluyor.	1	2	3	4	5
7. Yapay zeka, firmanın ihtiyaç duyulduğunda kıt bilgiyi yakalamasını ve uygulamasını sağlıyor.	1	2	3	4	5
8. Yapay zeka, otomasyon yoluyla personel sayısını azaltıyor.	1	2	3	4	5
Blokzincir Teknolojisi					
1. Blokzincir teknolojisi tedarik zinciri sistemine şeffaflık getiriyor.	1	2	3	4	5
2. Blokzincir teknolojisi firmada bilginin kalıcılığını sağlıyor.	1	2	3	4	5
3. Blokzincir teknolojisi firmanın sözleşmesel anlaşmaları güncellemesine ve karar almasına yardımcı oluyor.	1	2	3	4	5
4. Blokzincir, firmalar ve tedarik zincirleri için yeni rekabet avantajı alanları yaratıyor.	1	2	3	4	5
5. Blokzincir teknolojisi güçlü bir ağı geliştirilmesini sağlıyor.	1	2	3	4	5
6. Blokzincir teknolojisi tedarik zinciri ortakları arasında güven oluşturuyor ve hızlı bilgi paylaşımına olanak sağlıyor.	1	2	3	4	5
Tedarik Zinciri Dayanıklılığı					
1. Firmamızın tedarik zinciri, beklenmedik aksaklıklar karşısında ürün akışını hızlıca yeniden sağlayarak uygun şekilde tepki verebilmektedir.	1	2	3	4	5
2. Firmamızın tedarik zinciri, alternatif planlar aracılığıyla tedarik zinciri kesintilerinin finansal sonuçlarıyla başa çıkmaya hazırdır.	1	2	3	4	5
3. Firmamızın tedarik zinciri, kesinti anında yapı ve işlev üzerinde istenen düzeyde kontrol sağlayabilmektedir.	1	2	3	4	5
4. Firmamızın tedarik zinciri, kesintiden sonra hızla orijinal durumuna geri dönebilmektedir.	1	2	3	4	5
5. Firmamızın tedarik zinciri, kesintiden sonra yeni ve daha arzu edilen bir duruma geçebilmektedir.	1	2	3	4	5
6. Firmamızın tedarik zinciri, beklenmedik kesintilerden faydalı bilgi çıkarma ve kullanma yeteneğine sahiptir.	1	2	3	4	5