



**BÜTÜNLEŞİK SEZGİSEL BULANIK ÇOK KRİTERLİ
KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE BLOKZİNCİR
TEKNOLOJİSİNİN TIBBİ ATIK YÖNETİM
SÜRECİNE UYGUNLUĞUNUN VE KATKISININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Sefa ÇELİK

Doktora Tezi
Üretim Yönetimi ve Pazarlama Ana Bilim Dalı
Prof. Dr. Dilşad GÜZEL
2025
Her Hakkı Saklıdır

T.C
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ÜRETİM YÖNETİMİ VE PAZARLAMA ANA BİLİM DALI

Sefa ÇELİK

BÜTÜNLEŞİK SEZGİSEL BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR
VERME TEKNİKLERİ İLE BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN
TIBBİ ATIK YÖNETİM SÜRECİNE UYGUNLUĞUNUN VE
KATKISININ DEĞERLENDİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

TEZ YÖNETİCİSİ
Prof. Dr. Dilşad GÜZEL

ERZURUM- 2025



TEZ BEYAN FORMU

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

BİLDİRİM

Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Uygulama Esaslarının ilgili maddelerine göre hazırlamış olduğum "BÜTÜNLEŞİK SEZGİSEL BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN TIBBİ ATIK YÖNETİM SÜRECİNE UYGUNLUĞUNUN VE KATKISININ DEĞERLENDİRİLMESİ" adlı tezin/raporun tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin/raporumun kâğıt ve elektronik kopyalarının aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Gereğini bilgilerinize arz ederim *.

☐ Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

☐ Tezimin/Raporumun makale için **altı ay**, patent için **iki yıl** süreyle erişiminin ertelenmesini istiyorum.

14.07.2025
Aslı ıslak imzalıdır
Sefa ÇELİK

*** LİSANSÜSTÜ TEZLERİN ELEKTRONİK ORTAMDA TOPLANMASI, DÜZENLENMESİ VE ERİŞİME AÇILMASINA İLİŞKİN YÖNERGE**

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Çeşitli ve Son Hükümler

Lisansüstü tezlerin erişime açılmasının ertelenmesi MADDE 6– (1) Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu **iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.**

(2) Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile **altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.**

Gizlilik dereceli tezler MADDE 7– (1) Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

(2) Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.



SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Graduate School of Social Sciences

TEZ KABUL TUTANAĞI

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Prof. Dr. Dilşad GÜZEL danışmanlığında, Sefa ÇELİK tarafından hazırlanan bu çalışma 14 / 07 / 2025 tarihinde savunulmuş ve Üretim Yönetimi ve Pazarlama Ana Bilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan	:Prof. Dr. Kenar PEKER	İmza:	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi	:Prof. Dr. Üstün ÖZEN	İmza:	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi	:Prof. Dr. Dilşad GÜZEL	İmza:	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi	:Prof. Dr. İskender Peker	İmza:	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi	:Doç.Dr.A.İlker AKBABA	İmza:	Aslı ıslak imzalıdır

Aslı ıslak imzalıdır
Prof. Dr. Hanifi ŞAHİN
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	V
ABSTRACT	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TEŞEKKÜR	XI
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

TIBBİ ATIK

1.1. ATIK KAVRAMI	4
1.2. TIBBİ ATIK KAVRAMI	4
1.3. TIBBİ ATIK YÖNETİM SÜRECİ.....	7
1.4. TIBBİ ATIKLARIN ETKİLERİ.....	12
1.5. ATIK İMHA YÖNTEMLERİ	14
1.5.1. Yakma	15
1.5.2. Kimyasal Dezenfeksiyon.....	16
1.5.3. Mikrodalga Sterilizasyonu	17
1.5.4. Otoklavlama	18
1.5.5. Düzenli Depolama.....	19
1.5.6. Diğer Bazı İmha Yöntemleri	20
1.5.6.1. Plazma Piroлиз Yöntemi.....	20
1.5.6.2. Katılaştırma/Stabilizasyon Yöntemi.....	20
1.5.6.3. Kuru Isı Dezenfeksiyonu	20
1.5.6.4. İnertizasyon	21
1.6. TIBBİ ATIK LİTERATÜR TARAMASI.....	21

İKİNCİ BÖLÜM

BLOKZİNCİR

2.1. BLOKZİNCİR İLE İLGİLİ GENEL KAVRAMLAR.....	25
2.2. BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİ	32

2.3. BLOKZİNCİR GELİŞİM SÜRECİ	35
2.4. BLOKZİNCİR ÖZELLİKLERİ	36
2.4.1. Şeffaflık ve İzlenebilirlik.....	37
2.4.2. Denetlenebilirlik.....	37
2.4.3. Değiştirilemezlik	38
2.4.4. Esneklik	38
2.4.5. Ademi Merkeziyetçilik.....	39
2.4.6. Anonimlik.....	39
2.4.7. Hız ve Zaman avantajı.....	40
2.4.8. Güvenilirlik	41
2.4.9. İnkâr Edilemezlik	41
2.4.10. Dağıtık Güven Mekanizması.....	41
2.5. BLOKZİNCİR TÜRLERİ	42
2.5.1. Genel blokzincir (İzinsiz).....	42
2.5.2. Özel blokzincir (İzinli)	43
2.5.3. Konsorsiyum blokzincir	43
2.5.4. Hibrit Blokzincir	43
2.6. BLOKZİNCİR KULLANIM ALANLARI.....	44
2.6.1. Finans	44
2.6.2. Yapay Zekâ ve Nesnelerin İnterneti.....	45
2.6.3. Tedarik Zinciri Yönetimi	45
2.6.4. Pazarlama	46
2.6.5. 5G Teknolojisi.....	46
2.6.6. Paylaşım Ekonomisi.....	46
2.6.7. Değiştirilemez Token (NFT (Non-Fungible Token)).....	47
2.7. BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN AVANTAJLARI.....	47
2.8. BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN DEZAVANTAJLARI.....	48
2.9. BLOKZİNCİR LİTERATÜR TARAMALARI.....	50
2.9.1. Blokzincir Teknolojilerinin Tıbbi Atık Yönetiminde Kullanımına Dair Literatür Taramaları	51

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YÖNTEM

3.1. SEZGİSEL BULANIK KÜMELER.....	56
3.2. SEZGİSEL BULANIK AHP (IF-AHP)	57
3.2.1. Hiyerarşi, Kriterler ve Alternatiflerin Tanımlanması.....	58
3.2.2. Karar Vericilerin Katkı Ağırlıklarının Belirlenmesi	59
3.2.3. Karar Vericilerin Değerlendirmelerinin Elde Edilmesi.....	59
3.2.4. Grup Karar Matrisinin Oluşturulması	60
3.2.5. Tutarlılık Oranının (CR) Kontrol Edilmesi	61
3.2.6. Durulaştırma Öncesi Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	61
3.2.7. Nihai Kriter Ağırlıklarının Elde Edilmesi	61
3.3. SEZGİSEL BULANIK TOPSIS (IF-TOPSIS) METODU.....	62
3.3.1. IF TOPSIS Karar Matrisinin Oluşturulması.....	62
3.3.2. Normalleştirilmiş ve Ağırlıklı Karar Matrisinin Oluşturulması.....	63
3.3.3. Pozitif ve Negatif İdeal Çözümün Belirlenmesi	63
3.3.4. Pozitif ve Negatif Ayrım Ölçümlerinin Hesaplanması:	64
3.3.5. Her Alternatif İçin Yakınlık Katsayısının Hesaplanması.....	64
3.3.6. Alternatiflerin Sıralanması	64

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE ÖNEMİ	65
4.2. UYGULAMA AŞAMALARI	66
4.2.1. Kriterlerin Belirlenmesi.....	67
4.2.2. Alternatiflerin Belirlenmesi.....	70
4.2.3. Uzman Grubun Belirlenmesi.....	71
4.2.3.1. Paydaş Grup Teorisi (Stakeholder Theory)	71
4.2.4. Kriterlerin Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi (IF AHP).....	72
4.2.5. Hiyerarşi, Kriter ve Alternatiflerin Tanımlanması	73
4.2.6. Karar Vericilerin Katkı Ağırlıklarının Belirlenmesi	73
4.2.7. Karar Vericilerin Değerlendirmelerinin Elde Edilmesi.....	74
4.2.8. Grup Karar Matrisini Oluşturulması	75

4.2.9. Tutarlılık Oranlarının Belirlenmesi	78
4.2.10. Durulaştırma Öncesi Kriter Ağırlıkları	79
4.2.11. Nihai Kriterlerin Ağırlıklarının Elde Edilmesi	80
4.3. ALTERNATİFLERİN SIRALANMASI (IF TOPSIS)	82
4.3.1. IF TOPSIS Karar Matrisinin Oluşturulması.....	82
4.3.2. Normalleştirilmiş ve Ağırlıklı Karar Matrisinin Oluşturulması.....	86
4.3.3. Pozitif (a*) ve Negatif (a-) İdeal Çözümün Belirlenmesi	87
4.3.4. Pozitif ve Negatif Ayrım Ölçütlerinin Hesaplanması	89
4.3.5. Her Alternatif İçin Yakınlık Katsayısının Hesaplanması.....	90
4.3.6. Nihai Sıralama.....	91
4.4. FARKLI YÖNTEMLERLE SONUÇLARIN TEST EDİLMESİ.....	92
4.5. SENARYO ANALİZİ	97
SONUÇ VE TARTIŞMA.....	100
KAYNAKÇA	119
ÖZGEÇMİŞ.....	168

ÖZET

DOKTORA TEZİ

**BÜTÜNLEŞİK SEZGİSEL BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME
TEKNİKLERİ İLE BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN TIBBİ ATIK YÖNETİM
SÜRECİNE UYGUNLUĞUNUN VE KATKISININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Sefa ÇELİK

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Dilşad GÜZEL

2025, 168 sayfa

Jüri: Prof. Dr. Kenan PEKER

Prof. Dr. Üstün ÖZEN

Prof. Dr. Dilşad GÜZEL

Prof. Dr. İskender PEKER

Doç. Dr. Ahmet İlker AKBABA

Tıbbi atıklar, insan veya hayvan sağlığı noktasında hizmet veren klinikler, laboratuvarlar vb. sağlık kuruluşları tarafından üretilen ve enfekte etme özelliği taşıyan iğneler, kan ile temas durumu bulunan tüm materyaller, farmasötik malzemeler veya biyolojik parçalar olarak tanımlanmaktadır. Tanımdan da anlaşılacağı üzere içerisinde birden fazla tehlikeli atık türü barındıran tıbbi atık yönetim sürecinin doğru bir şekilde yürütülememesi insan ve çevre sağlığı açısından önemli riskler doğurabilmektedir. Enfekte özellikteki atıklar hastalıkların yayılmasına neden olabilirken; toksik atıkların çevreyi (hava-su-toprak) kirleterek ekosisteme ciddi zararlar verebildiği yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Artan sağlık problemleri ve buna bağlı olarak artan tedavi süreçleri tıbbi atık miktarında ciddi bir artışa sebep olmuş ve bu sürecin verimli bir şekilde yönetilmesi ihtiyacını doğurmuştur.

Blokzincir ise şeffaf bir şekilde işlemlerin yürütülebildiği, güvenilirlik, esneklik, izlenebilirlik vb. özellikler taşıyan dijital bir defter teknolojisidir. Bu yeni nesil teknolojiye yapılan her işlem zincire dahil olan tüm bloklar tarafından kontrol edilmekte, onaylanmakta, kayıt altına alınmakta ve güvenilir şifreleme yöntemleriyle birbirine bağlanmaktadır. Dünya genelinde birçok alanda kendine çalışma sahası bulan bu teknoloji, sağlık alanında da yenilikçi çözümler sunmaktadır. Örneğin hasta kayıtlarını sadece ilgili kurum ve kuruluşlarla paylaşması, kurumlar arasında güvenilir veri alışverişi imkânı sağlaması, ilaç tedarik zincirinin vazgeçilmez bir parçası olması, hasta mahremiyetini en doğru şekilde koruması vb. bu teknolojiyi birçok alanda olduğu gibi sağlık alanında da tercih edilir bir noktaya taşımıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, tıbbi atık yönetiminde blokzincir teknolojisinin uygulabilirliğinin ve katkısının değerlendirilmesidir. Bu amaçla çalışmada 7 aşamalı bir model tasarlanmıştır. Birinci aşama tıbbi atık yönetim sürecine etki etmesi beklenen blokzincir faydalarının çalışmanın kriterleri olarak belirlenmesidir. İkinci aşama, tıbbi atık yönetim süreci aşamalarının alternatifler olarak belirlenmesidir. Üçüncü aşama kriterlerin ve alternatiflerin değerlendirilmesinde görüşlerine başvurulacak olan uzman grupların belirlenmesidir. Dördüncü aşama, kriter ağırlıklarının uzman görüşleri neticesinde IF-AHP (Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process) olarak bilinen Sezgisel Bulanık AHP yöntemi ile sıralanmasıdır. Beşinci aşama alternatiflerin uzman görüşleri doğrultusunda IF-TOPSIS (Intuitionistic Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) olarak bilinen Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi ile sıralanmasıdır. Altıncı aşama yapılan analizler doğrultusunda ANP (Analytic Network Process) olarak bilinen Analitik Ağ Süreci analizi ile kriterlerin, VIKOR analizi ile alternatiflerin yeniden değerlendirilmesi ve sonuçların karşılaştırılmasıdır. Son aşamada ise senaryo analizi kullanılarak kriter ağırlıklarının değişmesi durumunda alternatif değişimlerinin var olup olmadığının incelenmesidir.

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi (Proje ID: 11113) tarafından desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: IF-AHP, IF-TOPSIS, Blokzincir, Tıbbi Atık

ABSTRACT

Ph. D. DISSERTATION

EVALUATION OF THE APPLICABILITY AND CONTRIBUTION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY TO THE MEDICAL WASTE MANAGEMENT PROCESS THROUGH INTEGRATED INTUITIONISTIC FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING TECHNIQUES

Sefa ÇELİK

Advisor: Prof. Dr. Dilşad GÜZEL

2025, 168 pages

Jury: Prof. Dr. Kenan PEKER

Prof. Dr. Üstün ÖZEN

Prof. Dr. Dilşad GÜZEL

Prof. Dr. İskender PEKER

Assoc. Prof. Dr. Ahmet İlker AKBABA

Medical waste refers to materials generated by healthcare institutions such as clinics and laboratories that provide services related to human or animal health, and which have the potential to cause infection. These include needles, materials contaminated with blood, pharmaceutical substances, and biological components. As is evident from this definition, improper management of medical waste—which comprises various types of hazardous waste—poses significant risks to both human health and the environment. Infectious waste can lead to the spread of diseases, while toxic waste has been shown in various studies to contaminate air, water, and soil, thus causing serious harm to ecosystems. The growing prevalence of health problems and the corresponding increase in treatment activities have led to a significant rise in the volume of medical waste, highlighting the urgent need for effective and efficient waste management.

Blockchain, on the other hand, is a digital ledger technology characterized by features such as transparency, reliability, flexibility, and traceability. In this next-generation technology, each transaction is verified, approved, recorded, and securely linked to previous ones by all blocks in the chain using advanced encryption methods. Having found application areas in numerous fields across the globe, blockchain also offers innovative solutions in the field of healthcare. For instance, it facilitates the secure sharing of patient records only with authorized institutions, enables reliable data exchange among healthcare providers, plays a critical role in pharmaceutical supply chains, and ensures the protection of patient privacy—making it an increasingly preferred technology in healthcare as in many other domains.

The primary objective of this study is to evaluate the applicability and contributions of blockchain technology in medical waste management. To achieve this aim, a seven-stage model has been developed. In the first stage, the potential benefits of blockchain expected to influence the medical waste management process are defined as the criteria of the study. The second stage involves the identification of the stages of the medical waste management process as alternatives. In the third stage, expert groups whose opinions will be consulted for the evaluation of criteria and alternatives are determined. The fourth stage comprises the weighting of the criteria based on expert opinions using the Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process (IF-AHP). In the fifth stage, the alternatives are ranked through the Intuitionistic Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (IF-TOPSIS), based on expert evaluations. The sixth stage involves a re-evaluation of the criteria using the Analytic Network Process (ANP) and of the alternatives using the VIKOR method, followed by a comparison of the results. In the final stage, scenario analysis is applied to examine whether changes in the weights of the criteria lead to any changes in the ranking of the alternatives.

This study was supported by the Scientific Research Projects (BAP) Unit (Project ID: 11113) of Atatürk University.

Keywords: IF-AHP, IF-TOPSIS, Blockchain, Medical Waste

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	: Analytic Hierarchy Process
ANP	: Analytic Network Process
CR	: Consistency Ratio
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
IF AHP	: Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process
IF TOPSIS	: Intuitionistic Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
MCDM	: Multi Criteria Decisison Making
P2P	: Peer to Peer
TAKY	: Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity
VIKOR	: Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Ülkeler Açısından Tıbbi Atık Literatür Örnekleri	21
Tablo 1.2. Çalışma Alanlarına Göre Literatür Örnekleri	22
Tablo 1.3. Türkiye'de Yapılan Tıbbi Atık Çalışma Örnekleri.....	23
Tablo 2.1. Blokzincir Örnek Tanımları	33
Tablo 2.2. Blokzincir Kullanım Alanlarına Örnekler.....	44
Tablo 2.3. Blokzincir Alanında Yapılan Çalışma Örnekleri	51
Tablo 2.4. Blokzincir ve Tıbbi Atık Kavramlarının Çalışıldığı Literatür Örnekleri	51
Tablo 3.1. Karar Vericilerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Değişkenler	59
Tablo 3.2. İkili Karşılaştırmalarda Kullanılan Dilsel Değişken Tablosu	60
Tablo 3.3. Tutarlılık Oranları	61
Tablo 4.1. Çalışmada Kullanılan Kriterler ve Açıklamaları.....	67
Tablo 4.2. Çalışmada Fikirlerinden Yararlanılan Uzman Grup	72
Tablo 4.3. İkili Karşılaştırma Anketi Örneği.....	74
Tablo 4.4. Uzman 1'in İkili Karşılaştırma Anketi	75
Tablo 4.5. Uzman Görüşleri Ortalama Değerleri	76
Tablo 4.6. Değerlerin Dilsel Değişkenlere Dönüştürülmesi	77
Tablo 4.7. Uzmanların Tutarlılık Oranları	78
Tablo 4.8. Çok Düzeyli Kriter Ağırlıkları	80
Tablo 4.9. Nihai Kriter Ağırlıkları	81
Tablo 4.10. Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Anket Örneği	83
Tablo 4.11. Uzman 1'in Alternatif Değerlendirme Anketi.....	83
Tablo 4.12. Alternatif Değerlendirme Anketlerinin Geometrik Ortalamaları.....	84
Tablo 4.13. Anket Sonuçlarının Dilsel Değişkenlere Dönüştürülmesi	85
Tablo 4.14. Normalize Edilmiş Karar Matrisi.....	86
Tablo 4.15. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi	87
Tablo 4.16. Pozitif ve Negatif İdeal Ayrım Ölçütleri.....	88
Tablo 4.17. Pozitif ve Negatif Ayrım Ölçütleri.....	89
Tablo 4.18. Yakınlık Katsayıları	90
Tablo 4.19. Alternatiflerin Sıralanması	91
Tablo 4.20. Kriterlerin Kıyaslanması	94
Tablo 4.21. Alternatiflerin Karşılaştırılması	96

Tablo 4.22. Farklılaştırılmış Kriter Ağırlıkları.....	99
Tablo 4.23. Senaryo Analizi Sonuçları	99



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Tıbbi Atık Amblemi	8
Şekil 1.2. Tıbbi Atık Yönetim Süreci	9
Şekil 1.3. Tıbbi Atıkların Çevreye Etkileri.....	13
Şekil 1.4. Tıbbi Atık Toplama Kıyafetleri	14
Şekil 1.5. Tıbbi Atık Yakma Fırını	16
Şekil 1.6. Sıvı Tıbbi Atık Kimyasal Dezenfeksiyon Makinası.....	17
Şekil 2.1. Blok Yapısı	25
Şekil 2.2. Blokzincir Düğüm Örnek Görseli.....	26
Şekil 2.3. Blokzincir İşlem Örnek Görseli.....	26
Şekil 2.4. Blokzincir Zorluk Derecesi Örnek Görseli.....	27
Şekil 2.5. Blokzincir Madenci Örnek Görseli.....	27
Şekil 2.6. Zaman Damgası Örnek Görseli	28
Şekil 2.7. %51 Saldırısı Örnek Görseli.....	29
Şekil 2.8. Hash Fonksiyonu Örnek Gösterimi	29
Şekil 2.9. Merkezi, Merkezi Olmayan ve Dağıtık Sistem Şeması.....	30
Şekil 2.10. Dijital Kimlik Temsili Gösterimler	31
Şekil 2.11. Merkle Ağacı	32
Şekil 2.12. Blokzincir ve Blok Yapısı	34
Şekil 2.13. Blokzincir İşleyiş Aşamaları.....	34
Şekil 2.14. Blokzincir ve Dağıtık Defter Altyapısı.....	35
Şekil 2.15. Blokzincir Gelişim Evreleri.....	36
Şekil 3.1. IF-AHP Yöntem Aşamaları	58
Şekil 3.2. Hiyerarşik Yapı Örneği.....	58
Şekil 3.3. Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntem Aşamaları.....	62
Şekil 4.1. Uygulama Aşamaları	66
Şekil 4.2. Çalışma Hiyerarşik Yapısı.....	67
Şekil 4.3. Senaryo Analizi Sonuçları Görseli	99
Şekil 4.24. Blokzincir Temelli Tıbbi Atık Yönetim Süreci	116

TEŞEKKÜR

“Bütünleşik Sezgisel Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Blokszincir Teknolojisinin Tıbbi Atık Yönetim Sürecine Uygunluğunun ve Katkısının Değerlendirilmesi” başlıklı doktora tez çalışmam süresince bilgi, birikim ve rehberlikleriyle katkı sağlayan, her aşamada yol gösterici yaklaşımıyla beni yönlendiren değerli danışmanım Prof. Dr. Dilşad GÜZEL’e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez savunma sürecinde kıymetli görüş ve önerileriyle çalışmamın bilimsel niteliğini zenginleştiren saygıdeğer jüri üyeleri Prof. Dr. Kenan PEKER, Prof. Dr. Üstün ÖZEN, Prof. Dr. İskender PEKER ve Doç. Dr. Ahmet İlker AKBABA’ya katkıları ve değerli değerlendirmeleri için şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde maddi destek sağlayan Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi’ne katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Saha araştırmam kapsamında anketleri titizlikle yanıtlayarak değerli katkılarda bulunan uzmanlara ve görev yaptıkları kurum ve kuruluşlara gönülden teşekkür ederim.

Akademik yolculuğum boyunca her daim yanımda olan, sabırları, anlayışları ve sevgileriyle bana güç veren kıymetli eşim Kübra ÇELİK’e ve sevgili kızım Asya ÇELİK’e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Bu sürecin her anında desteğini hissettiğim aileme minnettarım.

Ayrıca, bu süreci anlamlı kılan tüm katkı sahiplerine içtenlikle teşekkür ederim.

Erzurum – 2025

Sefa ÇELİK

GİRİŞ

Tıbbi atıklar; hastaneler, laboratuvarlar, klinikler ve diğer sağlık kuruluşları tarafından üretilen, enfeksiyöz, toksik veya patolojik özellikler taşıyan ve insan sağlığı ile çevre üzerinde ciddi tehditler oluşturan atık türlerini kapsamaktadır. Bu atıklar arasında kanla temas eden malzemeler, kesici-delici aletler, farmasötik maddeler ve biyolojik parçalar yer almakta olup; uygun şekilde toplanmadığında, taşınmadığında ve bertaraf edilmediğinde hastalıkların yayılmasına ve ekosistem üzerinde geri dönüştürülemeyen zararlara yol açabilmektedir. Özellikle pandemi dönemleri gibi olağanüstü sağlık koşullarında, tıbbi atıkların miktarında yaşanan artış, yönetim sürecinin daha karmaşık ve kritik hale gelmesine neden olmaktadır. Bu durum, yalnızca operasyonel değil aynı zamanda etik ve yasal sorumlulukları da içeren bütüncül bir yönetim anlayışını zorunlu kılmaktadır.

Öte yandan, son yıllarda dijitalleşme ile birlikte gelişen blokzincir (blockchain) teknolojisi, güvenilir veri saklama, şeffaf işlem yürütme, izlenebilirlik ve değiştirilemezlik gibi özellikleri sayesinde birçok sektörde dönüştürücü bir etki yaratmıştır. Merkeziyetsiz yapısı ve güvenlik odaklı işleyişi sayesinde, bilgi manipülasyonunun önüne geçilmesi, işlemlerin tüm paydaşlar tarafından anlık izlenebilmesi ve kayıtların bütünlüğünün korunması mümkün hale gelmiştir. Blokzincir, özellikle tedarik zinciri yönetimi, finans, eğitim ve sağlık gibi veri güvenliğinin kritik olduğu alanlarda yenilikçi çözümler sunarak süreçleri daha hesap verebilir ve sürdürülebilir hale getirmiştir. Bu teknolojik yapı, yalnızca veri iletimi değil, aynı zamanda süreçlerin otomatikleştirilmesi ve taraflar arası güven ilişkisinin tesis edilmesi açısından da önem arz etmektedir.

Tıbbi atık yönetimi süreçlerinin karmaşıklığı ve yüksek risk düzeyi göz önüne alındığında, blokzincir teknolojisinin sunduğu avantajlar bu alana entegre edilmesi gereken stratejik bir değer olarak ortaya çıkmaktadır. Atık üretiminden nihai bertarafa kadar geçen sürecin tüm aşamalarında şeffaflık, doğruluk ve izlenebilirliğin sağlanması; halk sağlığı, çevre güvenliği ve mevzuata uyum açısından büyük önem taşımaktadır. Blokzincir sayesinde, atıkların kaynağı, taşınma rotası, işlem süresi ve bertaraf şekli gibi bilgiler güvenli bir şekilde kaydedilip denetlenebilir hale gelmektedir. Bu bağlamda, tıbbi atıkların yönetiminde blokzincir temelli bir yaklaşımın benimsenmesi, sistemsal

zafiyetlerin azaltılmasını, kaynak kullanımının optimize edilmesini ve paydaşlar arası güvenin artırılmasını sağlayarak, daha sürdürülebilir ve dirençli bir sağlık sistemi oluşturulmasına katkıda bulunacaktır.

Bu çalışma, “*Bütünleşik Sezgisel Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Blokzincir Teknolojisinin Tıbbi Atık Yönetim Sürecine Uygunluğunun ve Katkısının Değerlendirilmesi*” başlığıyla, blokzincir teknolojisinin tıbbi atık yönetimi süreçlerine hangi kriterler doğrultusunda ve hangi aşamada en etkili biçimde entegre edilebileceğini belirlemeyi amaçlamaktadır. Araştırma, Erzurum ilinde yer alan bir üniversite hastanesinde gerçekleştirilmiş olup, tıbbi atık yönetimi süreci üretimden nihai bertarafa kadar bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır. Çalışmada, blokzincir teknolojisinin sunduğu güvenlik, izlenebilirlik ve şeffaflık gibi özellikler değerlendirme kriterlerini; sürecin farklı aşamaları ise alternatifleri oluşturmuştur.

Çalışmanın birinci bölümünde, tıbbi atıkların tanımı, sınıflandırılması ve yönetim süreci kuramsal bir çerçevede ele alınmış; mevcut mevzuat ve uygulamalar bağlamında değerlendirmeler yapılmıştır. Bu bağlamda tıbbi atıkların çevresel ve halk sağlığı açısından taşıdığı riskler vurgulanmış ve etkili bir yönetim sürecinin gerekliliği ortaya konmuştur. Bölüm sonunda gerçekleştirilen literatür taraması ile konuya ilişkin güncel çalışmalar incelenmiştir.

İkinci bölümde, blokzincir teknolojisinin yapısı, bileşenleri ve çalışma prensipleri açıklanmış; merkeziyetsizlik, değiştirilemezlik, şeffaflık ve izlenebilirlik gibi temel özellikleri üzerinden teknolojinin işleyişi analiz edilmiştir. Ayrıca, blokzincir uygulamalarının sağlık ve atık yönetimi gibi sektörlerdeki potansiyel kullanım alanlarına değinilmiştir. Bölüm sonunda, literatürde blokzincir teknolojisinin atık yönetimi bağlamında ele alındığı mevcut araştırmalar değerlendirilerek çalışmanın özgün yönü ortaya konmuştur.

Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan Sezgisel Bulanık AHP (IF-AHP) ve Sezgisel Bulanık TOPSIS (IF-TOPSIS) yöntemlerinin kuramsal altyapısı ve uygulanma adımları ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Çok kriterli karar verme yaklaşımı çerçevesinde, kriterlerin ağırlıklandırılması IF-AHP ile, alternatiflerin sıralanması ise IF-TOPSIS yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler, uzman görüşlerine dayalı karar

süreçlerinde belirsizliği dikkate alarak daha esnek ve güvenilir sonuçlar sunma avantajı sağlamaktadır.

Dördüncü bölümde uygulama süreci ele alınmış ve belirlenen yöntemler doğrultusunda analiz gerçekleştirilmiştir. Uzmanlardan elde edilen verilerle kriterler ve alternatifler değerlendirilmiş, blokzincir teknolojisinin tıbbi atık yönetimi sürecinde en etkili biçimde kullanılabileceği aşama belirlenmiştir. Uygulama sonuçları senaryo analizleriyle desteklenmiş ve elde edilen bulguların güvenilirliği test edilmiştir. Bu kapsamda karar vericilere süreç temelli ve uygulanabilir bir yönlendirme sunulması hedeflenmiştir.

Sonuçlara göre, "Güvenilirlik (K₉)" kriteri en kritik unsur olarak öne çıkarken, "Atık İmha Süreci (A₅)", blokzincir uygulamaları açısından en uygun aşama olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, tıbbi atıkların nihai bertaraf sürecinde güvenilirliğin temel bir gereklilik olduğunu ve blokzincir tabanlı sistemlerin sürecin şeffaf, izlenebilir ve güvenli bir şekilde yürütülmesine önemli katkılar sunduğunu göstermektedir. Sonuç olarak çalışma, hem yöntemsel hem de uygulamalı düzeyde literatüre özgün katkılar sunmakta ve tıbbi atık yönetiminde teknoloji temelli dönüşüm için stratejik bir rehber işlevi görmektedir.

BİRİNCİ BÖLÜM

TIBBİ ATIK

1.1. ATIK KAVRAMI

Atık, insanoğlunun varoluşu itibariyle bir şeyler tüketmesi sonucu meydana gelmiş olan bir kavramdır. Yapılan bir tanıma göre atık, sahibine herhangi bir faydası bulunmayan ve elden çıkarılmak istenen malzemelerdir (Christensen, 2011). Bir başka tanıma göre ise atık; okul, hastane iş yeri vb. yerlerde günlük kullanımlar sonucu ortaya çıkan (Çarıkçı, 2020), tekrar kullanımı mümkün olmayan ve yeniden kullanılmamak üzere elden çıkarılan (Bilgili, 2020) doğrudan veya dolaylı olarak zarara neden olabilen katı, sıvı veya gaz maddelerdir (Ünal vd., 1998). Daha kısa bir tanımla ifade edilecek olursa atık, kullanıldığı andan itibaren değeri ve doğrudan kullanımı olmayan nesnelerdir (Şanlıdağ & Akçalı, 2009).

Yapılan tanımlardan hareketle atık, niteliği farketmeksizin tüketilen veya kullanılan herhangi bir şeyin sonucunda ortaya çıkan atıl malzemeler olarak tanımlanabilir. Doğru yönetildiğinde geri dönüşüm ve enerji üretimi gibi alanlarda fayda sağlayabilecek olan endüstriyel, tarımsal, evsel vb. atıklar sürdürülebilir çevre politikaları açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle plastik ve elektronik atıklar doğaya büyük zarar verebilme potansiyeli taşıması açısından küresel olarak büyük önem kazanmıştır.

Sanayileşme süreci ile hızlanan üretim miktarlarındaki artış ve kaliteli yaşama ihtiyacı (Subramanian, 2000) tüketim miktarlarındaki artışı da beraberinde getirmiştir. Eş zamanlı büyüyen bu üretim ve tüketim zinciri beraberinde atık miktarının da büyümesine (Song vd., 2015) ve ekosistemde dengelerin bozulmasına neden olmuştur (Henry & Heinke, 1996). Meydana gelen bu atıkların hepsi zararlı olarak nitelendirilmemesine rağmen; enfekte eden, bulaşan, tahriş eden atıklar tehlikeli atık olarak nitelendirilmektedir (Shareefdeen, 2012).

1.2. TIBBİ ATIK KAVRAMI

Tıbbi atık, çeşitli nitelikteki sağlık kuruluşları tarafından insanlara sunulan hizmetler (Cerrahoğlu & Kılıçaslan, 2019), hayvan hastalıklarının tanı / tedavisi için

kullanılan hizmetler, biyolojik açıdan yapılan testler ve evde yapılan herhangi bir sağlık faaliyeti esnasında üretilen (Goswami vd., 2021) atıklar olarak tanımlanmaktadır (Purnomo vd., 2021). Bunlar dışında bakımevleri ve mezbahalarda yapılan işlemler sonucu ortaya çıkan bazı tür atıklar da tıbbi atık olarak adlandırılmaktadır (Rodriguez vd., 2015). Yapılan kapsamlı tanımdan hareketle tıbbi atıklar genellikle insan ve hayvan sağlığı ile ilgilenen sağlık kuruluşları, veterinerler ve laboratuvarlarda üretilen atıklar olarak tanımlanabilmektedir (Ribeiro vd., 2020; Nikolic vd., 2016; Agwuoke & Ekpete 2013). Yeryüzünde canlı yaşamının varlığıyla eş zamanlı olarak ortaya çıkan tıbbi atıklar, canlı kavramı varlığını sürdürdükçe oluşmaya devam edecektir. Bu durum, tıbbi atıkların insanlık açısından kaçınılmaz bir gerçek olduğunu göstermektedir (Birpınar vd., 2009).

Tıbbi atık kavramı literatürde farklı isimlerle çalışmalara konu olmuştur. Örneğin tıbbi atık (Oweis vd., 2005; Qdais vd., 2007; Shang & Jia, 2002; Taghipour & Mosafieri, 2009; Coker vd., 2009; Jang vd., 2006), sağlık kuruluşu atığı (Shinee vd., 2008; Mohamed, 2009; Ruoyan vd., 2009; Bisson vd., 1993; Nessa vd., 2001), hastane atığı (Nemathaga vd., 2008; Sawalem vd., 2009; Sarkar vd., 2006; Tsakona vd., 2007; Brunner & Brown, 1988; Chaerul vd., 2008), sağlık atığı (Appleton, 2000; Visvanathan, 2006; Yang vd., 2009; Diaz vd., 2005 ; Aukour, 2008; Malekahmadi vd., 2014), biyomedikal atık (Rahman vd., 2020; Rajan vd., 2017; Rao vd., 2018) gibi isimlerle kullanılan çalışmalara literatürde rastlamak mümkündür.

Tıbbi atıklar diğer atık türlerine (evsel atık, katı atık vb.) oranla daha az miktarda üretiliyor olmasına rağmen diğerlerine göre daha fazla risk taşırlar (Çarıkçı, 2020; Wang vd., 2020; Odonkor & Mahami, 2020). Nitekim bu risk bazı iş kazalarının ve meslek hastalıklarının kaynağını oluşturmaktadır (Akgün, 2015). Bu nedenle tıbbi atıkların tüm süreçlerinde özel ve hassasiyet gerektiren prosedürler uygulanmalıdır (Ferdowsi vd., 2013).

Tıbbi atık miktarı ülkelere (Van Boerdonk vd., 2021; Voudrias, 2018) ülkelerin gelişmişlik düzeyine, sağlık sistemlerine, ani pandemik salgınlara (Maalouf & Maalouf, 2021; Thakur, 2021; Su vd., 2021) üretilen kuruluşa/birime (Liberti vd., 1996; Cheng vd., 2009) göre değişiklik gösteriyor olmasına rağmen en çok hastanelerde üretilmektedir (Borowy, 2020).

Yapılan bir sınıflandırmaya göre sağlık kuruluşlarında iki tür atık meydana gelmektedir. Bunlar tehlikesiz genel atıklar ve tehlikeli atıklardır (Odonkor & Mahami, 2020). Atık sınıflandırmalarında yapılan en büyük hatalardan bir tanesi tıbbi atıkların (tehlikeli atık) evsel atıklarla (tehlikesiz genel atıklar) karıştırılabilmesi durumudur. Nitekim yapılan bir çalışmada sağlık kuruluşlarında üretilen ve tıbbi atık olarak nitelendirilen atıkların % 75 - % 80 'inin evsel nitelikli atık olduğu tespit edilmiştir (Günaydın, 2001). Bu durum halk sağlığı ve çevre açısından ciddi boyutlarda problemlere neden olabilmektedir. Bu nedenle tıbbi atık yönetim sürecinin titizlikle yönetilmesi büyük önem taşımaktadır.

Dünyada tıbbi atığın neden olduğu problemlere karşı ülkelerin farkındalık düzeylerinin artması bu alanda hukuki altyapının geliştirilmesi gereğini doğurmuştur. Birçok Avrupa ülkesinde 70'li yıllarda bu alanda resmi çalışmalar yapılırken, Türkiye'de tıbbi atıklar 1993 yılında yayımlanan bir yönetmelik ile diğer atıklardan farklı olarak değerlendirilmeye ve özel bir süreç ile yönetilmeye başlanmıştır. Aynı yönetmeliğin en son ve en güncel hali olarak 2017' de yürürlüğe konulan "Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" (TAKY) Türkiye'deki tıbbi atık yönetiminin tüm süreçlerini detaylı bir şekilde açıklamakta ve karşılamaktadır. Bu yönetmeliğe göre, tıbbi atık enfeksiyon yapıcı atıklar, patolojik atıklar ve kesici-delici atıklar olarak tanımlanmış (Resmî Gazete, Erişim Tarihi: 31.10.2023), tıbbi atıkların bertaraf edilme şekilleri sterilizasyon, yakma ve düzenli depolama olarak belirlenmiştir. Sebep olabileceği çevresel ve biyolojik etkilerinden dolayı tıbbi atıkların hiçbir işlem görmeden direk düzenli depolamaya gönderilerek bertaraf edilmesi seçeneği 2010 yılında yayımlanan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik ile yasaklanmıştır.

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği EK:1'e göre tıbbi atık üreticileri şu şekilde sıralanmıştır (Resmi Gazete, Erişim Tarihi: 31.10.2023);

- Üniversite Hastaneleri ve Klinikleri
- Genel Maksatlı Hastaneler ve Klinikleri
- Doğum Hastaneleri ve Klinikleri
- Askeri Hastaneler ve Klinikleri
- Toplum Sağlığı Merkezleri, Aile Sağlığı Merkezleri, Dispanserler ve Benzeri Birinci Basamak Sağlık Kuruluşları

- Diğer Sağlık Merkezleri, Tıp Merkezleri
- Ayakta Teşhis ve Tedavi Hizmeti Veren Merkezler
- Diyaliz Merkezleri
- Morglar ve Otopsi Merkezleri
- Tıbbi ve Biyomedikal Laboratuvarlar
- Biyoteknoloji Laboratuvarları ve Enstitüleri
- Mikrobiyoloji Laboratuvarları
- Tıbbi Araştırma Merkezleri
- Kan Bankaları ve Transfüzyon Merkezleri
- Acil Yardım ve İlk Yardım Merkezleri
- Ambulans Hizmetleri
- Rehabilitasyon Merkezleri
- Fizik Tedavi Merkezleri
- Sağlık Hizmeti Verilen Diğer Sağlık Kuruluşları (doktor muayenahaneleri, diş ve ağız sağlığı muayenahaneleri ve benzerleri)
- Bakımevleri ve Huzurevleri
- Hayvan Hastaneleri
- Hayvanlar Üzerinde Araştırma ve Deneyler Yapan Kuruluşlar
- Veteriner Kontrol ve Araştırma Enstitüleri
- Veteriner Poliklinikleri ve Muayenahaneleri
- Hayvanat Bahçeleri
- Akupunktur Merkezleri
- Evde Yapılan Tedavi ve Hemşire Hizmetleri
- Güzellik, Kulak Delme ve Dövme Merkezleri
- Eczaneler
- Bu listede yer almayan ancak faaliyetleri sonucu tıbbi atık oluşumuna neden olan kişi, kurum ve kuruluşlar.

1.3. TIBBİ ATIK YÖNETİM SÜRECİ

Tıbbi atık kavramı, sağlık kavramı ile eş zamanlı olarak ortaya çıkmış bir kavramdır. İlk zamanlarda insan sayısına ve sağlık hizmetlerinin kısıtlılığına bağlı olarak

tıbbi atıklar ciddi sorun oluşturmazken, son yıllarda sağlık alanında gelişen teknoloji ve hasta-hastalık sayısının artması ile birlikte tıbbi atık yönetimi (Bdour, 2007) ciddi sorun haline gelmeye başlamıştır (Cingöz & Tinni, 2020). Bu sorunların çözümü için ilgili kurum ve kuruluşlar yasal düzenlemeler veya eylem planları ile (Cerrahoğlu & Kılıçaslan, 2019) süreci kontrol altına almaya çalışmışlardır (Esmailian vd., 2018; Su & Chen, 2018).

Atık yönetimi kavramı, insan ve doğa sağlığı açısından var olan atıkların kontrolünü, toplanmasını, depolanmasını ve imha süreçlerini içeren uygulamalar olarak tanımlanmaktadır (Ertaş & Güden, 2019).

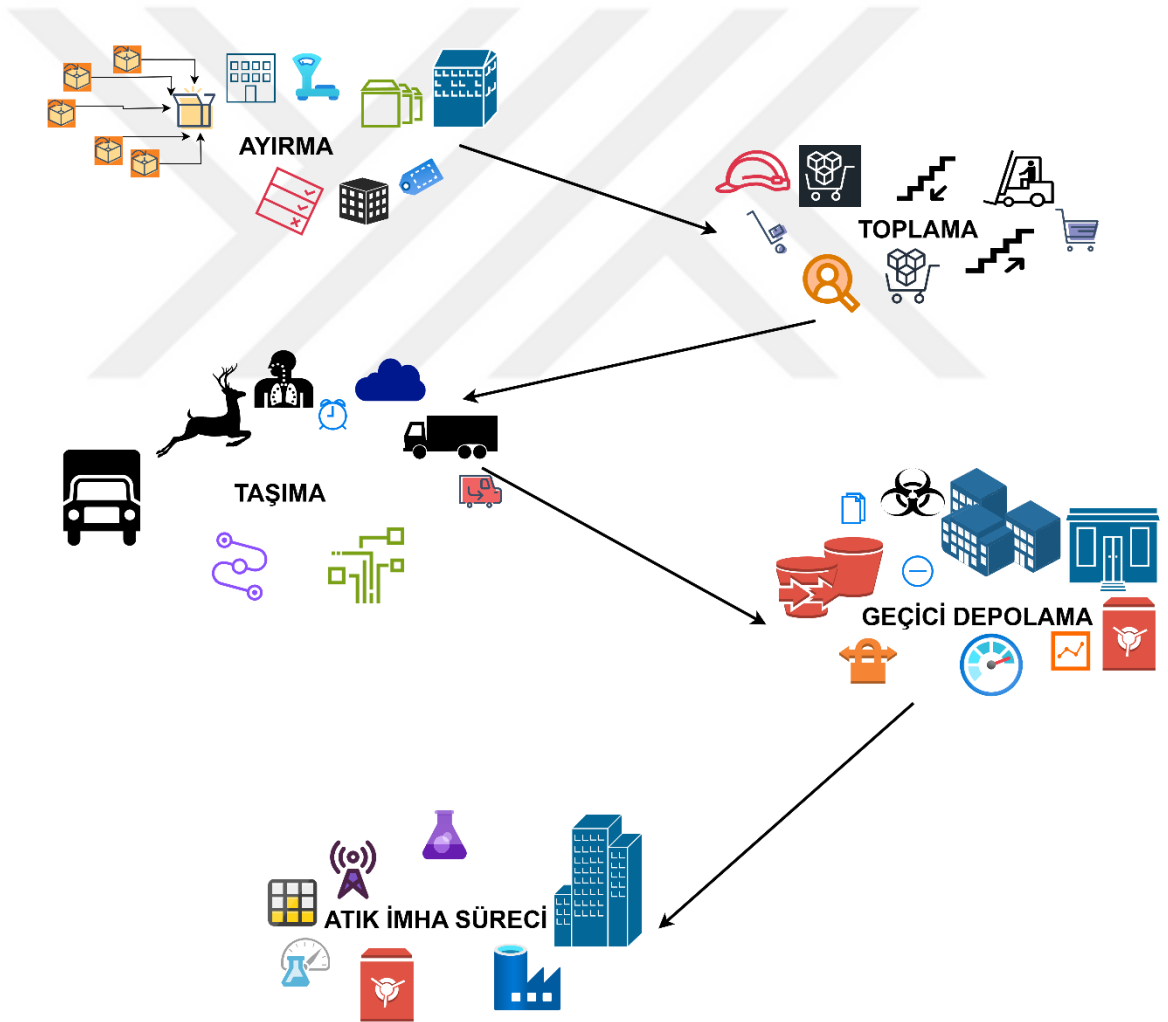
Tıbbi atık yönetim süreci ise hertürlü tıbbi atığın kaynağında ayrıştırılarak toplanması, bu atıkların taşınması, geçici depolanması, imha edilmesi ve mümkünse yeniden kullanılması süreçlerine verilen isimdir (Malekahmadi vd., 2014; Madhu vd., 2017).

Tıbbi atık yönetim süreci insan/çevre sağlığı ve enerji planlama gibi konularda özellikle tıbbi atık üreticisi kurum/kuruluş tarafından (Ramteke & Sahu, 2020) planlı ve düzenli bir şekilde yürütülmesi, tanıtılması, farkındalık yaratılması gereken özel bir süreçtir (Windfeld & Brooks, 2015; Pieper vd., 2017; Bucătaru vd., 2021; Babae Tirkolae & Aydın, 2021). Nitekim tıbbi atıkla ilgili süreçlerin her birinde farkındalık yaratması amacıyla tıbbi atığı simgeleyen uluslararası özel bir amblem kullanılmaktadır. Bu amblem tıbbi atık torbalarında, kaplarda, kovalarda, atık konteynerlerinde, taşıma aracı üzerinde, geçici depolama birimlerinde ve diğer ilgili malzeme ve araçlarda görünür bir şekilde bulunmak zorundadır (TAKY, Resmi Gazete, Erişim Tarihi: 31.10.2023).



Şekil 1.1. Tıbbi Atık Amblemi

Tıbbi atık yönetimi, atıkların enfekte edici özellikte olmaları nedeniyle her bir sürecinin kendi içerisinde düzenlenmesi ve değerlendirilmesi (Haylamicheal, 2011; Bdour, 2007; Ulutaşdemir vd., 2020) ve daha çevreci yöntemlerle imha edilmesi gereken süreci barındırmaktadır (Kenny & Priyadarshini, 2021). Tıbbi atık yönetim süreçleri ülkelere ve hastanelere göre kısmen değişiklik gösterse bile temel olarak; kaynağında toplama, taşıma, depolama ve imha süreçlerinden meydana gelmektedir (Terekli, 2013; Baylan, 2009). TAKY’de bu süreç kaynağında ayrı toplama, geçici depolama, taşıma ve imha olarak sıralanmıştır (Resmi Gazete, Erişim Tarihi: 31.10.2023). Tıbbi atık yönetiminde asıl amaç atıkların verebileceği zararı en aza indirmek (Temel, 2021) ve bu süreçlerde her açıdan daha faydalı yeni yöntemleri belirlemektir (Adu vd., 2020).



Şekil 1.2. Tıbbi Atık Yönetim Süreci

Tıbbi atıkların kaynağında evsel atıklarla karışmayacak şekilde ayrı ayrı toplanması önemli ve gereklidir (Ciplak & Kaskun, 2015). Kaynağında ayrı toplanan atıkların imha maliyetlerinin daha düşük olduğu yapılan çalışmalarda (Di Foggia & Beccarello, 2020) belirlenmiş olmasına rağmen sağlık kurumlarında atıkların doğru bir şekilde toplanmadığını belirten çalışmalar (Letho vd., 2021) da mevcuttur. Türkiye’de katı veya sıvı tıbbi atıkların kaynağında ayrı olarak toplanması için gerekli malzemeler ve bu malzemelerin taşınmaları gereken nitelikler TAKY’de açıkça belirtilmiştir (Resmi Gazete, Erişim Tarihi: 31.10.2023).

Kaynağında ayrı toplanan tıbbi atıkların imha merkezine götürülmeden bekletildiği alanlara taşınmasına kurum içi taşıma veya ünite içi taşıma denilmektedir (Abbasoğlu vd., 2006).

Tıbbi atık yönetim sürecinin tüm aşamalarında diğer atıklarla miktar ve bileşim olarak karıştırılmamasına azami hassasiyet gösterilmelidir (Çetinkaya vd., 2020). Bu durum TAKY’de açıkça belirtilmiştir (Resmi Gazete, Erişim Tarihi: 31.10.2023).

Tıbbi atıklar, diğer atık türleriyle birlikte taşınmamalı ve aynı yöntemle imha edilmemelidir (Teymourian vd., 2021). Bu yaklaşımın temel nedenlerinden biri, her atık türünün kendine özgü bir bertaraf maliyetine sahip olmasıdır. Özellikle tıbbi atıkların imha maliyetleri, diğer atık türlerine kıyasla oldukça yüksektir (Prüss vd., 1999).

Toplanan tıbbi atıkların imha merkezine götürülmeden önce bekletildiği geçici depolarda insan ve çevre teması minimum düzeye indirilmelidir. Bunun için depo kapıları sadece gerekli zamanlarda açık bulundurulmalı, depo mimarisi gereken şartları sağlamalı (genişlik, ısı, ergonomi, havalandırma vb.) (Şahin, 2017; Çobanoğlu & Bezen, 2005) ve azami bekleme süreleri dolmadan transfer sağlanmalıdır (Peng vd., 2020). TAKY’de geçici depolama alanlarının taşınması gereken özellikler şu şekilde sıralanmıştır (Resmi Gazete, Erişim Tarihi: 31.10.2023);

- Depo en az iki günlük atığı alabilecek büyüklükte olmalıdır.
- Depo sağlam, geçirimsiz, kir tutmayan, kolay temizlenebilen duvar ve taban yapısına sahip olmalıdır.
- Depolarda gerekli ve yeterli aydınlatma olmalıdır.
- Depolar soğutulabilir olmalı aksi durumda pasif havalandırmaya müsait olmalıdır.

- Deponun kapısı turuncu renkli olup üzerinde tıbbi atık tehlike amblemi yer almalıdır.
- Depo kapısı kirden arındırılmış olmalı ve turuncu renkte boyanmış olmalıdır.
- Depo kapısı dışa doğru açılmalı veya sürgülü olmalıdır.
- Depo kapısı kullanılmadığı zaman mutlaka kilitli olmalı ve anahtar yalnızca yetkili kişilerde bulunmalıdır.
- Depo içeriye ilgisi olmayan hayvan veya yabancı personelin giremeyeceği şekilde planlanmalıdır.
- Depo girişi ve bina yapısı atıkların biriktirilmesinde veya boşaltılmasında kolaylık sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Depo konumu itibarıyla hasta ve insan trafiğinin yoğun olduğu yerlere yakın olmamalıdır.
- Depo temizliği ve dezenfeksiyonu uygun materyaller ve yöntemlerle yapılmalıdır.
- Depoda ızgaralı drenaj sistemi ve su musluğu bulunmamalıdır.
- Temizlik malzemeleri, özel kıyafetler, koruyucu ekipmanlar depolarda kolaylıkla farkedilebilir yerlerde bulundurulmalıdır.
- Depoların temizliği veya dezenfeksiyonu ile ilgili talimatlar ve görev çizelgeleri depo dışında görünebilir yerlere asılmalıdır.
- Depo, tıbbi atıkların depolanması dışında başka maksatlarla kesinlikle kullanılmamalıdır.

Tıbbi atıkların imha merkezlerine taşınması sürecinde ortam ısısı belirtilen standartlarda olmalıdır. Bu noktada en uygun zaman dilimleri hava sıcaklığının nispeten daha uygun olduğu gece ve sabah saatleri olarak kabul görmektedir (Peng vd., 2020). Ayrıca bu taşıma sürecinde zaman planlamaları (Govindan vd., 2022) ve rota planlamaları (Babaei Tirkolaee & Aydın, 2021) yapılmalıdır. Geçici depolardan alınan atıkların ara depo gibi tekrar bekletilebileceği alanlara götürülmesi de yasaklanmış, atıkların doğrudan imha merkezine götürülmesi zorunlu kılınmıştır. Bu noktada tıbbi atıkların imha merkezine taşınması-taşıttırılması sorumluluğu belediyelere verilmiştir (Resmi Gazete, Erişim Tarihi: 31.10.2023). Bununla birlikte taşıma araçlarının taşınması gereken nitelikler ve dikkat edilmesi gereken taşıma kuralları TAKY’de açıkça belirtilmiştir (Resmi Gazete, Erişim Tarihi: 31.10.2023).

Tıbbi atık süreçlerinde görev alan tüm personelin işin riskine uygun olarak giydirilmesi (Mostafa vd., 2009) ve düzenli olarak gerekli eğitimlerin verilmesi (Letho vd., 2021) gerekmektedir. Ayrıca tıbbi atık yönetim sürecinde yer alan personele ilişkin tüm zorunluluklar ve kurallar TAKY’de açıkça belirtilmiştir (Resmi Gazete, Erişim Tarihi: 31.10.2023).

Tıbbi atıklar imha merkezine ulaştıktan sonra zaman kaybedilmeden imha süreçleri başlatılmalıdır. Bu noktada çok tehlikeli olmasına rağmen tıbbi atıkların çevreye döküldüğü-dağıldığı veya bekletildiği ülkelerin var olduğu bilinmektedir (Goswami vd., 2021). İmha edilecek olan atıkların bileşiminin imha merkezinde belirlenmesi veya atık toplanırken belirlenmiş olması verimli bir imha sürecine yardımcı olmaktadır (El-haggar, 2007). Örneğin yanma ünitesi ile imha edilen atıkların hacimlerinde %15’e varan bir azalma meydana gelmekte ve depolamada büyük avantaj sağlayabilmektedir (Akkaya, 2015). Türkiye’de tıbbi atıkların imha süreçlerinin öncesi-esnası-sonrasında yapılması gereken ve dikkat edilmesi gereken hususlar TAKY’de detaylı ve açıkça belirtilmiştir (Resmi Gazete, Erişim Tarihi: 31.10.2023).

1.4. TIBBİ ATIKLARIN ETKİLERİ

Uygun bir şekilde yönetilmeyen bir tıbbi atık yönetim sürecinin insan sağlığına, toprağa, havaya, suya, ekolojik dengeye zarar verebilme potansiyelinin olduğu yapılan çalışmalarda (Wang vd., 2020; Jang vd., 2006; Chartier vd., 2014; Bahçıvan, 2017; Akkaya, 2015) belgelenmektedir.

Örneğin yapılan bir çalışmada tıbbi atıkların hava kirliliği üzerinde ciddi etkilerinin olduğu tespit edilmiştir (Eckelman & Sherman, 2016). Bir başka çalışmada tıbbi atıkların toprağa enfeksiyon bulaştırması durumunda toprak altında (yer altı suları) ve üstünde (canlı yaşamı, bitki yaşamı) pek çok canlının etkilendiği ve toprak kirliliğine neden olduğu belirlenmiştir. Başka bir çalışmada yakma yoluyla imha edilen tıbbi atıklardan ortaya çıkan cıvanın suya kolaylıkla karışabildiği ve doğal su dengesini bozduğu belirlenmiştir (Doğan, 2010). Bu nedenle tıbbi atıkların düzenli ve güvenli bir şekilde yok edilmesi başta hastalıklar olmak üzere birçok çevresel kirliliğin önlenmesinde büyük önem taşımaktadır (Blenkharn, 2006).



Şekil 1.3. Tıbbi Atıkların Çevreye Etkileri (İnternet Sitesi 1)

Atık imha yönetiminin en kolay ve en düşük maliyetli yollarından birisi kabul edilen atıkların depolanması (Hong vd., 2018), düşük maliyeti nedeniyle dünya genelinde sıklıkla kullanılmasına rağmen (Kenny & Priyadarshini, 2021), büyük arazi işgali ve virüs yayılma riski taşıdığı için güvenlik açığı meydana getirmektedir (Su vd., 2021). Bu nedenle tıbbi atık yönetiminde ve atık imhasında çevresel etkilerden dolayı düzenli depolama mümkünse tercih edilmemelidir (Ghasemi & Yusuff, 2016). Bunun yanı sıra tıbbi atıkların haşere-kemirgen gibi hayvanlar tarafından parçalanması, dağıtılması durumlarında (Kaptanoğlu vd., 2014) enfeksiyon yayılımına neden olduğu bilinmektedir (Aranlı, 2019).

Tıbbi atıklar taşıdıkları bakteri, virüs vb. tehlikelerden dolayı insan vücudunda böbrek, sinir sistemi gibi organlarda etkiler bırakabilmektedirler (Manyele & Lysenga, 2010). Bu noktada özellikle risk altında olan sağlık personeli ve tıbbi atık personellerinin (Turan vd., 2019) HIV gibi hastalıklara yakalanma (Ergin vd., 2017), kas hastalıkları, kilo kayıpları (Sarıtac, 2014) gibi olumsuz durumlarla karşılaşma riskleri yüksektir. Örneğin 2000 yılında yapılan bir çalışmada binlerce sağlık çalışanının tıbbi atık enfeksiyonu bulaşması nedeniyle çeşitli hastalıklara yakalandıkları (Prüss & Üstün, 2005) başka bir çalışmada ise ortaçağda patojenik atıkların suya karışması sonucunda nüfus kayıplarının yaşandığı ve kolera salgınlarının meydana geldiği belirtilmiştir (Giusti, 2009). Şekil 1.4'te tıbbi atık toplama sürecinde kullanılan kişisel koruyucu donanımlar

gösterilmektedir. Bu ekipmanlar, çalışanların biyolojik risklere karşı korunmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Özetle tıbbi atık yönetim sürecinin kontrolsüz bir şekilde yürütülmesi birçok açıdan insan ve çevre sağlığına zarar verebilmektedir. Yanlış imha edilen atıkların saldığı toksik gazlar havaya karışarak solunum yolu enfeksiyonlarına neden olabilmektedir. Ayrıca uygun yönetilmeyen sıvı tıbbi atıkların veya tıbbi atıklardan çıkan patojenik sıvıların yeraltı su kaynaklarına karışması öncelikle toprağı ve içme sularını etkileyerek ekosistemi tehlikeye sokabilmektedir.



Şekil 1.4. Tıbbi Atık Toplama Kıyafetleri (İnternet Sitesi 2)

Tüm bu nedenlerle sürdürülebilir çevre ve toplum sağlığı açısından tıbbi atıkların çevreye ve insan sağlığına zarar verebilecek şekilde doğaya bırakılması, atılması Türkiye’de TAKY’de açıkça belirtildiğı üzere kesin bir surette yasaklanmıştır (Resmi Gazete, Erişim Tarihi: 31.10.2023).

1.5. ATIK İMHA YÖNTEMLERİ

Günümüzde artan nüfus, sağlık hizmetlerine olan talebin yükselmesi ve tıbbi tedavi süreçlerinin daha karmaşık hale gelmesi, tıbbi atıkların yönetimini küresel bir problem haline getirmiştir (Kenny & Priyadarshini, 2021). Tıbbi atıklar, içerdiği toksik ve

patojenik maddeler nedeniyle çevreye ve insan sağlığına ciddi zararlar verebilecek potansiyele sahiptir. Bu nedenle, bertaraf edilmeden önce uygun şekilde ayrıştırılması, arıtılması ve yönetmeliklere uygun bir şekilde imha edilmesi gerekmektedir (Kargar vd., 2020). Tıbbi atık yönetimi, sadece yerel düzenlemelere uyum sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda teknik uzmanlık, güvenlik, maliyet ve çevresel sürdürülebilirlik gibi faktörleri de içeren kapsamlı bir süreçtir (Blenkharn, 2006). Günümüzde tıbbi atıkların bertaraf edilmesinde termal, kimyasal, ışınlama ve biyolojik yöntemler gibi teknolojik yöntemlerin yanısıra çok çeşitli farklı teknolojiler de kullanılmaktadır (Hassan & Shareefdeen, 2021). Yakma, mikrodalga sterilizasyonu, kimyasal dezenfeksiyon ve otoklavlama gibi yöntemler, atıkların güvenli bir şekilde imhasını sağlamakla aynı zamanda bu süreçteki çevresel etkileri en aza indirmek için sürekli olarak geliştirilmektedir (Kane vd., 2018). Tıbbi atıkların güvenli bertaraf edilmesi, hastalıkların yayılmasını önlemek ve ekosistemi korumak adına kritik bir adımdır. Bu nedenle, tıbbi atık yönetimi stratejileri, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen ve döngüsel ekonomiye katkı sağlayan modern bertaraf yöntemlerini içerecek şekilde yeniden şekillendirilmektedir (Kenny & Priyadarshini, 2021).

1.5.1. Yakma

Organik ve yanıcı atıkları yüksek sıcaklıkta inorganik, yanmaz maddelere dönüştüren bir bertaraf yöntemidir (Prüss vd., 1999). Bu işlem, atık hacmi ve ağırlığını önemli ölçüde azaltırken, tehlikeli bileşenlerin dezenfekte edilmesini sağlamaktadır (Bekmez, 2022). Yakma süreci hızlıdır ve atıkların kaynağında bertaraf edilmesine olanak tanır. Geri dönüştürülemeyen atıklar için en yaygın yöntemlerden biri olup, özellikle az gelişmiş ülkelerde tehlikeli atıkların imha sürecinde kullanılmaktadır (WHO, 2002). Yakma işlemi, enerji üretimi açısından avantajlıdır ancak ciddi çevresel etkileri bulunmaktadır çünkü yüksek sıcaklıkta (850°C-1200°C) gerçekleşen işlem, dioksinler, furanlar ve cıva gibi toksik emisyonlara neden olabilmektedir (Datta vd., 2018; Pieper vd., 2017). Bu yöntemde hava kirliliğinin önlenmesi için gelişmiş filtrasyon sistemleri gerekli olup bu da yüksek maliyet doğurmaktadır (Makarichi vd., 2018). Yakma fırınlarının yanlış işletilmesi, dioksin ve ağır metal emisyonlarını artırarak halk sağlığına ciddi tehdit oluşturabilmektedir (Goswami vd., 2021). Enerji geri kazanımı ve atık azaltımı gibi avantajlara sahip olmasına rağmen, sağlık ve çevresel riskler nedeniyle bu

yöntem, ancak diğer bertaraf yöntemleri uygulanamıyorsa tercih edilmelidir (Borowy, 2020). Sonuç olarak, yakma, etkili bir atık yönetimi stratejisi olmasına karşın, çevre ve insan sağlığı üzerindeki riskleri göz önünde bulundurularak dikkatli bir şekilde uygulanmalıdır (Oyekale & Oyekale, 2017). Tıbbi atıkların yakılmasında kullanılan örnek bir cihaz ve atık yükleme işlemi şekil 1.5’te gösterilmektedir. Bu yöntem, atıkların güvenli şekilde bertarafını amaçlamaktadır.



Şekil 1.5. Tıbbi Atık Yakma Fırını (İnternet Sitesi 3)

1.5.2. Kimyasal Dezenfeksiyon

Kimyasal dezenfeksiyon, tıbbi ekipman ve yüzeylerdeki mikroorganizmaların yok edilmesinde kullanılan bir yöntem olup, son yıllarda tıbbi atık bertarafında yaygın olarak uygulanmaktadır (Bekmez, 2022). Sıvı atıkların, özellikle kan, dışkı ve hastane atık sularının arıtılmasında etkili bir yöntemdir (Hong vd., 2018). Atıkların kimyasal maddelerle dezenfekte edilmesi sırasında stabil performans ve geniş sterilizasyon spektrumu sağlanarak virüsler, bakteriler ve sporlar yok edilmektedir (Voudrias, 2016). Kullanılan bu dezenfektanlar arasında klor bileşikler, aldehitler, sodyum hipoklorit, perasetik asit ve ozon gibi maddeler bulunmaktadır (WHO, 2014). Kimyasal dezenfeksiyonun avantajları arasında hızlı etki, düşük çevresel etki ve kokusuz bertaraf sağlama gibi unsurlar öne çıkarken, toksik gaz ve kalıntı üretimi gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bu yöntem, kuru atıkların bertaraf edilmesinde yetersiz kalmakta ve atık hacmini azaltmada etkisiz olmaktadır (Xu vd., 2020). Ayrıca, kemoterapi ve radyoaktif atıkların dezenfeksiyonuna uygun değildir (Al-Khatib & Sato, 2009). Kimyasal

dezenfeksiyon sürecinin etkinliği, kullanılan kimyasalın türüne, miktarına ve temas süresine bağlıdır (Özdemir, 2019). Yanlış uygulamalar çevresel ve sağlık risklerine neden olabilmektedir. Bu nedenle eğitimli personel ve uygun ekipman gerekmektedir (Akcan, 2012). Tıbbi atıkların yalnızca %5'i bu yöntemle bertaraf edilmekte olup, işlemin doğru şekilde yürütülmesi büyük önem arz etmektedir (Diaz vd., 2005). Kimyasal dezenfeksiyon işlemi, geri dönüştürülemeyen sıvı tıbbi atıkların bertarafında etkili olsa da, kalıntıların uygun şekilde yönetilmesi çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir (Baylan, 2009). Şekil 1.6'da sıvı tıbbi atıkların bertarafında kullanılan kimyasal dezenfeksiyon cihazı yer almaktadır. Bu sistem, bulaşıcı özellik taşıyan sıvı atıkların kimyasal işlemlerle zararsız hale getirilmesini amaçlamaktadır.



Şekil 1.6. Sıvı Tıbbi Atık Kimyasal Dezenfeksiyon Makinası (İnternet Sitesi 4)

1.5.3. Mikrodalga Sterilizasyonu

Mikrodalga sterilizasyonu, 2450 MHz frekans ve 12,24 cm dalga boyundaki mikrodalga ışınlarının kullanımıyla tıbbi atıkların bertaraf edilmesini sağlayan bir yöntemdir (Kurucu, 2011). Atıklar, öncelikle küçük parçalara ayrılıp nemlendirilmekte, mikrodalga fırında 20-30 dakika bekletilmekte ve bu süreçte mikroorganizmalar yok edilmektedir (Akkaya, 2015; Akkurt, 2022). Yakma ve depolamaya kıyasla daha çevre dostu bir yöntem olup, dioksin ve furan gibi toksik gaz salınımını önleme açısından da

avantaj sağlamaktadır (Windfeld & Brooks, 2015). Mikrodalga teknolojisi, düşük enerji tüketimi ve tam otomatik çalışma prensibi sayesinde sürdürülebilirlik açısından önemli bir yere sahiptir (Xu vd., 2020). Ancak, yapım ve işletme maliyetleri yüksek olup, özellikle kan ve tehlikeli kimyasalların bertarafı için uygun değildir (Ghasemi & Yusuff, 2016). Mikrodalga sterilizasyonu genellikle kesici-delici atıklar, kültürler, ameliyat atıkları ve biyolojik kontaminasyon riski taşıyan malzemeler için tercih edilmektedir (Lee vd., 2004). Ancak, radyoaktif, kimyasal ve kemoterapi atıkları için uygun değildir (Xu vd., 2020). Gelişmiş ülkelerde yaygın kullanılan bu yöntem, yüksek yatırım ve işletme maliyetleri nedeniyle gelişmekte olan ülkelerde sınırlı uygulanmaktadır (Akcan, 2012). Mikrodalga sterilizasyonu sonrası atıklar, evsel atık sınıfına girerek düzenli depolama alanlarına yönlendirilebilmekte ve döngüsel ekonomiye katkı sağlayabilmektedir (Kenny & Priyadarshini, 2021). Yüksek verimlilik ve düşük çevresel etki avantajları bulunan yöntem, emisyon üretmediği için ek kontrol sistemleri gerektirmemektedir (Uysal, 2004). Ancak, sterilizasyon kapasitesinin sınırlı olması ve yalnızca belirli atık türleri için uygulanabilir olması yöntemin dezavantajları arasında yer almaktadır (Lee vd., 2004). Sonuç olarak, mikrodalga sterilizasyonu, sürdürülebilir bir tıbbi atık yönetimi stratejisi sunarken, yüksek maliyetler ve sınırlı kullanım alanı gibi faktörler nedeniyle belirli koşullar altında uygulanabilmektedir (Su vd., 2021).

1.5.4. Otoklavlama

Otoklavlama, tıbbi atıkların yüksek sıcaklık ve basınç altında su buharı ile sterilize edilerek bertaraf edilmesini sağlayan bir yöntemdir. Bulaşıcı atıklar, kesici-delici aletler ve bazı laboratuvar atıkları için etkili bir dezenfeksiyon yöntemi olup, mikroorganizmaların %99,9'unun yok edilmesini sağlamaktadır (Bahçıvan, 2017). Bu yöntem, çevre dostu ve güvenli olmasına rağmen, ekonomik fizibilite sorunları nedeniyle yaygın olarak kullanılamamaktadır (Ferdowsi vd., 2013). Buhar bazlı sterilizasyon yöntemi, toksik gaz ve sıvı üretimine yol açabilmesine rağmen yakma ve depolama gibi yöntemlere kıyasla çevreye daha az zarar vermektedir (Su vd., 2021). Otoklavlama, özellikle geri dönüştürülebilir atıklar için tercih edilmekte, ancak patolojik, radyoaktif ve kemoterapi atıkları için uygun bir yöntem olarak değerlendirilmemektedir (Lee vd., 2004). İran'da yapılan bir çalışmada, tıbbi atıkların yalnızca %6,9'unun otoklav yöntemiyle bertaraf edildiği belirlenmiştir (Sartaj & Arabgol, 2015). Otoklav cihazları,

basınç ayar supabı, termostat ve manometre gibi bileşenlerden oluşur ve belirli sıcaklık (121-137°C) ve basınç (2-3 bar) seviyelerinde çalışmaktadır (Ege, 2009). Otoklavlama sürecinde sterilizasyonun etkinliği kimyasal ve biyolojik indikatörlerle test edilmekte; sonuç olumsuz çıkarsa işlem tekrarlanmaktadır (Bahçıvan, 2017). Bertaraf edilen atıkların düzenli depolama sahalarına yönlendirilmesi, çevresel sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir (Klangsin & Harding, 1998). Sterilizasyon sonrası ortaya çıkan kül, çimento üretimi gibi süreçlerde kullanılabilmekte ve bu sayede döngüsel ekonomiye katkı sağlanabilmektedir (Tsakona vd., 2007). Ancak, yüksek maliyetler ve belirli atık türleri için sınırlı uygulanabilirlik gibi faktörler, yöntemin kullanım alanını daraltmaktadır (Ciplak & Barton, 2012). Sonuç olarak, otoklavlama çevre dostu ve etkili bir tıbbi atık bertaraf yöntemi olmakla birlikte, ekonomik faktörler ve kullanım sınırlamaları nedeniyle her koşulda uygulanabilir değildir (Windfeld & Brooks, 2015).

1.5.5. Düzenli Depolama

Düzenli depolama, evsel ve tıbbi katı atıkların kontrollü bir şekilde bertaraf edilmesini sağlayan yöntemlerden biridir. İngiltere, Almanya ve İspanya gibi ülkelerde atık bertarafının bir kısmı düzenli depolama sahalarında gerçekleştirilmektedir (Tutar, 2004). Bu yöntem, düşük maliyetli olması nedeniyle küresel ölçekte yaygın bir uygulamadır (Kenny & Priyadarshini, 2021). Ancak, su, hava ve toprak kirliliği, kötü koku, gaz patlamaları ve hastalık yapıcı etkenlerin yayılması gibi çevresel riskler taşımaktadır (WHO, 1999). Özellikle halojenli çözücüler ve kimyasal bileşenler, düzenli depolama sahalarının yapısını bozarak çevreye ciddi zarar verebilmektedir (Tunçsiper, 1997). Tıbbi atıkların düzenli depolama sahalarına alınması, belirli teknik standartlara uyulmasını gerektirmektedir. Örneğin düzenli depolama sahaları, yer altı su kaynakları, taşkın bölgeleri ve yerleşim yerlerine yakın alanlara kurulmamalı ve sahalar en az 1000 metre mesafede olmalıdır (Özdemir, 2019). Atıkların düzenli depolanması sırasında sızıntı sularının kontrolü, çevre kirliliğini önlemek adına büyük önem taşımaktadır. Yakma ve düzenli depolama, tıbbi atık yönetiminde en yaygın yöntemler olup, düzenli depolama daha ekonomik olsa da sürdürülebilir bir çözüm sunmamaktadır (Hong vd., 2018). Çöp gazı yönetimi ve sızıntı suyu arıtma gibi önlemler alınmazsa, düzenli depolama sahaları uzun vadede ciddi çevresel ve sağlık sorunlarına yol açabilmektedir (Su vd., 2021). Alternatif olarak, tehlikeli tıbbi atıkların kapsülleme yöntemiyle bertaraf

edilmesi önerilmektedir; bu yöntemde atıklar çimento veya plastik malzemelerle sabitlenerek güvenli hale getirilmektedir (Diaz vd., 2005). Sonuç olarak, düzenli depolama düşük maliyeti nedeniyle hala bazı ülkelerde kullanılan bir yöntem olsa da, çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik açısından sınırlamaları nedeniyle uzun vadede tercih edilmemektedir (Ghasemi & Yusuff, 2016).

1.5.6. Diğer Bazı İmha Yöntemleri

1.5.6.1. Plazma Piroliz Yöntemi

Oksijen yokluğunda organik atıkları yüksek sıcaklıkta parçalayarak yanıcı gazlara ve sıvı yakıtlara dönüştürmek için kullanılan yenilikçi bir teknolojidir. Bu yöntem, çevre dostu olması, yüksek enerji geri kazanımı sağlaması ve toksik emisyonları azaltmasıyla öne çıkmaktadır (Klinghoffer & Castaldi, 2013). Ancak, yüksek sermaye yatırımı ve işletme maliyetleri nedeniyle yaygın kullanım alanı sınırlıdır (Inaba & Iwao, 2000).

1.5.6.2. Katılaştırma/Stabilizasyon Yöntemi

Atık külü ile çimento gibi bağlayıcı maddelerin karıştırılarak stabil bir form elde edilmesini içerir ve Avrupa Tehlikeli Atık Kataloğunda yer alan bertaraf yöntemlerinden biridir (Sobiecka vd., 2014). Rotoklav ve hidroklav yöntemleri, otoklav teknolojisinin modern versiyonları olarak geliştirilmiş olup, sterilizasyon sürecinde hacim azaltımı sağlarken güvenli bertaraf imkânı sunmaktadır (Esmen, 2016; Ayan, 2019).

1.5.6.3. Kuru Isı Dezenfeksiyonu

Sıcak hava kullanarak enfeksiyöz ve kesici-delici atıkları sterilize etmeyi amaçlayan bir yöntem olup, yüksek sıcaklık ve uzun işlem süresi gerektirmesi nedeniyle enerji maliyetlerini artırmaktadır (WHO, 1999). Enkapsülasyon yöntemi, kesici-delici ve kimyasal atıkların çimento veya plastik köpükle sabitlenerek güvenli hale getirilmesini sağlayan ve düşük maliyetli olması nedeniyle küçük ölçekli sağlık kuruluşları için uygun bir yöntemdir (Elevli, 2018).

1.5.6.4. İnertizasyon

Farmasötik atıkların çimento ve kireç ile karıştırılarak toksik bileşenlerin suya karışmasını önlemeye yönelik bir yöntemdir. Ekipman gereksinimi düşük ve maliyeti görece uygun olmasına rağmen enfeksiyöz atıklar için uygun değildir (Bahçıvan, 2017).

Bu yöntemler, tıbbi atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesini sağlayarak çevreye ve insan sağlığına zararı minimize etmeyi amaçlamaktadır. Ancak, her yöntemin uygulanabilirliği, atık türü, maliyet ve çevresel etkiler göz önüne alınarak belirlenmelidir.

1.6. TIBBİ ATIK LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taramaları, ilgili alandaki mevcut bilgi birikimini anlamayı, karşılaşılan sorunların ne olduğunu ve bu sorunlara üretilen çözümlerin değerlendirilmesini göstermesi açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada yapılan literatür taramasında tıbbi atıkların etkileri, yönetim stratejileri, güncel yaklaşımlar, ülkelere, illere ve farklı disiplinlere göre yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu kapsamda, literatür taraması çalışmanın teorik altyapısını oluşturmada ve bilimsel bir bakış açısı sunmada kritik bir adım olmuştur. Ülkelere göre yapılan bazı tıbbi atık çalışma örnekleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1.1. Ülkeler Açısından Tıbbi Atık Literatür Örnekleri

Yazar	Yıl	Ülke		Yazar	Yıl	Ülke
Campbell	1989	Kanada		Maina vd.,	2017	Kenya
Miyazaki & Une	2005	Japonya		Mmerekı vd.,	2017	Botswana
Abdulla vd.,	2008	Ürdün		Alemayehu vd.,	2018	Etiyopya
Shinee vd.,	2008	Moğolistan		N'zi vd.,	2018	Fildişi sahili
Tudor vd.,	2008	İngiltere		FC vd.,	2018	Güney Afrika
Abor vd.,	2008	Güney Afrika		Gunawardana	2018	Sri Lanka
Marinković.,	2008	Hırvatistan		Aini vd.,	2019	Endonezya
Yong vd.,	2009	Çin		Aung vd.,	2019	Myanmar
Ferreira & Teixeira	2009	Portekiz		Adu vd.,	2020	Gana
El-Salam	2010	Mısır		Shampe vd.,	2020	Libya
Grakios vd.,	2010	Yunanistan		Etim vd.,	2021	Nijerya

Tablo 1.1. (Devamı)

Insa vd.,	2010	İspanya		Alomari vd.,	2021	Arabistan
Zimmermann & Szyca	2011	Polonya		Al-Omran vd.,	2021	Bahreyn
Ferdowsi vd.	2013	İran		Al-Sohpany	2021	Yemen
Moreira & Günther	2013	Brezilya		Al Naemi vd.,	2021	Katar
Giacchetta & Barbara	2013	İtalya		Oey	2021	Amerika
Alhumoud vd.,	2014	Kuveyt		Hossain vd.,	2021	Bangladeş
Hansen vd.,	2014	Almanya		Abdulmujeed vd.	2022	Uganda
Kumar vd.,	2015	Pakistan		Yoon vd.,	2022	Kore
Al-Khatib vd.,	2016	Filistin		Filho vd.,	2023	Ukrayna
Nikolic vd.,	2016	Sırbistan		Okonkwo vd.,	2025	Çin ve Nijerya
Rajan vd.,	2017	Hindistan		Islam vd.,	2025	Bangladeş

Aynı şekilde çalışma yapılan alanlara göre sınıflandırma yapıldığında tıbbi atığın birçok açıdan incelendiği görülmektedir. Yapılan bazı örnek çalışmalar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1.2. Çalışma Alanlarına Göre Literatür Örnekleri

Yazar	Yıl	Konu		Yazar	Yıl	Konu
Howart	2002	Önleme ve Azaltma		Xiao	2018	TAY teknolojileri seçimi
Denbos & Izadpanah	2002	Kapasite Geliştirme		Eren & Tuzkaya	2019	İSG
Miyazaki vd.,	2007	Evde üretilen tıbbi atıklar		Büyüközkan vd.,	2019	Taşıyıcı Seçimi
Diaz vd.,	2008	Tıbbi Atık Özellikleri		Cerrahoğlu & Kılıçaslan	2019	Sağlık harcamaları ve TA
Tufail & Khalid	2008	Metal Kirliliği		Kargar vd.,	2020	TAY Tedarik Zinciri
Tudor vd.,	2008	Kaynak Verimliliği		Adu vd.,	2020	Atık sınıflandırma
Shi	2009	TAY'de Tersine Lojistik		Mohamed vd.,	2021	Araç Rotalama
Yang vd.,	2009	Sürdürülebilirlik		Zhao vd.,	2021	Acil imha senaryoları

Tablo 1.1. (Devamı)

Insa vd.,	2010	Mevzuat Çalışma		Manupati vd.,	2021	İmha Yöntemi Seçimi
Komilis vd.,	2012	TA Üretim Oranları		Valizadeh vd.,	2021	Güvenli Toplama ve İmha
Kaptanoğlu vd.,	2014	Deprem sonrası TAY		Stanojević vd.,	2021	İmha Tesis Yer Seçimi
Pepin vd.,	2014	Enjekte atık riskleri		Perumal vd.,	2021	TAY'de Engeller
Bujak	2015	Enerji Elde Etme		Andeobu vd.,	2022	Çevresel Etki
Alwabr vd.,	2016	Atık Bileşimleri		Fadaei	2023	TAY sistemlerinin karşılaştırılması
Mantzaras & Voudrias	2017	Optimizasyon		Filho vd.,	2023	Savaş Sonrası TAY
Özel vd.,	2018	TAY ve Maliyet		Olabi vd.,	2024	COVID 19 ve TAY
Capoor & Parida	2021	Covid 19		Lin vd.,	2024	Rotalama
Hantoko vd.,	2021	TAY sistem iyileştirme		Mohtashami vd.,	2025	TAY yaklaşımları

Tıbbi atık alanında Türkiye’de yapılan çalışmalar incelendiğinde illere göre sınıflandırma yapılabileceği belirlenmiştir. Örneğin illere göre yapılan bazı tıbbi atık çalışmaları tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 1.3. Türkiye’de Yapılan Tıbbi Atık Çalışma Örnekleri

Yazar	Yıl	Şehir	Yazar	Yıl	Şehir
Hasçuhadar vd.,	2007	Ankara	Cansaran	2017	Amasya
Alagöz & Kocasoy	2008	İstanbul	Tunagür vd.,	2018	Bolu
Üçüncü & Yazıcı	2009	Trabzon	Koçer & Gözegir	2018	Elazığ
Uysal & Arslankaya	2011	Tekirdağ	Konya vd.,	2023	Afyonkarahisar
Yazgan vd.,	2014	Manisa	Şahin vd.,	2024	İzmir

Yapılan sınıflandırmalar dışında tıbbi atıklarla ilgili olarak üniversite hastanelerinde (Tunagür vd., 2018; Durduran vd., 2020) devlet hastanelerinde (Yazgan vd., 2014; Ulutaşdemir vd., 2020), dış tedavi merkezlerinde (Köseoğlu vd., 2019; Kaygusuz vd., 2020), doğum hastanelerinde (Özel vd., 2018), yapılan çalışmalara rastlamak da mümkündür.

Yapılan literatür taraması tıbbi atık yönetim sürecinin farklı disiplinlerde ilgi çektiğini ve geniş bir çalışma alanına sahip olduğunu göstermektedir. Sürecin ulusal ve uluslararası yazında farklı perspektiflerden ele alınması bu konunun önemini ortaya koymakta ve konuya olan ilgiyi artırmaktadır. Bu kapsamda tıbbi atık yönetiminin çevresel ve teknolojik yeni perspektiflerle ele alınması kritik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

BLOKZİNCİR

2.1. BLOKZİNCİR İLE İLGİLİ GENEL KAVRAMLAR

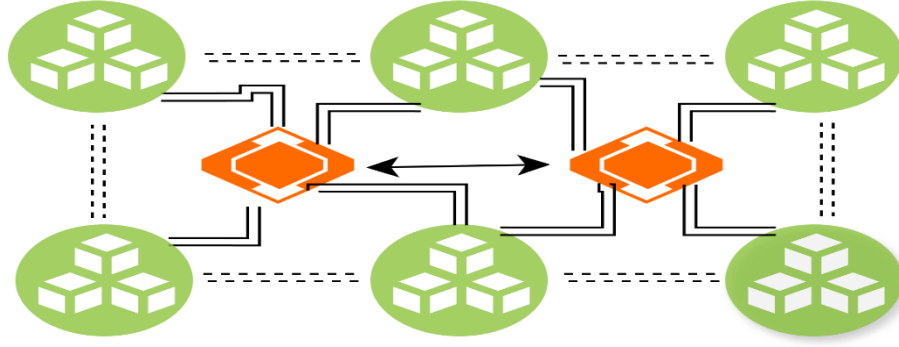
Blokszincir sistemi, birden fazla bilgisayarın genel bir ağ kullanılarak birbirine bağlanması esasına dayalı olarak çalışan bir sistemdir. Zincirler ağdaki blokları birbirine bağlama işlevini görürler. Ağa dahil olan her bir bilgisayarın kendi veri kümesine “blok” ismi verilir (Verma & Garg, 2010). Bir diğer tanımlamaya göre ise blok, blokszincir sisteminde işlemlerin yürütüldüğü ve tüm işlemlerinin kayıt altına alındığı yapıdır ve sistemin ilk bloğuna Genesis Bloğu ismi verilir. Kısacası blokszincir ağında yer alan düğümlerin her birine blok adı verilir (Wang vd., 2020) ve her blok merkle kökü aracılığı ile tüm işlemlerin tarih ve doğrulama bilgilerini (Nakamoto, 2008) içermektedir.

Bir blok iki bölümden meydana gelmektedir. Bunlar blok başlığı ve işlem bölümleridir (Somani & Triverdi, 2019). Blok başlığı kendinden önceki bloğun bilgilerini, merkle ağacını, kayıt tarihini, blok sıralarını ve zorluk derecelerini içermektedir (Zhang vd., 2020). Şekil 2.1’de blok yapısı gösterilmiştir.

BLOK BAŞLIĞI					
BLOK VERSİYONU	MERKLE AĞAÇ KÖKÜ ÖZETİ	ZAMAN DAMGASI	NBİTS	NONCE	ÖNCEKİ BLOKUN ÖZET DEĞER
İŞLEM SAYACI					
İŞLEM 1	İŞLEM 2	İŞLEM 3	İŞLEM 4	İŞLEM 5	İŞLEM XX

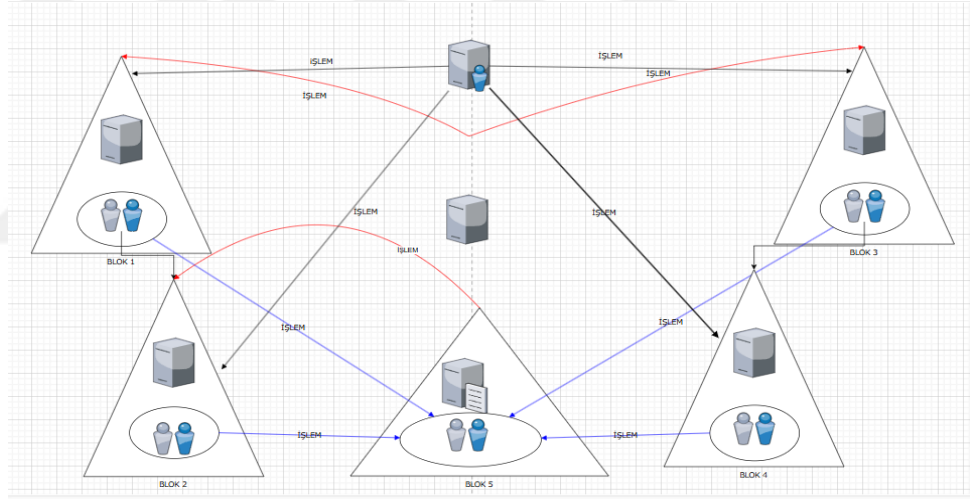
Şekil 2.1. Blok Yapısı (Zheng vd., 2017)

Blokszincir ağındaki tüm üyeler anonimdir ve bunlar düğüm/eş olarak adlandırılmaktadır (Ribeiro & Nakamura; 2019). Bir diğer tanımlamaya göre düğüm ağdaki her bir üyeye verilen isimdir (Tasca & Tessone, 2020). 6 düğümden oluşan örnek bir zincir yapısı Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Blokzincir Düğüm Örnek Görseli

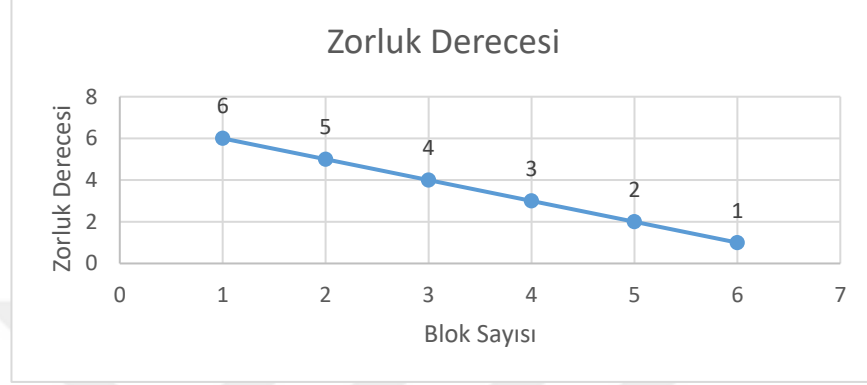
Blokzincir sisteminde yer alan tarafların yaptıkları transferlere işlem (Nawawi vd., 2019) denilir. Bloklar arasında yapılan işlemlere ait örnek bir görsel Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Blokzincir İşlem Örnek Görseli

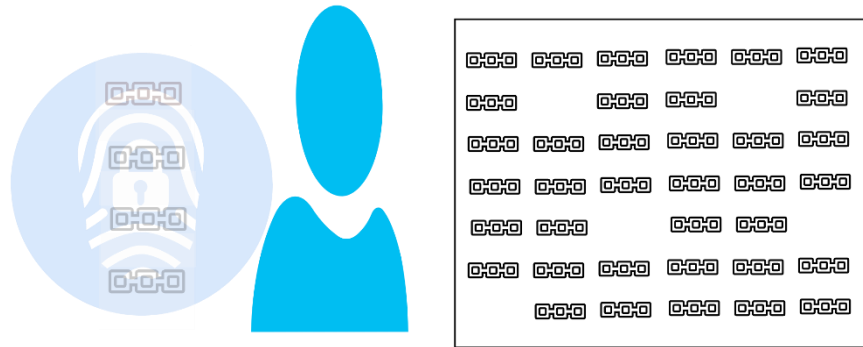
Sisteme yeni bir bloğun eklenmesi/bulunması işleminin ne kadar zor olacağını belirleyen parametreye zorluk derecesi denilir. Bu kavram bitcoin gibi zincirlerde önemli bir parametredir. Zorluk derecesinin amacı blokların belirli bir zaman diliminde oluşturulmasını sağlayarak (Örneğin 48 saate 1) çok hızlı veya çok yavaş blok üretimini engellemektir. Basit bir örnekle zorluk derecesi şu şekilde ifade edilebilir. Girmeniz gereken bir sistemde alfabetik karakterden oluşan (örneğin, abcd) 4 haneli bir zorluk derecesine sahip olan şifrenin deneme yanılma yoluyla bulunma süresi ile daha farklı kombinasyondan oluşan (örneğin, axfg) bir şifreyi deneme yanılma yoluyla bulma süresi çok farklı olacaktır. Zorluk derecesi, 6 karakterden oluşan bir sistemle oluşturulduğunda

ise (örneğin, 1fzcdy) bu süre çok daha uzun olmaktadır. Örnekten anlaşılacağı üzere, zorluk derecesi yüksek olursa blok üretimi yavaşlamakta, zorluk derecesi düşük olduğunda ise blok üretimi artmaktadır. Zorluk derecesi ile blok üretimi arasındaki orantı şekil 2.4’de gösterilmiştir.



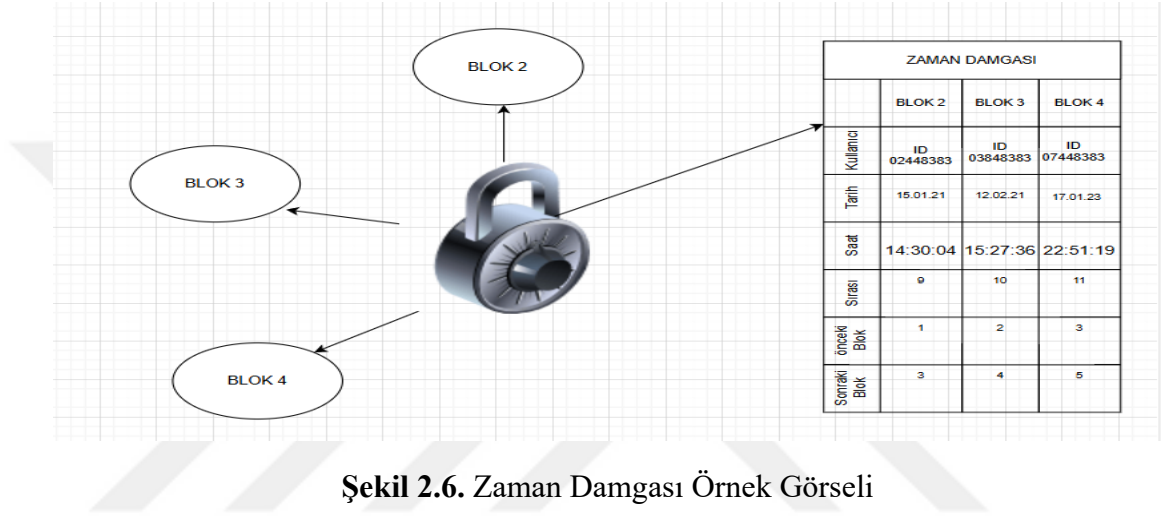
Şekil 2.4. Blokzincir Zorluk Derecesi Örnek Görseli

Kripto para üreten veya bu cihazları yöneten kişilere madenci ismi verilir (Güven & Şahinöz, 2018). Madenciler arasında blok bulma ve geliştirme noktasında büyük rekabet söz konusudur (Chen vd., 2019). Bunun temel nedeni madencinin kazdığı veya oluşturduğu her bir blok için blok ödülü kazanması ve blok içerisinde yapılan işlemlerden elde edilen gelirlerin bir kısmının da madenciye verilmesidir. Şekil 2.5’de, blokzincir ağına veri ekleyen bir madencinin işlemi temsil edilmektedir. Madenci, karmaşık matematiksel işlemler yoluyla veri madeninden blokları doğrulamakta ve sisteme eklemektedir. Her doğrulanan blok, zincire güvenli biçimde bağlanarak dağıtık dijital deftere kaydedilmektedir.

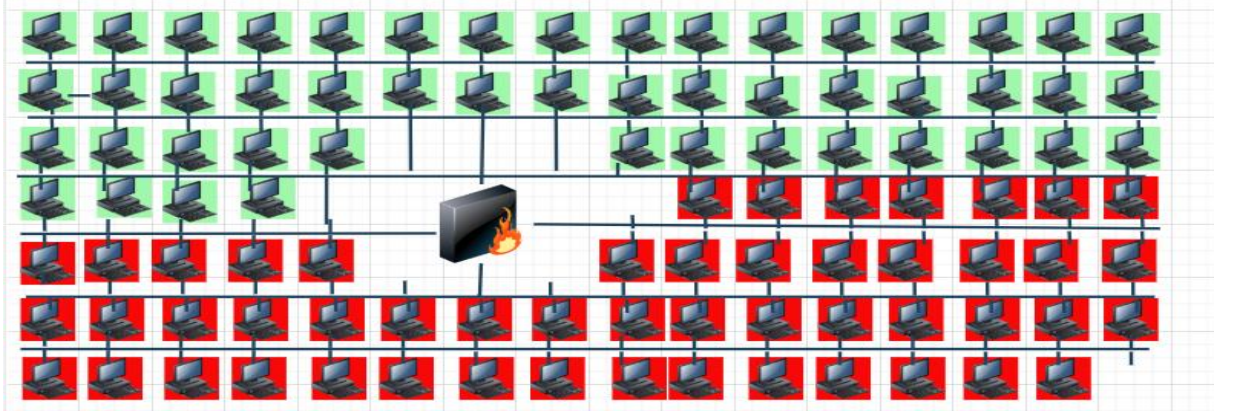


Şekil 2.5. Blokzincir Madenci Örnek Görseli

Bloğun oluşturulduğu zaman, tarih, saat vb. bilgileri içeren dijital imzaya ise zaman damgası ismi verilir (Estevam vd., 2021; Verma & Garg, 2010). Zaman damgası her bir işlem için kronolojik işlem sıralarını kayıt altına alır. Zincirde yer alan herhangi bir blokta değişiklik yapmak için (%51 saldırısı) o bloktan sonra eklenen tüm blokların değiştirilmesi gereklidir. Bu aşamada zaman damgası algoritması verilerin değişimine engel olur (Mosakheil, 2018). Şekil 2.6 zaman damgasının bloklar ve kullanıcılar ile ilgili olarak yaptığı tüm işlemleri (sıra, tarih, saat vb.) kayıt altına alındığını göstermektedir.

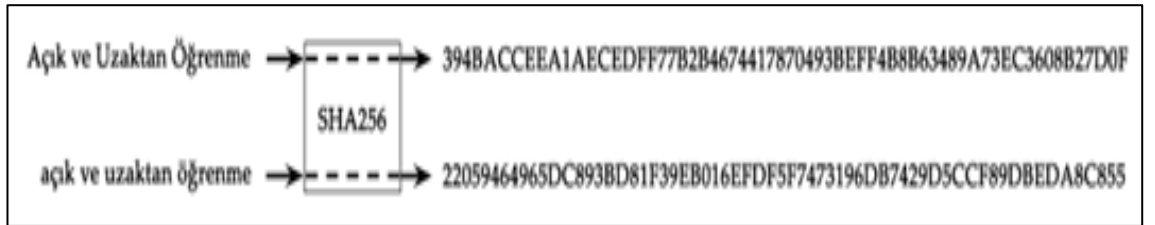


%51 saldırısı, sistemde değişiklik yapılabilmesi için ele geçirilmesi gereken orandır. Yani değişiklik yapılabilmesi için sistemde en az %51 bloğun ele geçirilmesi gerekmektedir (Zhang vd., 2019). Bu ihtimal günümüz teknolojik imkanları ile zor olarak değerlendiriliyor olmasına rağmen (Li vd., 2020) geçmiş bazı yıllarda bitcoin ve alt türlerine %51 saldırısının yapıldığına dair örnekler bulunmaktadır. Şekil 2.7 de görselleştirildiği üzere örneğin 100 bloğun yer aldığı bir sistemde 51 bilgisayarın ele geçirilmesi durumunda sistemde değişiklik mümkün hale gelebilmektedir.



Şekil 2.7. %51 Saldırısı Örnek Görseli

Blokzincir yapısında her blok, zaman damgası, blok numarası ve kendinden önceki bloğa ait kod bilgilerini içeren özel bir yapı barındırır. Bu yapıya **hash kodu** adı verilmektedir (Oktian et al., 2020). Öte yandan, bir metin içeriğinin sabit uzunlukta, benzersiz ve orijinalinden tamamen farklı bir diziye dönüştürülmesini sağlayan matematiksel işleme ise **hash fonksiyonu** denilmektedir (Durbilmez, 2014). Şekil 2.8’de bir metnin hash fonksiyonu aracılığıyla nasıl dönüştürüldüğüne ilişkin temsili bir örnek sunulmaktadır.

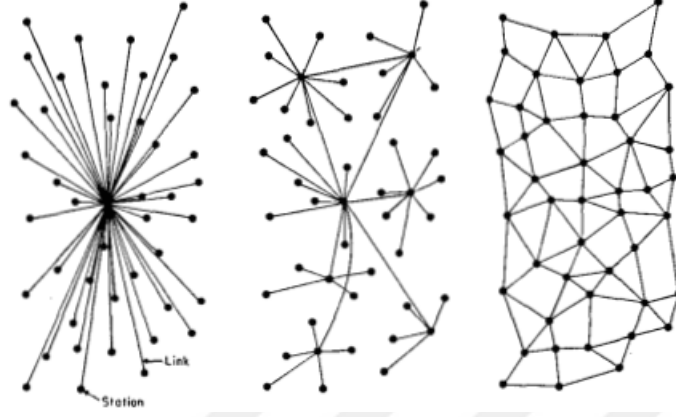


Şekil 2.8. Hash Fonksiyonu Örnek Gösterimi (Yıldırım, 2018)

Blokzincir tek bir zincirden meydana gelen ve sisteme dahil olan her yeni blokun kendinden önceki bloğun bilgilerini de içererek kartopu gibi büyüyen bir zincir sistemidir. Blokların ağ üzerinde güvenlik noktasında büyük önemi vardır. Ağa güvenilir olmayan sistemlerin kaydolmasını ve aynı zamanda güvenilir olmayan işlemlerin devam etmesini engellerler.

Blokzincirde güvenlik merkezi bir otorite tarafından değil üyelerin karşılıklı güvenine dayalı olan dağıtık sistemlerle sağlanır. Blokzincirde yer alan kullanıcıların herhangi bir konuda uzlaşamama durumunda sistemin işleyişinin devam edebilmesi için

üyelerin toplu olarak karar vermelerini sağlayan mekanizmaya ise mutabakat algoritması ismi verilir (Tosh vd., 2018).



Şekil 2.9. Merkezi, Merkezi Olmayan ve Dağıtık Sistem Şeması (Baran, 1964)

İlk olarak Szabo tarafından ortaya atılan akıllı sözleşmeler (Szabo, 1994) blokzincir ağına önceden tanımlanmış, değiştirilemez olan (Kölvart vd., 2016) ve herhangi bir müdahale olmadan devreye girerek gerekli kural, taahhüt ve ceza sistemlerini yöneten değiştirilemez dosya kodlarıdır (Ganne, 2018; Christidis & Devetsikiotis, 2016). Veri toplama, saklama ve diğer sözleşmelerle etkileşim içinde olabilecek şekilde tasarlanan (Zhu & Zhou, 2016) akıllı sözleşmeler; kullanıcılara güvenlik, hız, süresiz yedekleme ve doğruluk gibi avantajlar sunar (Buterin, 2013). Akıllı sözleşmeler “eğer/ise” şartlarına göre reaksiyon gösteren yazılımlardır ve zincirde yer alan tüm üyeler tarafından kullanılır (Berryhill vd., 2018).

Akıllı sözleşmelere para / jeton ile çalışan otomatlar veya para çekme makinaları örnek olarak verilebilir. Akıllı sözleşme, sadece tanımlanan ve belirtilen işlemleri gerçekleştirmek üzere oluşturulmuştur ve tanımlanan kurallar dışında çalışmaz. Bu tarz otonom olarak çalışan sistemlere veya sözleşmelere herhangi bir şekilde dışardan müdahale edilmesi veya ek işlem yapılması mümkün değildir. Sistemde değişiklik yapılması imkansızdır yani dış etkiye karşı korunmuştur.

Veri tabanı, daha sonra tekrar kullanılmak veya paylaşılmak üzere verilerin saklandığı yer olarak tanımlanabilir. Günümüz dünyasında veriler büyük çoğunlukla tek bir merkezi veri tabanında toplanmakta ve paylaşım bu merkezden yapılmaktadır. Blokzincir teknolojisinin aksine merkezi veri tabanlarında veri tek bir noktada toplandığı

için herhangi bir problem yaşanması durumunda veri kayıpları yaşanabilmektedir. Bu durum merkezi veri tabanlarının popülerliğini azaltmaktadır. Gelişen blokzincir teknolojisi ise veri kayıplarının önüne geçebilmek adına dağıtık veri tabanını kullanmaktadır. Yani her bir veri tüm kullanıcıların veritabanında kayıtlı şekilde tutulmaktadır.

Dağıtık defter teknolojisi, diğer adıyla dağıtık veri tabanı verilerin ağdaki tüm üyeler tarafından kayıt altına alındığı, kullanılabilirdiği, paylaşılabildiği veri tabanı türüdür. Bu veri tabanı türünde veri değişikliği toplam üye sayısının yarısından fazlasının kabulü (Ferdous vd., 2021) ile gerçekleşmektedir.

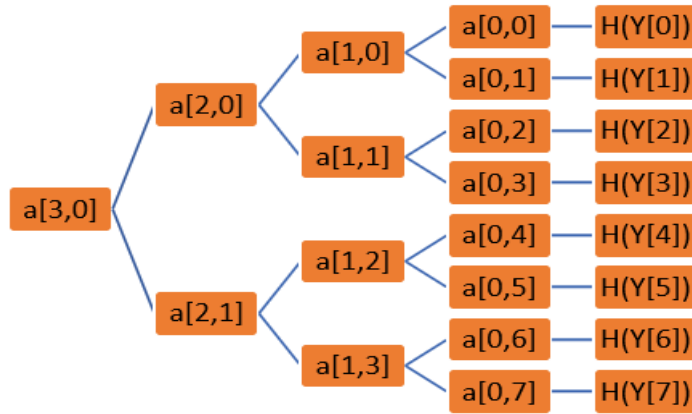
Dijital kimlik/cüzdan, ağda yer alan kullanıcıların bireysel bilgilerini içeren, gösterim alanlarını, içeriğini, gösterim sürelerini kullanıcıların belirlediği ve ayrıca kripto paraların depolandığı alanlardır (Mainelli, 2017). Kullanıcıların dijital kimlikleri ile herhangi bir merkezi otoriteye ihtiyaç duymadan karşılıklı iletişim sağladıkları ağa ise p2p (Peer to Peer) ağ ismi verilir (Hasan vd., 2019).

0x3F57bAB29e9DfE48c5c7b2k5E1B3F4c7E6m2F1C8D (Ethereum) bc1qxy2kgdygjrqtzq2n0yrf2493p83kkfjhx0wlh (Bitcoin)
--

Şekil 2.10. Dijital Kimlik Temsili Gösterimler

Nonce yeni bir bloğun oluşturulmasını ve doğrulanmasını sağlayan kavram demektir (Dujak & Sajter, 2019).

Özet listeleri ve özet zincirlerinin genelleştirilmiş haline ise Merkle Ağacı denilir. Merkle ağacı, veri kümelerinin güvenli ve verimli bir şekilde doğrulanmasında kullanılan kriptografik veri yapısı olarak bilinmektedir. Bu kavram, hash fonksiyonları vasıtasıyla alt düğümlerden üst düğümlere doğru birleştirme yapmakta ve temel kök (root) hashine ulaşmaya çalışmaktadır. Bu kök hash ise sistemdeki tüm verilerin bütünlüğünü göstermektedir. 8 yapraklı bir merkle ağacı Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Merkle Ağacı (Becker, 2008)

En sağ sütunda yer alan $H(Y[0])$, $H(Y[1])$, ..., $H(Y[7])$ kutucukları, her bir veri parçasının (örneğin bir işlem kaydının) **hash (özet) değerini** temsil etmektedir. Bu özet değerler, ikili olarak birleştirilip bir üst düğüme aktarılır. Örneğin $a[0,0]$, $H(Y[0])$ ve $H(Y[1])$ 'in birleştirilmesiyle oluşur. Bu işlem yukarıya doğru tekrarlanır ve her seviyede birleştirilmiş hash değerleri, üst seviyedeki düğümlerde özetlenir. En tepede yer alan $a[3,0]$ kutucuğu ise **tüm ağacın kök hash değerini** temsil eder. Bu değer, ağacın tamamını temsil ettiği için sistemdeki verilerin değişmediğini doğrulamakta kullanılır.

Merkle ağacı ağdaki veri bütünlüğünü sağlamaktadır. Ağda yer alan veri değişikliği merkle kökünü değiştireceği için verilerin değiştirilip değiştirilmediğinin doğrulanmasında merkle ağacı kullanılır. Bu ağacın en temel mantığı, güvenli ve verimli bir doğrulama sağlamasıdır.

2.2. BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİ

Blokszincir, güvenliğini kendisini oluşturan blokların gücünden alan (Atabaş, 2018), herhangi bir merkezi otoriteye ihtiyaç duymadan (Kanakam vd., 2019) işlemlerin/bilgilerin halka açık ve şeffaf bir şekilde depolandığı denetlenebilir bir teknoloji kayıt sistemidir (Koh vd., 2020). Bu sisteme eklenen bir verinin değiştirilmesi veya geri alınması mümkün olmamaktadır, nitekim gönderim işlemi tamamlanan bir kripto paranın geri alınması artık mümkün değildir (Wang & Li, 2021).

Son yıllarda bitcoin kavramı ile ismini duyurmaya başlayan blokszincir henüz emekleme aşamasında olan yeni bir teknolojidir. Bu teknolojinin insanlık açısından

internetten sonraki en önemli yenilik olacağı (Wright & De Filippi, 2015) ve ileriki yıllarda dünya ekonomisinde en büyük değişimi yaratacağı (Tapscott & Tapscott, 2017) düşünülmektedir.

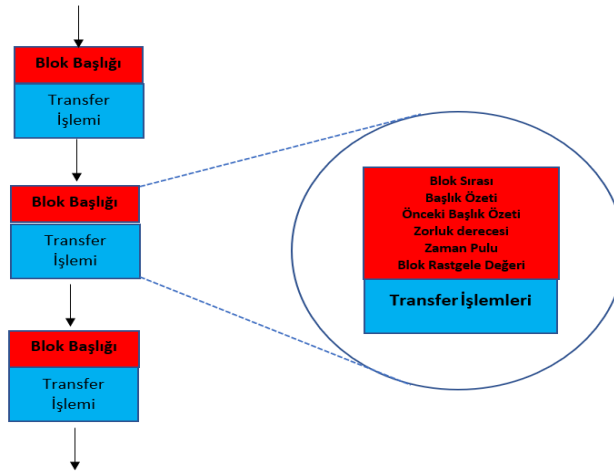
Literatürde blokzincirin birçok farklı tanımı yapılmıştır. Özü itibariyle yeni olan bu kavrama ait bazı tanımlamalara tablo 2.1’de yer verilmiştir;

Tablo 2.1. Blokzincir Örnek Tanımları

Yazar	Tanım
(Narayanan vd., 2016).	Blokzincir sürekli büyüyen bir veri blokları zinciridir.
(Yıldırım, 2018).	Blokzincir bir ağ üzerindeki üyelerin karşılıklı anlaşma esasına dayalı olarak çalışan, değişik niteliklerde değer taşıyan varlıkların 3.kişilere ihtiyaç duymadan değişimine olanak tanıyan dağıtık bir veri tabanıdır.
(Casino vd., 2019).	Blokzincir, üyelerden onay almış blokların artık değişmediği ve sistemin düzenli ve sıralı bir şekilde yürütüldüğü dağıtık bir veri tabanıdır.
(Zheng vd., 2017).	Blokzincir işlemlerin merkezi bir otorite olmadan yürütülmesine izin verilen ve değiştirilemez kayıt defterlerine sahip olan teknolojidir.
(Crosby vd., 2016)	Ağda yer alan tüm üyeler arasında istenen işlemlerin yürütüldüğü, bilgi paylaşımının yapıldığı, yeni bir işlemin tüm zincirin onayı ile yürütüldüğü dağıtık veri tabanına sahip teknolojidir.

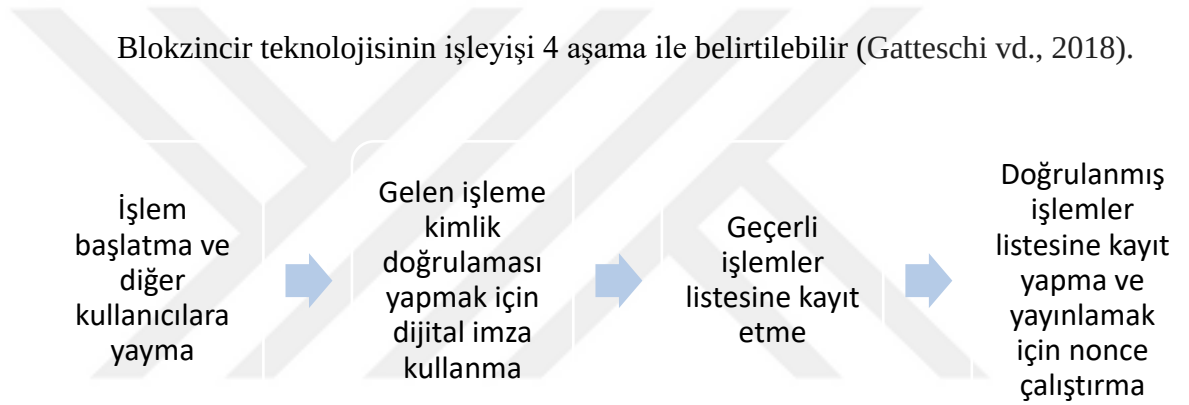
Yapılan tanımlardan hareketle blokzincir, merkezi bir otorite olmadan kişilerin karşılıklı anlaşmasına dayalı olarak işlemlerin gerçekleştirilebildiği dijital etkileşim ortamı olarak tanımlanabilir.

Blokzincir 3 bölümden meydana gelmektedir. Bunlar blok, zincir ve ağdır (Bahga & Madisetti, 2016). Bloklar başlık ve gövdeden meydana gelirler. Bloku meydana getiren başlıkta önceki bloğun özet değeri (hash), zaman damgası, nonce ve merkle ağacı bulunmaktadır (Niranjanamurthy vd., 2019). Blokzincir ve blok yapısı görseli Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Blokzincir ve Blok Yapısı (Kırbaç, 2018)

Blokzincir teknolojisinin işleyişi 4 aşama ile belirtilebilir (Gatteschi vd., 2018).

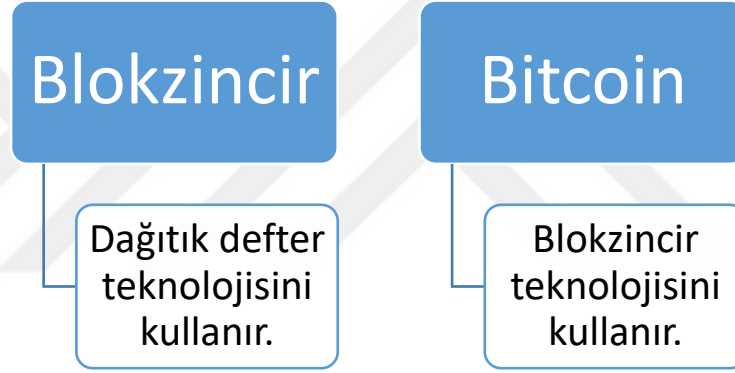


Şekil 2.13. Blokzincir İşleyiş Aşamaları (Yu vd., 2018)

Sistem güvenliğinin merkezi bir otorite tarafından yürütülmemesi ve tüm üyelerin bu noktada sorumluluk taşıması nedeniyle blokzincir teknolojisi güvenlik uygulamaları arasında önemli bir konuma yükselmiştir (Velmurugadass vd., 2021; Iansiti & Lakhani, 2017). Öyleki dünyada birçok ülke (Çin, Hindistan, Rusya) blokzincir teknolojisinin kullanımının zamanla artacağını ve bunun ülkelere ve firmalara rekabet avantajı sağlayacağını (Iansiti & Lakhani, 2017) öngördükleri için bu alana büyük yatırımlar yapmaya başlamışlardır (Guo & Liang, 2016). Örneğin İsveç tapu işlemlerinde blokzincirden faydalanırken, İsviçre'nin bir bölgesinde devlet vatandaşlarının kişisel verilerini koruma işlemini bireylere bırakmış istediği kurumlarla paylaşımları seçeneğini sunmuştur (Allessie vd., 2019). Ayrıca Estonya ve Dubai'de kamu hizmetlerinin blokzincire taşınması çalışmaları devam etmektedir (Dimitropoulos, 2020).

Sadece ülkeler değil bazı büyük uluslararası firmalar (Factom, Everledger vb.) da bu teknolojinin önemini anlamış ve teknolojiyi kullanmaya başlamışlardır (Underwood, 2016). Örneğin, blokzincir teknolojisinin önemini ve geleceğini iyi kavrayan ton balığı tedarikçisi John West ürünlerinin tüm aşamalarında blokzincir teknolojisini kullanarak büyük rekabet avantajı yakalamıştır (Provenance, 2015).

Blokzincir, dağıtık defter teknolojisi ve bitcoin aynı kavramlar değildir. Dağıtık defter teknolojisi bitcoin ile tanınmış olmasına rağmen, blokzincir dağıtık defter teknolojisini kullanarak çalışmaktadır. Aynı şekilde bitcoin de blokzincir teknolojisini kullanarak çalışmaktadır. Dolayısıyla bu kavramların birbirlerinin yerine kullanımı doğru değildir ve hepsi birbirinden farklı kavramlardır (Rauchs vd., 2018). Kavramların kullandığı teknolojilere ilişkin örnek görsel Şekil 2.14’de sunulmuştur.



Şekil 2.14. Blokzincir ve Dağıtık Defter Altyapısı

2.3. BLOKZİNCİR GELİŞİM SÜRECİ

Temeli 1970’lere dayanan blokzincir teknolojisi (Zheng vd., 2017), makinelerin karşılıklı etkileşimi mümkün müdür sorusuna aranan çözüm üzerine ortaya çıkmış uzlaşılı yöntemi olarak var olmuştur (Kaur vd., 2021).

Blokszincir 1.0	Blokszincir 2.0	Blokszincir 3.0	Blokszincir 4.0
Dijital Para ve Ödeme Sistemleri	Akıllı Sözleşmeler	Ölçeklenebilirlik, Performans ve Kullanıcı Deneyimi	Endüstriyel ve Kurumsal Entegrasyon
- Kripto paraların varlığının ortaya çıkması - Dijital ödeme sistemlerinin oluşması ve para transferlerinin yapılabilmesi - Akıllı sözleşmeler gibi ileri düzey uygulamalar henüz kullanılmıyor.	- Hisse senedi, tahvil, senetler gibi finansal işlemler - Tedarik zinciri, sigorta vb. sektörlerde uygulamalar - Akıllı sözleşmelerin devreye girmesi ve aracılara ihtiyaç duyulmaması	- Blokszincirin klasik kullanım alanları dışında devlet, sağlık, kültür gibi alanlarda uygulamaya başlanması - Hızlı işlemler - Düşük maliyet	- Yapay zeka, nesnelerin interneti ve büyük veri ile entegrasyon - Sektörlere göre özelleştirilebilir uygulamalar - Türlerin çeşitlenmesi - Yasal yükümlülüklerin tartışılması

Şekil 2.15. Blokszincir Gelişim Evreleri

Blokszincir teknolojisi, günümüz teknoloji dünyasında temel olarak 4 aşamada gelişim göstermiş olup yeni aşamalarla gelişimine devam etmesi beklenen bir durumdur. **Blokszincir 1.0**, ödeme sistemleri ile finans dünyasına yeni bir boyut kazandırmıştır. **Blokszincir 2.0**, akıllı sözleşmeler ile tedarik zinciri ve sigorta gibi sektörlerde aracı ihtiyacını ortadan kaldırarak otomatik işlem süreçleri oluşturmuştur. **Blokszincir 3.0**, performans ölçütleri ile devlet hizmetleri ve sağlık gibi alanlara yayılarak daha hızlı işlem ve düşük maliyet avantajı sağlamıştır. **Blokszincir 4.0** ise nesnelerin interneti, yapay zeka gibi farklı teknolojilere entegre edilerek kullanılmaya ve yenilikçi çözümler sunmaya başlamıştır (Efanov & Roschin, 2018). Blokszincir teknolojisinin dördüncü evresi olarak nitelendirilen sürecin henüz erken gelişim aşamasında olduğu ve zamanla yeni aşamalarla daha da evrileceği yönünde genel bir kanaat oluşmuştur. Bu bağlamda, söz konusu teknolojinin ilerleyen dönemlerde daha geniş kapsamlı uygulama alanlarına sahip olacağı kaçınılmaz bir gerçeklik olarak değerlendirilmektedir (Yusof vd., 2018; Sheel & Nath, 2020; Choi vd., 2020).

2.4. BLOKZİNCİR ÖZELLİKLERİ

Klasik sistemlerin aksine blokszincir teknolojisinde güven merkezi yazılımsal ve matematiksel yöntemlerle oluşturulmaktadır (Chen vd., 2019). Dağıtık veri tabanı olarak

adlandırılan bu yöntemde veri merkezi bir birimde saklanmak yerine ağda yer alan tüm üyelere dağıtılmaktadır. Böylelikle ağdaki verilerin ele geçirilmesi veya değiştirilmesi imkânsız hale gelmektedir. Bu da daha güvenli bir veri yönetim sistemi meydana getirmektedir (Yiannas, 2018).

Blokzincirin bazı temel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

2.4.1. Şeffaflık ve İzlenebilirlik

Blokzincir çalışma prensibi gereği tüm üyelerin onayı ve doğrulaması ile sisteme yeni veri kabulü yapmaktadır. Bu durum her bir üyenin veriyi doğrulamasına ve kayıt altına almasına imkân sunmaktadır. Öyleki ağda yer alan kullanıcı sürecin en başından en sonuna kadar tüm işleyişi görebilmekte ve izleyebilmektedir. Özet fonksiyon anahtarları bu süreçlerle ilgili olarak kullanıcıya tüm detayları ve denetimi sunabilmektedir (Chen vd., 2019; Javed vd., 2021).

Örneğin yapılacak bir doğum günü organizasyonunda grup üyelerinin taahhüt ettikleri harcama tutarını grup liderine vererek harcamasını istemeleri şeffaflık ve izlenebilirlik ilkesine aykırılık teşkil edebilmektedir. Grup liderinin harcamayı tek başına yapması, hangi işlem için ne kadar harcama yaptığını gruptan hiçbir üyenin bilmemesi, taahhüt edilen harcama miktarının tamamının kullanılıp kullanılmadığı vb. sorunlar organizasyon sürecinin tamamlanmasında ve kontrol mekanizması noktasında sorun teşkil edebilmektedir. Aynı örnek blokzincir üzerinden yürütüldüğünde toplanan para herkese açık bir defterde kaydedilmekte, her bir harcama kalemi oluşturulmakta ve üyelerin onay vermeleri durumunda işlem yapılmaktadır. Tüm üyeler kalan parayı, hangi süreçte ne kadar para harcadığını, hangi üyenin harcama onayı verdiğini, hangi üyenin harcama için onay vermediğini, taahhüt edilen toplam miktardan kalan tutarı görebilmektedir. Bu durum sürecin doğru ve verimli bir şekilde yürütülmesini sağlamaktadır.

2.4.2. Denetlenebilirlik

Blokzincir teknolojisi, her işlemi dijital bir zaman damgasıyla kaydederek geçmiş verilere erişimi ve doğrulamayı mümkün kılmaktadır (Zheng vd., 2017). Blokların birbirine bağlı yapısı, işlemlerin değiştirilmesini zorlaştırırken, şeffaf ve denetlenebilir

bir sistem oluşturmaktadır (Singhal vd., 2018). Ağdaki tüm işlemler dağıtılmış defter üzerinde kaydedildiğinden, herhangi bir düğüme erişim sağlandığında geçmiş kayıtlar kolayca izlenebilmekte ve doğrulanabilmektedir (Zheng vd., 2017). Bu özellik, blokzincirin varlık takibi ve süreç doğrulama açısından güvenilir bir sistem sunmasını sağlamaktadır (Ozdemir vd., 2021). Özellikle tıbbi atık yönetimi gibi izlenebilirliğin kritik olduğu alanlarda, blokzincir teknolojisi, süreçlerin güvenli ve hesap verilebilir şekilde yürütülmesine katkı sağlamaktadır (Niranjanamurthy vd., 2019).

2.4.3. Değiştirilemezlik

Blokzincir sistemine dahil olan bir veri artık değiştirilemez. Bu durum blokzincirin veri güvenliğinin temelini oluşturmaktadır. Ağda yer alan tüm kullanıcıların talep ettiği herhangi bir değişikliğin tüm kullanıcıların onayı ile gerçekleşmesi zincirde veri değişimini zorlaştırmaktadır (Ratta vd., 2021; Javed vd., 2021).

Örneğin bir doğum günü organizasyonunda grup üyelerinin taahhüt ettikleri harcama miktarını belirledikleri bir grup liderine vererek harcamaları yönetmesini istemeleri değiştirilemezlik ilkesine aykırıdır. Grup liderinin aldığı rakamları yanlışlıkla farklı bir kişi adına kaydetmesi, miktarları yanlış rakamlarla kayıt etmesi veya bu işlemleri kötü niyetle yapması sürecin verimliliği açısından problem doğurabilmektedir. Blokzincirin değiştirilemezlik ilkesi grup üyelerine teslim ettikleri rakamların kayıt altına alınmasını, harcanan rakamların kalem kalem not edilmesini ve bunların asla değiştirilemeyeceği avantajını sunarak olası tüm problemleri bertaraf edebilmektedir.

2.4.4. Esneklik

Blokzincir teknolojisi, değişen iş süreçlerine ve sektörel gereksinimlere uyum sağlayabilen esnek bir yapı sunmaktadır. Akıllı sözleşmelerin kullanımı, sistemlerin otomatik olarak güncellenmesine ve kullanıcı ihtiyaçlarına göre özelleştirilmesine olanak tanımaktadır (Yousefi & Tosarkani, 2022). Bu sayede, paydaşlar arasında iş birliği güçlendirilirken, stratejiler ve kaynaklar değişen koşullara göre yeniden yapılandırılabilir. Blokzincirin merkeziyetsiz yapısı, sistemlerin bağımsız olarak gelişmesini ve dış müdahaleye ihtiyaç duymadan adapte olmasını sağlamaktadır.

Özellikle karmaşık süreçlerin yönetildiği alanlarda, blokzincirin sağladığı esneklik, verimliliği artırarak iş akışlarının daha sürdürülebilir olmasına katkı sunmaktadır.

2.4.5. Ademi Merkeziyetçilik

Geleneksel yöntemlerde işlemlerin onayları merkezi bir sunucu tarafından yapılmaktadır. Blokzincirde ise onay merkezi bir birimden alınmamaktadır yani merkezi bir yapıya ihtiyaç yoktur. Bu durum merkezi otoritenin kötü niyetli olabilecek tek başına karar verme mekanizmasının önüne geçmekte ve sürecin güven sorununu ortadan kaldırmaktadır (Shrestha vd., 2020). Yani merkezi sistemlerde verilerin kaybı, değiştirilmesi, kötü niyetle kullanılması gibi riskler bulunurken blokzincirde bu tarz durumlar oluşmamaktadır (Lin & Liao, 2017). Özetle blokzincir kullanıcısı olan tüm üyeler ağdaki mevcut tüm veritabanına ve geçmiş işlemlere ulaşabilmektedirler.

Örneğin yapılacak bir doğum günü organizasyonunda grup üyelerinin taahhüt ettikleri harcama miktarlarını belirlenen bir grup liderine gönderip ilgili kişi vasıtasıyla harcama yapmaları merkeziyetçi bir yaklaşıma örnektir. Her bir üyenin kendine düşen masrafı eş anlı olarak kendisinin ödemesi ise merkeziyetsizlik yaklaşımına bir örnektir. Merkeziyetçi yaklaşımda grup liderinin parayı kaybetmesi, amacı dışında kullanması, parayı bankadan çekememesi, gereken organizasyonu yapamaması-yapmak istememesi gibi istenmeyen riskler var iken, merkeziyetsiz yaklaşımda bu riskler bireylere yüklenmiş ve her bir üyenin gereken ödemeyi yapması durumunda organizasyonun gerçekleştirilmesi sağlanabilmektedir.

2.4.6. Anonimlik

Blokzincir sistemine girmek isteyen bir kişi gerçek kimliğini ortaya koymadan sisteme dahil olabilmektedir. Üyeler sisteme 30 karakterli bir sayısal değer üzerinden kayıt olabilmektedirler. Ayrıca sistemde yapılan bir işlemin hangi kullanıcı tarafından yapıldığının gizli olması da sisteme anonimlik sağlamaktadır (Zheng vd., 2018; Iansiti & Lakhani, 2017). Bu durum hem kullanıcı kimliğinin saklı kalmasını hemde veri güvenliğinin temelini oluşturmaktadır (Thakker vd., 2021). Ayrıca sistemin üyeye vermiş olduğu kod sayesinde hiçbir kullanıcı diğerinin gerçek kimliğini bilememektedir (Ratta vd., 2021).

Örneğin bir doğum günü organizasyonunda grup üyelerinin herbirinden aynı rakamda harcama taahhütünde bulunması beklenmez. Harcama taahhüt miktarı üyeden üyeye göre değişiklik gösterebilir ve üyeler bu miktarın bilinmesini istemeyebilirler. Bu durum grup liderine bildirilen taahhüt miktarı ile sağlanmaz. Grup lideri hangi üyenin ne kadar taahhüt ettiğini bilir ve bu bilgiyi diğer grup üyeleriyle paylaşabilir. Bu noktada blokzincir teknolojisinin anonimlik özelliği bu problemi çözebilmektedir. Üyelerin kendine özgü olan ve kimlikleriyle doğrudan bağlantılı olmayan dijital kimliği üyelerin katkı miktarının saklanması hususunda avantaj ve kolaylık sağlamaktadır.

2.4.7. Hız ve Zaman avantajı

Blokzincir teknolojisinin merkezi bir otoriteye duyulan ihtiyacı ortadan kaldırması aracı kurumlarla harcanan zaman kaybını azaltmakta ve işlem sürelerini azaltarak hızlı bir işleyiş imkanı sunmaktadır (Velmurugadass vd., 2021). Ayrıca sistemde meydana gelen değişikliklerin anlık olarak kaydedilmesi ve bu sürecin herhangi bir 3. kurum aracılığı olmadan anlık yapılması sistemin hızlı çalışmasının temel prensibini oluşturmaktadır (Singh & Kim, 2018). Ayrıca, akıllı sözleşmelerin gerekli şartlar sağlandığında işlemi gerçekleştirmesi, coğrafi kısıtları ortadan kaldırması, küreselleşme imkanı sunması, bürokraside harcanan zamanları ortadan kaldırması işlem süreçlerine büyük kolaylık sağlamakta ve bekleme zamanlarını minimuma indirmektedir (Dimitripoulos, 2020; Allesie vd., 2019).

Örneğin yapılacak bir doğum günü organizasyonunda grup liderinin grup üyelerinden harcama için taahhüt ettikleri rakamları toplaması ve ayrı ayrı her bir üye için bu işlemleri yapması hız ve zaman açısından mantıklı bir yaklaşım değildir. Rakamların bankalar üzerinden geç gelme riski, gelmeme ihtimali, yanlış hesaplara gitme ihtimali vb. durumlar blokzincir teknolojisi ile çözülebilmektedir. 7/24 çalışan bir transfer sistemi ile rakamların toplanması, harcamaların otomatik olarak sistem üzerinden yapılması, kalan tutarın otomatik iadelerinin gerçekleştirilmesi blokzincirin hız ve zaman avantajına örnek olarak verilebilir.

2.4.8. Güvenilirlik

Blokzincir teknolojisinde veriler kriptografik yöntemlerle korunmaktadır. Bu durum mevcut sistemlere oranla daha fazla güvenlik kontrolü sağlamaktadır. Ağda yer alan tüm üyelerin herbir işlem için onay vermesi ve herbir işlemin herbir üyede tüm detayları ile saklanması verilerin değiştirilmesinin, kötü niyetle kullanılmasının önüne geçmektedir.

2.4.9. İnkâr Edilemezlik

Blokzincirde verilerin değişmesi tüm üyelerin onayına bağlı olduğu için herhangi bir değişikliğe uğrama riski çok düşüktür. Kişinin bilgisi veya onayı dışında herhangi bir değişiklik olması ilgili kişinin genel anahtarı ve özel anahtarı ile ilgilidir. Ağda üyenin sadece genel anahtarı bilgisi bulunmaktadır. Özel anahtar ise üyenin dijital varlığıdır (Gaggioli vd., 2019) ve üyenin özel anahtarının güvenliğinden ve yedeklenmesinden tamamen üye sorumludur (Hojjati vd., 2020).

Örneğin bir doğum günü organizasyonunda grup üyelerinin taahhüt ettikleri harcama miktarını bir grup üyesine verip tüm süreci onun yürütmesini istemeleri ve beklemeleri geleneksel sistemler açısından problem oluşturabilmektedir. Grup üyesinin yaptığı harcamaların grup üyeleri tarafından inkâr edilmesi, grup liderinden harcama kalemlerinin ispatının istenmesi, doğru ve adil bir harcama gerçekleşip gerçekleşmediği endişeleri mevcut olabilmektedir. Blokzincir sistemleri her bir üyenin her bir harcama kaleminde onay vermeleri, her bir işlemle ilgili olarak tüm detayları görebiliyor ve izleyebiliyor olmaları inkâr edilemezlik ve denetlenebilirlik noktasında sürece büyük avantaj ve kolaylık sağlayabilmektedir.

2.4.10. Dağıtık Güven Mekanizması

Dağıtık güven mekanizması, sistemdeki tüm üyelerin aynı anda veri/bilgi doğrulama, güncelleme veya erişim imkanına sahip olması demektir. Böylelikle veri kontrolü merkezi bir sistemde değil birçok kullanıcı tarafından mutabakata varılması halinde yapılabilmektedir. Kullanıcılardan birinin yaptığı bir değişiklik eş zamanlı olarak tüm kullanıcılar tarafından görülebilmekte ve onay aşamaları tamamlandıktan sonra geçerlilik kazanmaktadır (Lin & Liao, 2017).

Örneğin bir doğum günü organizasyonunda grup üyelerinin grup liderine harcama miktarını taahhüt etmesi grup liderinin doğru bir mali süreç yönetip yönetemeyeceği, kalan miktarın doğru bir şekilde dağıtılıp dağıtılamayacağı, grup üyeleri arasında ayırım yapıp yapılmayacağı vb. konularda soru işaretleri bırakabilecektir. Bu noktada blokzincirin dağıtık güven mekanizması bu probleme kalıcı çözüm üretebilmektedir. Blokzincirde taahhüt edilen rakamı grup lideri değil süreçte yer alan ilgili kodlar yönetmekte, harcama kalemleri tüm detayları ile herkesin görebileceği şekilde kayıt altına alınmakta ve sistemin doğru çalıştığı matematiksel olarak garanti edilmektedir. Burada sistemi kötü niyetli olabilecek grup lideri değil tüm grup üyeleri yürütmektedir. Burada güven duygusu grup liderine değil sistemin kodlarına ve dağıtık bir şekilde olan doğrulayıcı tüm üyelere verilmiştir.

2.5. BLOKZİNCİR TÜRLERİ

Blokzincir teknolojileri, kullanım amaçları ve erişim düzeylerine göre dört ana kategori altında sınıflandırılmaktadır: genel (public), özel (private), konsorsiyum (consortium) ve hibrit (hybrid) blokzincirler. Bu sınıflandırma, blokzincir yapılarının farklı sektör ihtiyaçlarına uygun esneklik ve kontrol düzeyi sunmalarını mümkün kılmaktadır (Viriyasitavat & Hoonsoon, 2019).

2.5.1. Genel blokzincir (İzinsiz)

Herhangi bir ağa bağlanmak, işlemleri başlatmak/yürütmek veya yeni katılacak bir blok için herhangi bir yetki istemeyecek şekilde tasarlanan blokzincirlere genel blokzincir (izinsiz) adı verilir (Croman vd., 2016). Ağ üzerinde hiçbir üye birdiğinden daha fazla ayrıcalığa sahip olmaz ve ağdaki verilerin değiştirilmesinde, silinmesinde yetki sahibi değildir (Gaggioli vd., 2019). Bu durum genel blokzincirler için avantaj oluştururken, genel blokzincirlerin düşük verimli olması, onay sürelerinin uzun olması ise dezavantajı olarak söylenebilir (Urquhart, 2016).

Genel blokzincirler herkese açıktır isteyenler sisteme rahatlıkla dahil olabilmektedir. İşlem başlatma, diğer işlemleri görebilme ve inceleyebilme mümkündür. Ethereum, Bitcoin, Litecoin, Monero gibi ağlar izinsiz blokzincire verilebilecek örnekler arasındadır (Bhushan vd., 2021).

2.5.2. Özel blokzincir (İzinli)

Defterlerin önceden tanımlanan yetkili bir düğüm tarafından paylaşıldığı ve doğrulandığı blokzincir türüne ise özel blokzincir (izinli) adı verilir. Özel blokzincirlerde sistem yeni katılımcılar için çalıştırılmakta ve doğrulanmaktadır. Burada yetki sahibi olan yetkili düğüm ise fikir birliği sağlama amacı taşımaktadır (Viriyasitavat & Hoonsopon, 2019). Özel blokzincirler kurumsal uygulamalarda maliyet, performans ve gizlilik açısından daha avantajlıdır (Badr vd., 2019). Özel blokzincirler genel blokzincirlerin aksine yüksek bir işlem hızına sahiptir (Salimitari vd., 2020).

Özel blokzincirlere katılmak isteyenler izinle ağa dahil edilirler. Bu türde izlenebilirlik kısıtlıdır. JP MORGAN tarafından geliştirilen ve ethereum tabanlı olan QUORUM özel blokzincire örnek olarak verilebilir.

2.5.3. Konsorsiyum blokzincir

İzin verilen bir ağ olan konsorsiyum blokzincir ayrıcalıklı bir gruba açık olan blokzincir türüdür. Üyelerin veri alışverişlerini inceleyen, takip eden, denetleyen dağıtık bir veri tabanı olarak çalışmaktadır (Fekih & Lahami, 2020).

Genel zincirlerden daha yüksek bir verimlilik sağlama kapasitesi olan konsorsiyum blokzincir organizasyonel işbirliğinin önemli olduğu alanlarda ve özellikle sınır ötesi mal alım-satım işlemlerini yürüten firmalar tarafından tercih edilmektedir (Zheng vd., 2017). Hyperledger, konsorsiyum blokzincirin en bilinen örneklerinden biridir (Bhushan vd., 2021).

2.5.4. Hibrit Blokzincir

Hibrit blokzincir genel ve özel blokzincir türlerinin avantajlarını dikkate alarak birleştiren blokzincir türüdür (Halgamuge & Guruge, 2021). Bu türde genel blokzincirlerin açıklığı ve güvenilirliği kullanılırken, özel blokzincirdeki gizlilik duyarlılık ile birleştirilir (Chen vd., 2019).

2.6. BLOKZİNCİR KULLANIM ALANLARI

İlk olarak kripto para ile tanınan blokzincir teknolojisi günümüzde birçok farklı alanda kullanılabilmekte (Hackius & Petersen, 2017) ve gelecekte devletleri/halkları ciddi anlamda değiştirme ve geliştirme potansiyeline sahiptir (Wright & De Flippi, 2015).

Tablo 2.2’de blokzincir teknolojisinin farklı kullanım alanlarından bazı örnekler gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Blokzincir Kullanım Alanlarına Örnekler

Müşteri sadakati ve karlılık	Dobrovnik vd., 2018
Siber saldırı	Haddad vd., 2020
5G	Tahir vd., 2020
Ürün şeffaflığı	Tian, 2016
Lojistik	Nelson vd., 2017
Paylaşım ekonomisi	Pazaitis vd. 2017
Kurumsal yönetim	Singh vd. 2019
Tedarik zinciri	Wamba vd. 2020
NFT	Osivand & Abolhasani, 2021
Müşteri yönetimi	Jain vd., 2020
İklim değişikliği	Miller vd., 2019
Sağlık hizmetleri	Rejeb vd., 2019
Sürdürülebilirlik	Blinder, 2018
Blokzincir yapısı ve kullanımı	Swan, 2015

2.6.1. Finans

Finansal teknolojiler blokzincir teknolojisinin en çok tercih edildiği ve en çok kullanıldığı alanlardan biridir. Blokzincir teknolojisinin finansal işlemlerde tercih edilmesinin nedeni güvenlik düzeyi, şeffaf olması, değiştirilemez olması, hızlı işlem yeteneği ve merkezi bir birime bağlı kalmadan işlem yeteneği sağlamasıdır (Osmani vd, 2020). Blokzincir teknolojisi kripto paralar ile tanınmış olmasına rağmen diğer finansal işlemlerde de büyük avantajlar ve kolaylıklar sağlamaktadır. Belki de bunlardan en önemlisi araçların ortadan kaldırılması ile kazanılan mali kazançlardır. Ayrıca kullanıcılarda finansal güvenlik hissi uyandırması da gösterilebilir (Treleaven vd., 2017).

Bankalar arası para/döviz transferleri, döviz alma-satma işlemleri, kredi işlemleri, kredi kartı ile ödeme işlemleri, hisse senedi alım satım işlemleri, altın alım satım işlemleri vb. blokzincirin günümüzde finans alanında yaygın olarak kullanıldığı uygulamalara örnek olarak gösterilebilir.

2.6.2. Yapay Zekâ ve Nesnelerin İnterneti

Günümüz teknolojilerinde önemli bir yeri olan yapay zekâ ve nesnelerin interneti blokzincir teknolojisinin gelişimine büyük katkı sağlamakta ve gelişim potansiyelini arttırmaktadır (Sharma & Jain,2019). Çünkü yapay zekâ kullanımı ile sistemlerin verimliliği ve işlem gücü ciddi anlamda artırılabilir (Singh vd.,2020; Kshetri, 2019).

Otonom araçlarda her işlemin kayıt altına alınması, dijital finans asistanları ile harcama kontrolü ve yönetiminde destek alınması, akıllı ev sistemlerinde güvenlik sistemlerinin sağlanması, soğuk zincir takibinde sıcaklık, soğukluk takibinin yapılması, elektrikli araç şarj istasyonlarında tüketim-ödeme sistemlerinin kayıt alınması blokzincirin yapay zeka ve nesnelerin interneti alanlarında kullanımı örnek olarak gösterilebilir.

2.6.3. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zincirinin üyeleri olan üreticiler tedarikçiler ve müşteri ilişkilerinin incelenmesi ve kontrolünün sağlanması açısından tedarik zinciri yönetiminde blokzincir uygulamalarının ve yeni nesil teknolojilerin kullanılmaya başlandığı ve önem taşıdığı bilinmektedir (Yousuf & Svetinovic, 2019; Güzel & Yazıcılar, 2016).

Marketlerden alınan ürünlerin nihai tüketiciye ulaşana dek geçirdiği evrelerin şeffaf bir şekilde paylaşılabilmesi sayesinde gıda güvenliğini sağlama, Lüks markaların (Prada vb.) ürünlerinde orijinallik kontrolü imkanı sunması, ilaç üreticilerinin (Pfizer vb.) sahte ilaçla mücadele kapsamında hasta koruma politikaları, online alışverişlerde firmaların (Fed ex vb.) kargo takibi imkanı sunmaları, tarımsal ürünlerin (kahve, çikolata vb.) satışını yapan bazı firmaların (Nestle vb.) ürün hakkında şeffaf ve doğrulanabilir bilgiler sunması blokzincirin günümüzde tedarik zinciri yönetiminde kullanım alanlarına örnek olarak gösterilebilir.

2.6.4. Pazarlama

Birçok alanda olduğu gibi pazarlama alanında da varlığını gösteren blokzincir teknolojisinin önemli ve olumlu etkileri olmasına rağmen pazarlama dünyasının blokzincir teknolojisini tam kavrayamaması pazarlamacıları bu teknolojiyi olgun hale gelince kullanmaya itmektedir. Bu teknolojinin veriye dayalı pazarlama anlayışını değiştireceği, müşteri etkileşimini artıracak, yeni müşteriler kazandıracak (Tapscott & Tapscott, 2017) ve bunun da müşteriye tam anlamıyla etkileyeceği öngörüler arasında yer almaktadır (Ghose, 2018). Ayrıca blokzincir temelli reklam ağlarının oluşturulmasının pazarlama alanında köklü bir değişiklik yaratacağı öngörülmektedir (Atabaş, 2018).

Ürünle ilgili kullanıcı yorumlarının korunması ve saklanması, dijital reklamların sahte hesaplar tarafından tıklanmasının engellenmesi veya tıklama analizleri, müşteri üyelik hesaplarının müşteri kontrolüne bırakılması, sürdürülebilir üretim reklam iddialarının tüketici tarafından kontrolünün sağlanması blokzincirin pazarlama alanında sağladığı avantajlar arasında gösterilebilir.

2.6.5. 5G Teknolojisi

Blokzincir teknolojisinde 5G altyapısının kullanılmasının etkin bir uluslararası etkileşim sağlaması öngörülmektedir (Chaer vd., 2019; El Azzaoui vd., 2020). Ayrıca blokzincirin 5G'nin gelişiminde etkili bir güç olacağı tahmin edilmektedir (Smith, 2020).

Bazı ülkelerde kullanılan (Singapur) akıllı trafik yönetim sistemleri ile şehir trafik ışıklarının koordinasyonu, kaza kayıtları, otopark verileri, bazı otonom araçların (Tesla vb.) diğer otonom araçlarla etkileşimi ve trafik bilgi paylaşımı, sahte trafik yoğunluğu analizleri, üretim firmalarında (Siemens vb.) IOT cihazlarının veri güvenliği, dijital kimlik kullanımı (Estonya vb.), dijital veri üretiminde içerik güvenliği (Netflix vb.) kontrolü blokzincirin 5G teknolojisi alanındaki günlük kullanımlarına örnek olarak verilebilir.

2.6.6. Paylaşım Ekonomisi

Blokzincir teknolojisinin paylaşım ekonomisine fayda sağlayabileceği, merkezi olmayan altyapısı ile büyük avantajlar sağlayabileceği yapılan çalışmalarda belirtilmiştir

(Huckle vd., 2016). Bu avantajlara örnek olarak müşteri-satıcı doğrudan etkileşimi verilebilir. Yapılan bir çalışmada üretici kesimin adil bir şekilde ödüllendirildiği gerçek bir paylaşım ekonomisinin yolunun bu teknolojiyi en iyi şekilde benimsemekten geçtiği belirtilmiştir (De Filippi vd., 2021).

Araç paylaşım uygulamalarının (Uber vb.) etkinliği, ev paylaşım uygulamaları, akıllı sözleşmeler ile ödeme ve iş teslimleri, internet hizmet sağlayıcı paylaşımları blokzincirin paylaşım ekonomisine gündelik hayattan örnekler olarak verilebilir.

2.6.7. Değiştirilemez Token (NFT (Non-Fungible Token))

Non-Fungible Token (NFT), Ethereum'un akıllı sözleşmelerinden türetilen bir tür kripto para birimidir (Fairfield, 2022). Sanat eserleri, koleksiyonlar, resmi evraklar, kıymetli evraklar, resim, video, fotoğraf, müzik gibi taşınamayan ürünlerin blokzincir altyapısı kullanılarak korunması, yeni eserlerin oluşturulması, var olan eserlerin dijitalleştirilmesi (Ante, 2021) noktasında blokzincirler önemli bir avantaj sunmaktadır. Bu tür varlıklar blokzincirin Ethereum altyapısında kayıt altına alınabilmektedir (Dowling, 2022).

2.7. BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN AVANTAJLARI

Blokzincir teknolojisinin avantajları, literatürde kapsamlı bir şekilde ele alınmış ve farklı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çeşitli araştırmalar, teknolojinin sunduğu faydaları vurgulamakta ve bu konuda önemli bulgular ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, ilgili avantajlar farklı akademik kaynaklardan (Velmurugadass vd., 2021; Zheng vd., 2017; Tasca & Tessone, 2017; Singh & Kim, 2018; Berryhill vd., 2018; Golosova & Romanovs, 2018; Dimitripoulos, 2020; Hastig & Sodhi, 2020; Allessie vd., 2019). elde edilen bilgiler doğrultusunda değerlendirilmiştir.

- Blokzincir üyelerin işlemlerini bağımsız bir şekilde ve herhangi bir baskı altında kalmadan özgürce gerçekleştirebilmelerini sağlar.
- Sistem üzerinde bireyin hata riski nispeten daha düşük olduğu için kalite ve verimlilik artışı sağlar.
- Merkezi bir otorite tarafından yönetim olmadığı için aracı kurum maliyet giderlerinin azalmasını sağlar.

- Dağıtık veri tabanı sayesinde verilerin tek bir merkezde değil birden fazla merkezde toplanmasını ve veri kaybının minimize edilmesini sağlar.
- Çoğunluğun onayının olmadığı, kör imza gibi güvenlik önlemleri olmadığı durumlarda geçerli işlemlerin yürütülemeyeceği için siber saldırılara karşı merkezi yönetime göre daha güvenlidir.
- Sistemde herhangi bir değişiklik olması durumunda zaman kayıtlarının düzenli tutulması ile tespit işlemlerinin kolay bir şekilde yapılmasını sağlar.
- Sistemin tüm kullanıcıların onayı ile yürütülmesi tüm üyelere şeffaflık sağlar.
- Üyeler arasında çözilemeyen, beklenmeyen olgular durumunda akıllı sözleşmelerin devreye girerek çözüm üretmesi hız ve zaman avantajı sağlar.
- Farklı alanlarda farklı konulara çözüm üretebilecek gelişime ve değişime açık bir teknolojik altyapı sunar.
- İş sürekliliği ve iyileştirme faaliyetlerinde büyük rol oynar.
- Kara para aklama, vergi kaçakçılığı gibi istenmeyen durumlara karşı daha güvenilir bir ortam sağlar.
- Ödeme sistemlerinde hata ve usulsüzlüklerin önüne geçer.
- Birlikte kullanılabilecek nesnelerin interneti gibi teknolojilerle fiziksel varlıkların hareketlerinin gerçek zamanlı olarak izlenebilmesine olanak sağlar.
- İşlemlerin tamamen internet üzerinden yürütülmesi sebebiyle aynı konumda bulunma zorunluluğunu ortadan kaldırır ve küreselleşme açısından olumlu sonuçlar meydana getirir.
- Diğer teknolojilerle birleşerek dünya üzerinde ve toplum yaşamı üzerinde büyük yenilikler yapabilme potansiyeli taşır.
- Bürokrasinin azaltılmasına yardımcı olur.

2.8. BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN DEZAVANTAJLARI

Blokszincir teknolojisinin dezavantajları, literatürde geniş çapta incelenmiş ve çeşitli çalışmalar tarafından ele alınmıştır. Araştırmalar, teknolojinin uygulanabilirliği konusunda bazı sınırlamalar ve zorluklar içerdiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, blokszincir teknolojisinin dezavantajları, farklı akademik kaynaklardan (Nordgren vd., 2019; Sapirshtein vd., 2016; Maull vd., 2017; Schep vd., 2019; Moreno & Lomaquiz

2020; Crosby vd., 2016; Quintais vd., 2019; Salmon & Myers 2019; Atzori, 2015; Rauchs vd., 2018) elde edilen bulgular doğrultusunda değerlendirilmiş ve aşağıda ifade edilmiştir.

- Birtakım çözülmesi ve anlaşılması zor teknik altyapı problemlerini barındırabilmektedir.
- Yüksek enerji tüketimi nedeniyle doğaya ve çevreye zarar verebilmekte ve enerji maliyetlerini artırabilmektedir.
- Bilgisayar, internet gibi teknik donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır.
- Elektrik veya internet kesintileri durumunda işler yavaşlayabilmektedir. Dolayısıyla elektrik-internet altyapısının sistemin çalışması için zorunlu bir şekilde mevcut olması gerekmektedir.
- Siber saldırılara müsait bir riski barındırmaktadır.
- Zincirin uzaması durumunda sisteme yeni giren veya çıkan düğümlerde doğrulama işlemler uzayabilmekte ve zaman kayıpları yaşanabilmektedir.
- Kullanıcıların gerçek kimlikleri ile değil sanal kimliklerle sisteme kayıt olmaları ve işlem yapmaları noktasında kimlik tespitini zorlaştırabilmektedir.
- Hatalı işlemlerin telafisinin çok zor olması, uzun zaman alması, maliyetli olması, düzeltme işlemlerinde veri kayıplarına neden olabilmektedir.
- Blokzincirlerle ilgili olarak yasal süreçlerde (hukuki altyapı, blokzincir kayıtlarının delil olup olmayacağı, unutulma hakkı, terörün finansmanı, vergilendirme, hırsızlıkta yargılama vb.) boşluklar bulunmaktadır.
- Bütün teknolojik sistemlerin kullanımında nitelikli işgücü eksikliği bulunmaktadır.
- Yüksek yatırım maliyetlerini gerektirmektedir. Sistemde sadece sayısal veriler üzerinden işlemleri yürütebildiğinden dolayı bazı veri tiplerine (medya, görsel) uygun olmayabilmektedir.
- Nasıl çalıştığı, kullanım şekli ve güvenlik uyarıları noktasında kullanıcıların bilinç düzeyleri düşük kalabilmektedir.
- Mevcut arşiv verilerinin sisteme dahil edilmesinde ve işleyişinde henüz bilinmezlikler mevcuttur.

- Yüksek performanslı işlemciler sayesinde saldırı işlemlerinin başarıya ulaşma riskini taşımaktadır.
- Sisteme eklenen veya eklenmesi gereken kişisel veriler noktasında mahremiyet sorunu taşımaktadır.
- Akıllı sözleşmeleri çalıştıran küçük kodlarla çalıştığı için genel veri depolamaya uygun olamayabilmektedir.
- Veri güvenliği ve veri gizliliğinde riskler taşıyabilmektedir.
- Likidite riskleri barındırabilmektedir.
- Sistem büyüdükçe yönetilmesi zor bir yapıya dönüşebilmektedir.
- Blokzincir sistemlerin ilerleyen yıllarda birçok kamu kurum ve kuruluşunu ortadan kaldırma potansiyeli bulundurmakta ve işsizliğe sebep olabileme durumu barındırmaktadır.
- Merkezi bir otorite barındırmaması dolayısıyla kargaşaya sebebiyet veren durumların engellenememesi ve kargaşanın çözümü noktasında endişeler oluşturabilmektedir.

2.9. BLOKZİNCİR LİTERATÜR TARAMALARI

Blokzincir teknolojisi, son yıllarda farklı disiplinlerde geniş çapta araştırılmış ve çeşitli alanlarda yenilikçi çözümler ortaya konmuştur. Literatürde, sağlık hizmetlerinden eğitim teknolojilerine, muhasebe-finance uygulamalarından enerji piyasalarına kadar geniş bir yelpazede blokzincirin etkileri incelenmiştir. Özellikle veri güvenliği, siber güvenlik, tedarik zinciri yönetimi ve ödeme sistemleri gibi alanlarda blokzincirin sağladığı avantajlar öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, dijital sözleşmeler, kripto paralar ve akıllı sözleşmeler gibi yenilikçi uygulamalar, teknolojinin finansal ve hukuki süreçlerde dönüşüm yaratma potansiyeline işaret etmektedir. Tapu-kadastro sistemleri, kimlik takibi ve oy kullanımı gibi alanlarda ise blokzincirin güvenilirlik ve şeffaflık sağlayarak yeni çözümler sunduğu görülmektedir. Ayrıca, askeriye, sigorta hizmetleri, eğlence sektörü ve pazarlama gibi farklı sektörlerde de blokzincirin kullanımına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Literatürdeki bu çeşitlilik, blokzincir teknolojisinin yalnızca bir sektörle sınırlı kalmayıp, çok yönlü ve disiplinler arası bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Tablo 2.3’de blokzincirin farklı alanlardaki uygulamaları incelenerek mevcut literatür kapsamında bir değerlendirme sunulmuştur.

Tablo 2.3. Blokzincir Alanında Yapılan Çalışma Örnekleri

Dijital içerikler-dijital haklar	Kishigami vd., 2015
Ödeme sistemleri	Poon & Dryja, 2016
Kripto paralar	Christidis & Devetsikiotis, 2016
Tapu – kadastro- Emlak	Yli-Huumo vd., 2016
Siber güvenlik	Kshetri, 2017
Blokzincir yapısı	Halpin & Piekarska, 2017
Dijital sözleşmeler-akıllı sözleşmeler-dijital imza	Huh vd.,2017
IOT	Rahulamathavan vd., 2017
Eğitim teknolojileri	Lévy vd., 2018
Hukuk	Millard, 2018
Sigorta hizmetleri	Bader vd., 2018
Enerji piyasaları-Enerji tasarrufu	Brilliantova & Thurner, 2019
Eğlence	Chavan vd., 2019
Tedarik zinciri	Longo vd., 2019
Muhasebe-finans	Zhang vd., 2020
İnşaat teknolojileri	Yang vd., 2020
Yatırım	Gil-Alana vd., 2020
Hasta sağlığı- sağlık hizmetleri	Hawashin vd., 2021
Çevrimiçi oyunlar	Boroń & Kobusińska, 2021
Evde sağlık takibi	Farooq vd., 2022
Veri güvenliği ve gizliliği	Elisa vd., 2023
Afet Risk Yönetimi	Peker vd., 2023

2.9.1. Blokzincir Teknolojilerinin Tıbbi Atık Yönetiminde Kullanımına Dair Literatür Taramaları

Son yıllarda blokzincir teknolojisinin tıbbi atık yönetimi süreçlerine entegrasyonu, çeşitli araştırmalarda ele alınmış ve farklı yönleriyle değerlendirilmiştir. Literatürde, COVID-19 süreciyle birlikte tıbbi ekipman tedariğinden atık yönetimini engelleyen faktörlere kadar birçok konu kapsamlı biçimde ele alınmıştır (Yousuf & Svetinovic, 2019; Yingngam vd., 2025). Özellikle paydaşlar arası etkileşimi artırma, denetim mekanizmalarını güçlendirme ve operasyonel verimliliği iyileştirme gibi konular öne çıkmaktadır. Blokzincir, akıllı sözleşmeler, kaynak optimizasyonu ve rota planlaması gibi teknolojiler aracılığıyla bu alanlarda yenilikçi çözümler sunmaktadır (Kumar vd., 2024).

Blokszincir teknolojisinin en çok dikkat çeken katkılarından biri, tıbbi atık yönetimi süreçlerinde güvenilirliği sağlamasıdır. Güvenilirlik; veri doğruluğunun, şeffaflığın ve hesap verebilirliğin teminat altına alınması anlamına gelmektedir. Kumar vd. (2024), geliştirilen dört akıllı sözleşmeyle olay kayıtlarının otomatikleştirildiğini, verinin izlenebilir hâle getirildiğini ve sistem güvenilirliğinin artırıldığını vurgulamaktadır. Benzer biçimde, Hawashin vd. (2022) tarafından önerilen blokszincir tabanlı sistemin, dağıtık yapısı ve hesap verebilirlik sağlayan altyapısı sayesinde sürecin denetlenebilirliğini güçlendirdiği görülmektedir. Le vd. (2022) ise Medical-Waste Chain sistemine ilişkin çalışmada, veri tahrifatının ve sahteciliğin önlenmesi yoluyla etiketleme hatalarının azaldığını ve yönetim sürecinin daha şeffaf bir hâl aldığını ortaya koymuştur. Ayrıca Bamakan vd. (2022), blokszincirin özellikle tehlikeli tıbbi atıkların takibi ve bertarafı konularında güven inşa ettiğini ve uzun vadeli tedarikçi ilişkilerini desteklediğini belirtmektedir. Song vd. (2022) ise blokszincir destekli bilgi platformlarının asimetrik şifreleme ve çok kanallı yapı gibi unsurlarıyla veri gizliliğini ve bilgi paylaşım güvenliğini artırdığını ifade etmektedir.

Bilgi teknolojilerinin tıbbi atık yönetiminde güven oluşturuıcı etkileri, yalnızca blokszincirle sınırlı kalmayıp genel BT uygulamaları bağlamında da desteklenmektedir. Pournader vd. (2020), atık taşıma süreçlerinde bilgi teknolojilerinin şeffaflık, izlenebilirlik ve güveni artırdığını belirtirken; Sløgedal ve Starling (2020), BT'nin atık paketlerinin güvenli biçimde tanımlanması ve izlenmesi için etkin araçlar sunduğunu ifade etmektedir. Ancak teknoloji entegrasyonuna ilişkin bazı zorluklar da literatürde vurgulanmaktadır. Sharma ve Joshi (2021) ile Ferri vd. (2021), güvenlik açıkları, uyumluluk problemleri ve yüksek maliyet gibi unsurların, blokszincir gibi teknolojilerin benimsenmesinde önemli engeller oluşturduğuna dikkat çekmektedir. Bu kapsamda yürütülen seçilmiş çalışmalar, Tablo 2.4'te özetlenmiş ve blokszincirin tıbbi atık yönetimi üzerindeki katkı alanları sistematik biçimde değerlendirilmiştir.

Özetle, tıbbi atık yönetimi çevresel sürdürülebilirlik ve halk sağlığı açısından kritik öneme sahip olup, mevcut sistemler izlenebilirlik, güvenlik ve operasyonel verimlilik gibi açılardan çeşitli yetersizlikler barındırmaktadır. Merkeziyetçi yapıların hâkim olduğu geleneksel sistemlerde şeffaf ve güvenilir veri paylaşımı sağlamak güçleşmektedir. Blokszincir teknolojisi ise merkeziyetsiz ve değiştirilemez kayıt yapısı sayesinde sürecin

güvenilirliğini artırmakta; sağlık kuruluşları, düzenleyici otoriteler ve geri dönüşüm tesisleri arasında gerçek zamanlı, şeffaf ve izlenebilir bir bilgi akışı sağlamaktadır.

Ancak literatürdeki birçok çalışma büyük ölçüde teorik çerçeveler ve kavramsal modellemeler üzerine odaklanmakta, teknolojinin karar destek süreçlerindeki somut etkilerini değerlendiren uygulamalı araştırmalar sınırlı kalmaktadır. Bu bağlamda, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri, blokzincir tabanlı sistemlerin farklı senaryolar altındaki katkı düzeylerini değerlendirmek ve en uygun uygulama alanlarını belirlemek açısından önemli bir araç sunmaktadır. Tıbbi atık yönetimi süreci; kaynak kullanımı, lojistik, çevresel etkiler ve yasal gereklilikler gibi çok boyutlu bileşenleri nedeniyle sistematik ve bilimsel temelli karar verme mekanizmalarına ihtiyaç duymaktadır. Bu doğrultuda, bu çalışma, blokzincir teknolojisinin tıbbi atık yönetiminde somut faydalarını ÇKKV teknikleri aracılığıyla analiz etmeyi amaçlamakta ve literatüre hem akademik hem de uygulama temelli katkı sunmayı hedeflemektedir.

Tablo 2.4. Blokzincir ve Tıbbi Atık Kavramlarının Çalışıldığı Literatür Örnekleri

Yazar	Yıl	Çalışma Konusu
Ahmad vd.,	2021	Covid 19 tıbbi ekipmanların tedariki
Torkayesh vd.,	2021	Tıbbi atık yönetiminde blokzincir uygulamasını engelleyen faktörler
Kassou vd.,	2021	Etkili ve verimli bir tıbbi atık yönetimi
Le vd.,	2022	Tıbbi atık yönetiminde paydaşlar arası etkileşim
Wang vd.,	2022	Tıbbi atık yönetiminde denetim modeli geliştirme
Sambare vd.,	2023	Çeşitli atık türlerine yönelik literatür tarama
Kumar vd.,	2024	Verimlilik sorunları ve akıllı sözleşme örnekleri
Sharma vd.,	2024	Kaynak optimizasyonu, rota planlaması
Mohamed vd.,	2024	Atık yönetiminin sağlık ve çevre riskleri
Kaladharan vd.,	2024	İlaç geri dönüşüm süreçleri
Ding vd.,	2024	Operasyonel verimlilik
Kaban vd.,	2025	Sıvı tıbbi atık yönetimine etki eden faktörler
Yingngam vd.,	2025	Biyomedikal atıklar, imha yöntemleri ve yönetmelikler
Ebrahimzadehsarvestani vd.,	2025	Tıbbi atık ve döngüsel ekonomi

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YÖNTEM

Bu çalışma, Sezgisel Bulanık Çok Kriterli Karar Verme (IF-MCDM) yaklaşımını önermektedir. Bu bağlamda, Sezgisel Bulanık Kümeler, IF-AHP ve IF-TOPSIS yöntemleri sırasıyla ele alınmaktadır.

Bulanık küme teorisi, ilk olarak Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiş olup, her bir elemanın $[0,1]$ aralığında bir üyelik derecesine sahip olabileceği varsayımına dayanmaktadır. Bu teorik çerçevede, bir elemanın kümeye tam olarak aitliği "1", kesinlikle ait olmaması ise "0" değeriyle ifade edilir; klasik yaklaşıma göre bu iki değer toplamının 1 olması beklenir. Ancak, gerçek yaşam problemlerinde bilgi eksikliği, belirsizlik veya değerlendirme güçlüğü gibi nedenlerle bu toplamın her zaman 1'e eşit olmayabileceği görülmüştür (Zadeh, 1965). Bu durum, yalnızca belirli ve kesin verilerin değil; aynı zamanda belirsiz, bilinmeyen ve tereddüt içeren değerlendirmelerin de karar süreçlerine dâhil edilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

Örneğin, bir sıralama sınavında X noktasına yerleşen bir öğrencinin durumu, öğrencinin belirli bir üyelik derecesine sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, bu öğrencinin "başarılı bir konumda olduğu" şeklindeki değerlendirme, nesnel bir ölçüme değil; öznel yargılara dayalı bulanık ve belirsiz bir ifadedir. Bu tür belirsizliklerin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilebilmesi amacıyla Atanassov, Zadeh'in bulanık küme teorisinde yer almayan bilgi eksikliği, belirsizlik ve tereddüt gibi unsurları da dikkate alarak **sezgisel bulanık küme** (intuitionistic fuzzy set) kavramını geliştirmiştir.

Sezgisel bulanık kümeler, karar vericilerin uzmanlık düzeylerini yalnızca üyelik derecesiyle değil; aynı zamanda üyelik dışılık ve tereddüt dereceleriyle de ifade edebilmesine olanak tanıyan bir yapı sunmaktadır. Bu özellikleriyle, karar verme sürecinde daha nesnel, güvenilir ve kapsamlı değerlendirmelere ulaşılmasını mümkün kılan etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu yaklaşımda, bir elemanın yalnızca kümeye ait olup olmadığı değil, hangi düzeyde ait olduğu da dikkate alınmakta; böylece kararlar daha hassas ve çok boyutlu bir temele oturtulmaktadır (Atanassov, 1986).

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), karar vericiler tarafından belirlenen kriterler doğrultusunda çok sayıda alternatif arasından en uygun seçeneğin öncelik sırasını

belirlemeye yönelik çok kriterli bir karar verme yöntemidir. Bu yöntemin önemli avantajlarından biri, yalnızca nicel değil, nitel kriterlerin de değerlendirilebilmesine olanak sağlamasıdır. Ayrıca, birden fazla karar vericinin sürece dahil edilmesi mümkündür ve bireylerin deneyim, bilgi birikimi, sezgi ve yargıları, doğrusal ağırlıklandırma yöntemi aracılığıyla karar modeline entegre edilebilmektedir (Özbek & Eren, 2012).

AHP yönteminin başlıca avantajları arasında; çok sayıda kriterin aynı anda değerlendirilebilmesi, karar vericilerin sezgisel yargılarının sürece dahil edilebilmesi, kullanım kolaylığı sunması, ikili karşılaştırmalarla tutarlılık düzeyinin ölçülebilmesi ve sonuçların esnek biçimde analiz edilebilmesi yer almaktadır (Bañuelas & Antony, 2004). Bununla birlikte, yöntemin bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Özellikle ikili karşılaştırmaların zaman alıcı olması, yeni bir alternatif eklendiğinde sıralamanın değişebilmesi, kriterlerin hatalı belirlenmesi durumunda sonuçların güvenilirliğinin azalması ve kriterlerin alternatiflerden bağımsız olarak tanımlanması gibi hususlar bu sınırlamalar arasında sayılmaktadır (Akyıldız & Menteş, 2017).

Bu yöntemin belirsizlikleri içeren genişletilmiş versiyonu olarak bulanık AHP, karar vericilerin tereddüt düzeylerini de dikkate alan daha ileri bir modeli ise sezgisel bulanık AHP (IF-AHP) olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, tıbbi atık yönetim sürecinde blokzincir teknolojisinin uygulanabilirliği problemine yönelik karar sürecinde, uzman grubunun kriterlere ilişkin değerlendirmelerindeki görüş ayrılıkları, kesin bir sıralamanın yapılamaması, kriterlere ilişkin bazı belirsizliklerin bulunması ve insan düşünce yapısındaki karmaşıklığın analiz sürecine dahil edilmesi gibi nedenlerle, en uygun çözümün belirlenebilmesi amacıyla sezgisel bulanık AHP yöntemi tercih edilmiştir.

TOPSIS yöntemi ise, karar alternatiflerinin tüm kriterleri tam olarak karşılayamadığı durumlarda, en iyi seçeneğe en yakın ve en kötü seçeneğe en uzak alternatifin belirlenmesini amaçlayan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir (Wang & Elhag, 2006). Karar sürecinde, bazen hiçbir alternatif belirlenen tüm kriterleri ideal düzeyde sağlayamayabilmektedir. Böyle durumlarda, kritere dayalı olarak en uygun çözüme ulaşmak gerekmektedir (Bedirhanoglu & Lezki, 2018).

TOPSIS yöntemi, karmaşık matematiksel modellere ve algoritmalara sahip olmaması, sonuçların kolayca yorumlanabilmesi ve uygulanabilirliğinin basit olması gibi avantajlar sunmaktadır. Belirsizlik içeren problemlerde kullanılan genişletilmiş versiyonu bulanık TOPSIS, karar vericilerin kesinlikten uzak olduğu ya da tereddüt yaşadığı durumları da içeren gelişmiş versiyonu ise sezgisel bulanık TOPSIS (IF-TOPSIS) olarak adlandırılmaktadır.

Bu çalışmada, hem olumlu hem de olumsuz çözümleri dikkate alan sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak, belirlenen kriterlere göre en uygun alternatifin seçilmesi amaçlanmıştır.

Özetle bu çalışmada faktörlerin sıralanmasında uzman görüşleri arasında farklılıklar ve belirsizlikler bulunması nedeniyle, en uygun çözümün belirlenebilmesi için IF-AHP yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca, hiçbir alternatifin tüm kriterleri tam olarak karşılamaması nedeniyle, ideal çözüme en yakın sonucu sağlayacak en uygun konumun belirlenmesi amacıyla IF-TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

3.1. SEZGİSEL BULANIK KÜMELER

Sezgisel Bulanık Küme Teorisi, Atanassov tarafından 1986 yılında geliştirilmiştir. Atanassov, klasik bulanık mantık teorisinin tanımının doğru olduğunu, ancak gerçek hayatta her zaman pratik olmadığını öne sürmüştür. Sezgisel bulanık kümeler, bir kavramın tanımlanması için mevcut bilgilerin yetersiz olduğu durumlarda kullanılan alternatif bir yaklaşımdır (Kumar & Yadav, 2012).

Sezgisel bulanık küme teorisinde, bir elemanın herhangi bir kümeye ait olma derecesi, ait olmama derecesi ve tereddüt derecesi belirlenmektedir (Atanassov, 1986). Klasik bulanık kümelerde, bir elemanın küme üyelik derecesi μ ile gösterilirken, ait olmama derecesi $1 - \mu$ olarak tanımlanmaktadır. Ancak, klasik bulanık mantık yaklaşımı belirsizliği yeterince yansıtmadığı için bazı durumlarda etkili bir yöntem değildir. Çünkü bazı durumlarda, üyelik derecesi ile üyelik dışılık derecesinin toplamı 1'den küçük olabilmektedir (Atlas & Bedirhanoğlu, 2018).

X sabit bir küme olmak üzere ve $A \subset X$ koşulu altında, X kümesinde tanımlı bir sezgisel bulanık küme $\tilde{A}$ şu şekilde ifade edilmektedir (Xu & Liao, 2014).

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x), \vartheta_A(x)) : x \in X\} \quad (1)$$

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1] \text{ ve } \vartheta_A: X \rightarrow [0,1] \text{ her } x \in X; 0 \leq \mu_A(x) + \vartheta_A(x) \leq 1 \quad (2)$$

Bu bölümde, μ_A üyelik fonksiyonu ve ϑ_A üyelik dışılık fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Bunun yanı sıra, sezgisel bulanık kümelerde bir tereddüt derecesi (π) bulunmaktadır. Tereddüt derecesi, herhangi bir konudaki kararsızlık ve bilgi eksikliğini ifade etmektedir. π değerinin azalması, bilginin kesinliğinin artması anlamına gelmektedir. Diğer bir durumda, π 'nin sıfıra eşit olması, bilginin kesin olduğunu ifade etmektedir. Bu durum, sezgisel bulanık kümelerin tanımını açıklamaktadır (Efe vd., 2015). İlgili ifadelerin matematiksel gösterimi aşağıda verilmiştir.

$$\pi_A(x) = 1 - (\mu_A(x) + \vartheta_A(x)) \quad (3)$$

$$0 < \pi_A(x) < 1$$

3.2. SEZGİSEL BULANIK AHP (IF-AHP)

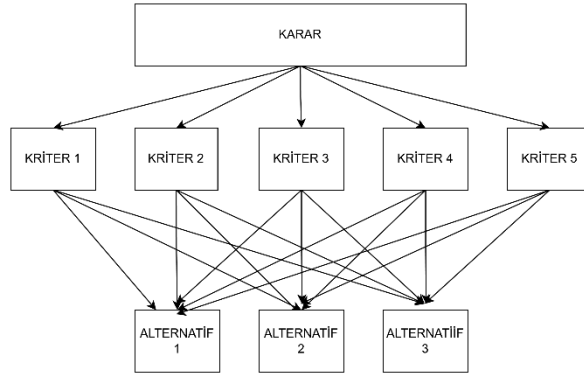
Bu çalışmada, belirlenen kriterlerin göreceli önem düzeylerinin belirlenmesinde **IF-AHP** yöntemi kullanılmıştır. IF-AHP, klasik AHP yönteminin belirsizlik içeren ve karar vericinin kesin yargılar geliştirmekte zorlandığı durumlara uyarlanmış bir versiyonudur. Özellikle karmaşık ve çok kriterli karar problemlerinde, karar vericinin sezgilerini, bilgi eksikliklerini ve tereddütlerini modelleme imkânı sunarak daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar. Sezgisel Bulanık AHP yönteminin temel aşamaları Xu ve Liao (2014) tarafından aşağıdaki biçimde özetlenmektedir.



Şekil 3.1. IF-AHP Yöntem Aşamaları

3.2.1. Hiyerarşi, Kriterler ve Alternatiflerin Tanımlanması

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemlerinin temel amacı, karar sürecini etkileyen çeşitli faktörleri sistematik bir şekilde değerlendirmek ve bu faktörleri hiyerarşik bir yapı içerisinde düzenlemektir. Bu yapı, karar problemini destekleyen ana kriterleri, varsa bunlara bağlı alt kriterleri ve değerlendirmeye alınan alternatifleri kapsayacak şekilde kurgulanır. Aşağıda, bu yapının örnek bir hiyerarşik gösterimi sunulmaktadır.



Şekil 3.2. Hiyerarşik Yapı Örneği

3.2.2. Karar Vericilerin Katkı Ağırlıklarının Belirlenmesi

Karar vericilerin önem düzeylerini belirlemek için dilsel değişkenler kullanılmaktadır. Bu ağırlıklar, dilsel ifadelerin sezgisel bulanık sayılarla ifade edilmesiyle belirlenir. k . karar vericinin ağırlığı aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

K , karar vericilerin sayısını temsil eder ve $\lambda = \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_k$ karar vericilerin ağırlık vektörüdür. Burada λ_k , sıfırdan büyük bir sayı olmak zorundadır ($\lambda_k \geq 0$). Karar vericiler grubunun önem düzeyleri, $k = 1, 2, \dots, K$ için şu şekilde hesaplanır:

$$k=1,2,\dots,K \text{ and } \sum_{k=1}^K \lambda_k = 1$$

Bu ifade, karar vericilerin önem ağırlıklarının toplamının 1 olduğunu gösterir.

$$\lambda_k = \frac{(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \theta_k} \right))}{\sum_{k=1}^K (\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \theta_k} \right))} \text{ ve } \sum_{k=1}^K \lambda_k = 1 \quad (4)$$

Karar vericilerin değerlendirilmesinde birden fazla dilsel terim ölçeği kullanılabilir. **Boran vd. (2009)** çalışmasından alınan örnek dilsel değişkenler tablosu Şekil 3.1’de sunulmaktadır.

Tablo 3.1. Karar Vericilerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Değişkenler

Dilsel Değişkenler		Sezgisel Değerler		
		μ	ϑ	π
Çok önemli	ÇÖ	0.90	0.10	0.00
Önemli	Ö	0.75	0.20	0.05
Orta seviyede önemli	OSÖ	0.50	0.45	0.05
Önemsiz	Ö	0.35	0.60	0.05
Oldukça önemsiz	OÖ	0.10	0.90	0.00

3.2.3. Karar Vericilerin Değerlendirmelerinin Elde Edilmesi

IF AHP dilsel değişken ölçeği (Tablo 4.2) kullanılarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Dilsel veriler, sezgisel bulanık matris formatına dönüştürüldükten sonra hiyerarşik yapı oluşturulur (Abdullah & Najib, 2016).

Tablo 3.2. İkili Karşılaştırmalarda Kullanılan Dilsel Değişken Tablosu

Dilsel Değişken	ÖLÇEK	SEZGİSEL DEĞERLER	TERS KARŞILIKLAR
Eşit Önemde	EÖ	1	0.02 0.18 0.80
Ara Değer	AD	2	0.06 0.23 0.70
Orta Derecede Daha Önemli	ODÖ	3	0.13 0.27 0.60
Ara Değer	AD	4	0.22 0.28 0.50
Güçlü Bir Şekilde Daha Önemli	GŞÖ	5	0.33 0.27 0.40
Ara Değer	AD	6	0.47 0.23 0.30
Çok Güçlü Bir Şekilde Daha Önemli	ÇGŞÖ	7	0.62 0.18 0.20
Ara Değer	AD	8	0.80 0.10 0.10
Kesinlikle Daha Önemli	KDÖ	9	1.00 0.00 0.00

3.2.4. Grup Karar Matrisinin Oluşturulması

Grup karar matrisi (R_{ij}), her bir karar verici için bireysel ikili karşılaştırma matrislerinin birleştirilmesinden sonra oluşturulmaktadır. Bu süreç, Eşitlik (5) ile ifade edilmektedir.

Sonuçta elde edilen (R_{ij}), matrisi, IF-AHP yönteminde her bir kriterin ağırlıklarını temsil etmektedir. Ayrıca, (R_{ij}), matrisi, alternatifler için belirlenen kriterler doğrultusunda alternatiflerin ağırlıklarını da ifade etmektedir. Bu matris, karar vericilerin değerlendirmelerinin ortak bir grup kararı haline getirilmesini sağlamaktadır.

$$R_{ij} = \begin{pmatrix} 1 - \prod_{k=1}^K (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_K}, \\ \prod_{k=1}^K ((\vartheta_{ij}^{(k)})^{\lambda_K}), \\ \prod_{k=1}^K (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_K} - \prod_{k=1}^K ((\vartheta_{ij}^{(k)})^{\lambda_K}) \end{pmatrix} \quad (5)$$

R_{ij} k. karar vericinin i. alternatif için j. kritere ilişkin belirlediği sezgisel bulanık değeri ifade etmektedir.

$(\mu_{ij}^{(k)})^{\lambda k}$ k. karar vericinin değerlendirmesine göre, i. alternatifin j. kriteri karşılama derecesini ifade etmektedir.

3.2.5. Tutarlılık Oranının (CR) Kontrol Edilmesi

Eşitlik (6), tutarlılık oranını (CR) kontrol etmek için kullanılmaktadır. IF-AHP ağırlıkları için tutarlılık oranı, Saaty tarafından önerilen (Saaty, 1977) Rastgele İndeks (RI) kullanılarak tahmin edilmektedir. RI değerleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Tutarlılık Oranları

N	1-2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.52	1.54	1.56	1.57	1.59

$$CR = \frac{RI - \frac{\sum \pi_{ij}(x)}{n}}{n-1} \quad (6)$$

N, matris elemanlarının sayısını; $\pi_{ij}(x)$, tereddüt değerini ifade etmektedir. CR değeri 0,10'a eşit veya daha küçükse kabul edilebilir bir değerdir. Aksi takdirde, yargılar tutarlı değildir ve görüşlerin yeniden toplanması gerekmektedir.

3.2.6. Durulaştırma Öncesi Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Kriterlerin genel ağırlıkları ($\tilde{w}_j$) ve her bir alternatifin alt kriterler üzerindeki ağırlıkları ($\tilde{w}_{ij}$) kullanılarak, her bir alternatifin hedef üzerindeki genel ağırlığı ($\tilde{W}_i$) Eşitlik (7) ile hesaplanmaktadır.

$$\tilde{W}_i = \bigoplus_{j=1}^n (\tilde{w}_j \otimes \tilde{w}_{ij}) \quad (7)$$

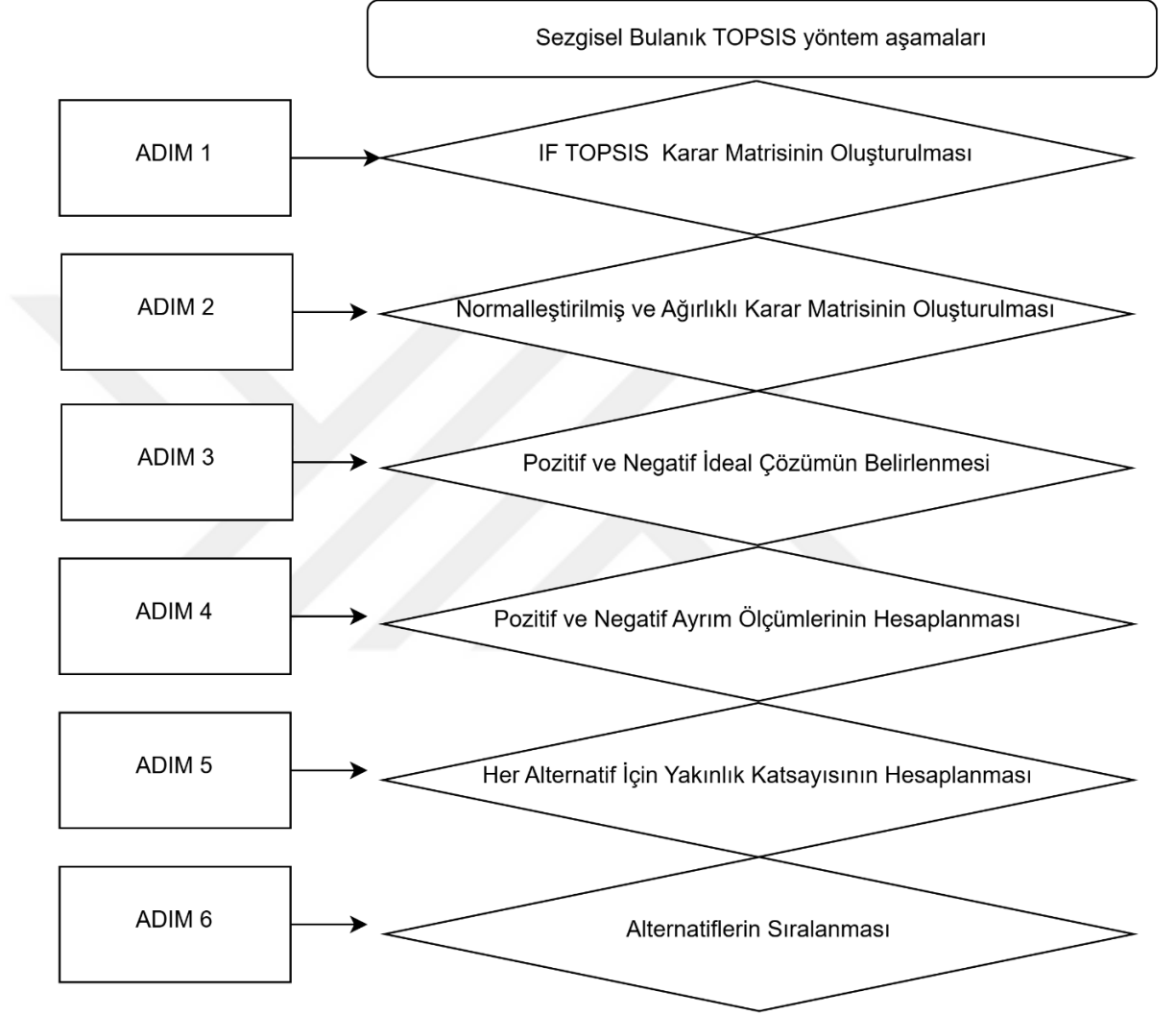
3.2.7. Nihai Kriter Ağırlıklarının Elde Edilmesi

Eşitlik (8) kullanılarak, genel ağırlıkları sıralamak için kullanılan entropi ağırlıkları hesaplanmaktadır (Abdullah & Najib, 2016).

$$\bar{w}_i = -\frac{1}{n \ln 2} [\mu_j \ln \mu_j + \vartheta_j \ln \vartheta_j - (1 - \pi_j) \ln(1 - \pi_j) - \pi_j \ln 2] \quad (8)$$

3.3. SEZGİSEL BULANIK TOPSIS (IF-TOPSIS) METODU

Bu çalışmada alternatifleri sıralamak için IF TOPSIS yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Boran vd., 2009).



Şekil 3.3. Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntem Aşamaları

3.3.1. IF TOPSIS Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu adım, karar vericilerin alternatiflere yönelik değerlendirmelerinin birleştirilmesiyle elde edilir. Bu süreçte, tüm karar vericilerin görüşleri, bilgi kaybı olmaksızın grup düşüncesi olarak bir araya getirilmelidir.

$$r_{ij} = [1 - \prod_{k=1}^K (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^K \vartheta_{ij}^{(k)\lambda_k}, \prod_{k=1}^K (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^K \vartheta_{ij}^{(k)\lambda_k}] \quad (9)$$

$R_{ij} = (\mu_{ij}, \vartheta_{ij}, \pi_{ij})$, ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$), R , birleştirilmiş karar matrisinin bir ögesidir.

$$R = \begin{bmatrix} \mu_{11}, \vartheta_{11}, \pi_{11} & \mu_{12}, \vartheta_{12}, \pi_{12} & \dots & \mu_{1n}, \vartheta_{1n}, \pi_{1n} \\ \mu_{21}, \vartheta_{21}, \pi_{21} & \mu_{22}, \vartheta_{22}, \pi_{22} & \dots & \mu_{2n}, \vartheta_{2n}, \pi_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{m1}, \vartheta_{m1}, \pi_{m1} & \mu_{m2}, \vartheta_{m2}, \pi_{m2} & \dots & \mu_{mn}, \vartheta_{mn}, \pi_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

3.3.2. Normalleştirilmiş ve Ağırlıklı Karar Matrisinin Oluşturulması

Kriter ağırlıkları belirlendikten sonra, sırasıyla Eşitlik (10-11) kullanılarak normalleştirilmiş ve ağırlıklı karar matrisleri elde edilir.

$$\hat{R} = R \otimes W = (\mu'_{ij}, \vartheta'_{ij}) = \{(x, \mu_{ij}, \mu_j, \vartheta_{ij} + \vartheta_j - \vartheta_{ij} \cdot \vartheta_j), x \in X\} \quad \pi_{ij} = 1 - \vartheta_{ij} - \vartheta_j - \mu_{ij} \cdot \mu_j + \vartheta_{ij} \cdot \vartheta_j \quad (10)$$

$$\hat{R} = \begin{bmatrix} \mu'_{11}, \vartheta'_{11}, \pi'_{11} & \mu'_{12}, \vartheta'_{12}, \pi'_{12} & \dots & \mu'_{1n}, \vartheta'_{1n}, \pi'_{1n} \\ \mu'_{21}, \vartheta'_{21}, \pi'_{21} & \mu'_{22}, \vartheta'_{22}, \pi'_{22} & \dots & \mu'_{2n}, \vartheta'_{2n}, \pi'_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu'_{m1}, \vartheta'_{m1}, \pi'_{m1} & \mu'_{m2}, \vartheta'_{m2}, \pi'_{m2} & \dots & \mu'_{mn}, \vartheta'_{mn}, \pi'_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{21} & \dots & r'_{1n} \\ r'_{21} & r'_{22} & \dots & r'_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r'_{m1} & r'_{m2} & \dots & r'_{mn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$r'_{ij} = (\mu'_{ij}, \vartheta'_{ij}, \pi'_{ij})$, ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$), $\hat{R}$ birleştirilmiş karar matrisinin bir ögesidir.

3.3.3. Pozitif ve Negatif İdeal Çözümün Belirlenmesi

A^* pozitif ideal çözümü, A^- ise negatif ideal çözümü temsil etmektedir.

$$A^* = (r_1'^*, r_2'^*, \dots, r_n'^*), r_j'^* = (\mu_j'^*, \vartheta_j'^*, \pi_j'^*), j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

$$A^- = (r_1'^-, r_2'^-, \dots, r_n'^-), r_j'^- = (\mu_j'^-, \vartheta_j'^-, \pi_j'^-), j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

$$\mu_j'^* = \{(\max \{ \mu'_{ij} \}, j \in J_1), (\min \{ \mu'_{ij} \}, j \in J_2) \} \quad (14)$$

$$\vartheta_j'^* = \{(\min \{ \vartheta'_{ij} \}, j \in J_1), (\max \{ \vartheta'_{ij} \}, j \in J_2) \} \quad (15)$$

$$\pi_j'^* = \{(1 - \max \{ \mu'_{ij} \} - \min \{ \vartheta'_{ij} \}, j \in J_1) \} \quad (16)$$

$$= \{(1 - \min \{ \mu'_{ij} \} - \max \{ \vartheta'_{ij} \}, j \in J_2) \}$$

$$\mu_j'^- = \{(\min \{ \mu'_{ij} \}, j \in J_1), (\max \{ \mu'_{ij} \}, j \in J_2) \} \quad (17)$$

$$\vartheta_j'^- = \{(\max \{ \vartheta'_{ij} \}, j \in J_1), (\min \{ \vartheta'_{ij} \}, j \in J_2) \} \quad (18)$$

$$\begin{aligned}\pi_j'^- &= \{(1 - \min \{ \mu'_{ij} \} - \max \{ \vartheta'_{ij} \}, j \in J_1 \}) \\ &= \{(1 - \max \{ \mu'_{ij} \} - \min \{ \vartheta'_{ij} \}, j \in J_2 \})\end{aligned}\quad (19)$$

3.3.4. Pozitif ve Negatif Ayrım Ölçümlerinin Hesaplanması:

Bu ölçümün hesaplanması için iki farklı yöntem kullanılabilir: Hamming ve Öklid. Bu çalışmada Hamming yöntemi tercih edilmiştir. S_i^* and S_i^- ilgili formüle (20 ve 21) göre hesaplanmaktadır.

$$S_i^* = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [|\mu'_{ij} - \mu_j'^*| + |\vartheta'_{ij} - \vartheta_j'^*| + |\pi_{ij}'^- - \pi_j'^*|], i = 1, 2, \dots, m \quad (20)$$

$$S_i^- = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [|\mu'_{ij} - \mu_j'^-| + |\vartheta'_{ij} - \vartheta_j'^-| + |\pi_{ij}'^- - \pi_j'^-|], i = 1, 2, \dots, m \quad (21)$$

3.3.5. Her Alternatif İçin Yakınlık Katsayısının Hesaplanması

Adım 4'de elde edilen sonuçlara göre, yakınlık katsayısı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$C_i^* = ((S_i^-) / (S_i^* + S_i^-)), 0 \leq C_i^* \leq 1, i=1, 2, \dots, m \quad (22)$$

3.3.6. Alternatiflerin Sıralanması

Alternatifler, yakınlık katsayılarının büyüklüğüne göre sıralanmaktadır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

Bu bölümde ilk olarak çalışmanın amacı ve önemi belirtilmiş olup, daha sonra çalışmada kullanılacak olan IF-AHP ve IF-TOPSIS yöntemlerinin uygulama adımları aracılığı ile tıbbi atık yönetiminde blokzincir teknolojisinin katkısı ve uygunluğu değerlendirilmiştir.

4.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE ÖNEMİ

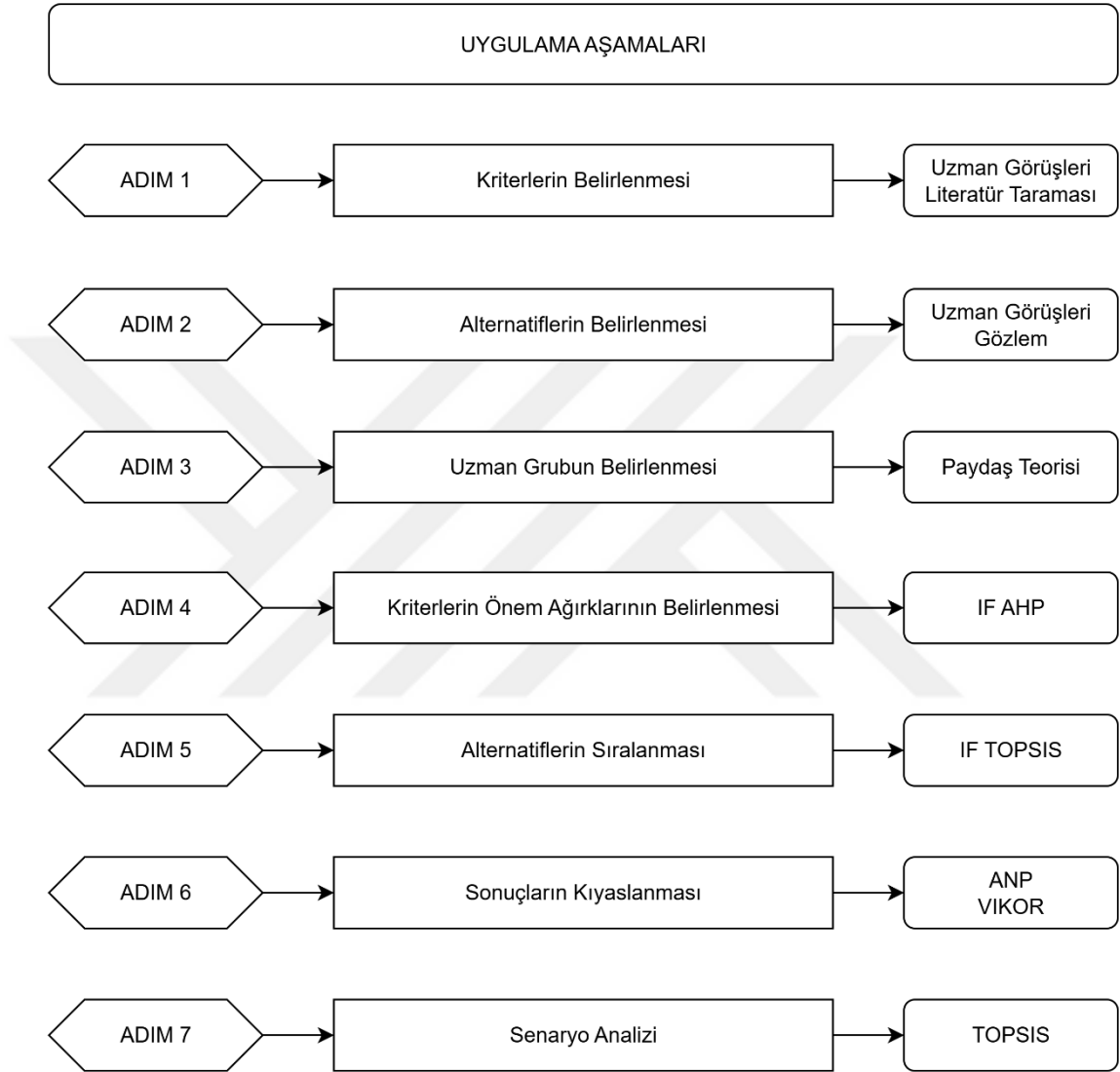
Günümüzde tıbbi atık yönetimi, halk sağlığı ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir konu haline gelmiştir. Özellikle hastaneler, laboratuvarlar ve sağlık merkezlerinden kaynaklanan tıbbi atıkların doğru şekilde toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesi büyük önem taşımaktadır. Ancak mevcut yönetim süreçlerinde izlenebilirlik, şeffaflık ve denetlenebilirlik gibi temel unsurlar yeterince sağlanamamaktadır. Bu eksiklikler, yanlış bertaraf işlemleri, yetkisiz erişim ve kayıt manipülasyonu gibi sorunlara yol açabilmektedir.

Blokzincir teknolojisi, dağıtık defter yapısı ve değiştirilemez kayıt sistemi sayesinde tıbbi atık yönetiminde güvenilir bir çözüm sunma potansiyeline sahiptir. Bu çalışma, blokzincirin tıbbi atık yönetim sürecine nasıl entegre edilebileceğini, süreçteki zorlukları nasıl azaltabileceğini ve mevcut sistemlere nasıl katkı sağlayabileceğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Blokzincirin sağladığı şeffaflık ve izlenebilirlik sayesinde, yetkisiz erişimler engellenebilmekte ve süreçteki her adım güvenli bir şekilde kayıt altına alınabilmektedir.

Ayrıca, blokzincir teknolojisinin tıbbi atık yönetiminde karar alma süreçlerini nasıl iyileştirebileceği ve yetkilendirilmiş kurumların denetim mekanizmalarını nasıl güçlendirebileceği araştırılmaktadır. Çalışmanın önemi, yalnızca teknik bir çözüm önerisi sunmakla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik, personel güvenliği ve yasal uyumluluk gibi kritik konulara da katkı sağlamasından kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, blokzincir tabanlı bir sistemin uygulanabilirliği değerlendirilerek, mevcut tıbbi atık yönetimi süreçlerine getireceği yenilikçi çözümler ortaya konulacaktır.

4.2. UYGULAMA AŞAMALARI

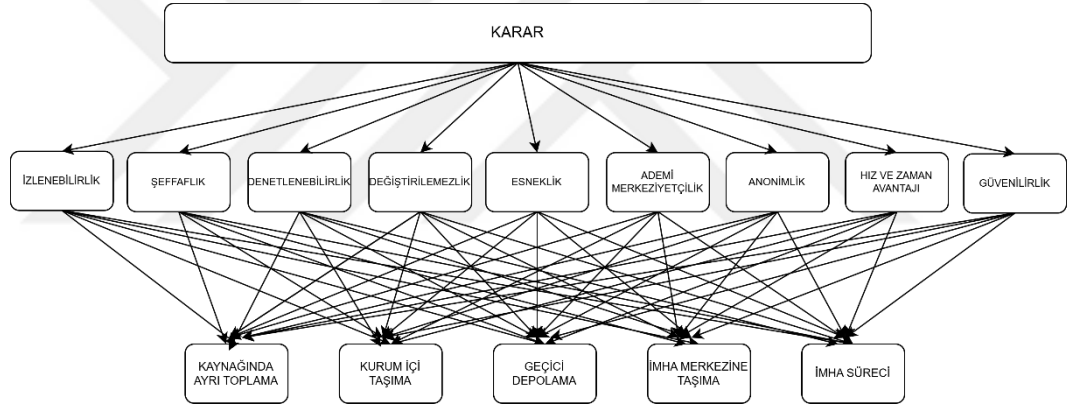
Çalışmada tıbbi atık yönetim sürecinde blokzincir teknolojisinin uygunluğunun ve katkısının değerlendirilmesi amacıyla önerilen yöntemin aşamaları şu şekildedir;



Şekil 4.1. Uygulama Aşamaları

Bu çalışmada planlanan uygulama süreci, sistematik ve aşamalı bir yaklaşımla yedi temel adımdan oluşmaktadır. İlk aşamada, araştırmada kullanılacak kriterler geniş kapsamlı bir literatür taraması ile belirlenmiş ve ilgili alan yazınındaki mevcut çalışmalar doğrultusunda ön değerlendirme yapılmıştır. Daha sonra, uzman görüşleri alınarak kriterler üzerinde detaylı bir analiz gerçekleştirilmiş ve nihai kriter kümesi oluşturulmuştur. İkinci aşamada, alternatifleri oluşturan tıbbi atık yönetim sürecine ilişkin

aşamalar, ilgili literatür ve hastane ortamında yapılan gözlemler ışığında belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, karar verme sürecine katkı sağlayacak paydaş grup teorisi çerçevesinde, kriterleri ve alternatifleri değerlendirecek uzman grupları oluşturulmuştur. Dördüncü aşamada, belirlenen kriterlerin göreceli önem dereceleri, IF-AHP yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Beşinci aşamada ise elde edilen kriter ağırlıkları temel alınarak IF-TOPSIS yöntemi uygulanmış ve alternatifler önem derecelerine göre sıralanmıştır. Altıncı aşamada, dördüncü ve beşinci aşamada yapılan analizlerin doğruluk ve güvenilirliğini artırmak amacıyla ANP ve VIKOR yöntemleri kullanılarak sonuçlar yeniden hesaplanmış ve elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır. Son aşamada ise kriter ağırlıkları farklılaştırılarak alternatiflerin kriter ağırlık değişimlerine duyarlılığı analiz edilmiş ve sonuçların sağlamlığı test edilmiştir. Çalışmanın hiyerarşik yapısı Şekil 4.2’de detaylı olarak sunulmaktadır.



Şekil 4.2. Çalışma Hiyerarşik Yapısı

Çalışmada IF-AHP ve IF-TOPSIS yöntemlerinin uygulanması detaylı bir şekilde aşağıda açıklanmıştır. Kriter ağırlıklandırma ve alternatif sıralamada Microsoft Excel Office paket programı kullanılmıştır.

4.2.1. Kriterlerin Belirlenmesi

Mevcut literatür taraması (Nakamoto, 2008; Swan, 2015; Badzar, 2016; Walport, 2016; Zheng vd., 2017; Tasca & Tessone, 2017; Dai, 2017; Karaaslan & Akbaş, 2017; Niforos, 2017; Singh & Kim, 2018; Berryhill vd., 2018; Sheldon, 2018; Li vd., 2020; Allessie vd., 2019; Dimitripoulos, 2020; Velmurugadass vd., 2021) ve uzmanlar ile

yapılan görüşmeler doğrultusunda, blokzincir teknolojisinin karar verme süreçlerinde sağladığı dokuz temel fayda kriteri olarak belirlenmiştir. Uzmanlar; kamu, özel sektör ve akademiye temsil eden, tıbbi atık yönetimi, çevre sağlığı ve sürdürülebilirlik gibi alanlarda deneyim sahibi kişilerden oluşmaktadır. Atık yönetiminden sorumlu hastane personeli, yerel yönetim temsilcileri, çevre ve şehircilik uzmanları, il sağlık müdürlüğü yetkilileri, imha tesisi sorumluları ve akademisyenlerden oluşan bu katılımcı profili, kriterlerin hem teorik hem pratik açıdan geçerliliğini güçlendirmeyi amaçlamıştır. Söz konusu kriterler, ilgili çalışmaların bulguları ve uzman değerlendirmeleri dikkate alınarak belirlenmiş, sektörel uygulamalar ve teorik yaklaşımlar ışığında detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu kriterler, blokzincir teknolojisinin etkinliğini ve uygulanabilirliğini değerlendirme noktasında önemli bir referans oluşturmaktadır. Belirlenen kriterler aşağıda sunulmaktadır.

Tablo 4.1. Çalışmada Kullanılan Kriterler ve Açıklamaları

KRİTER	AÇIKLAMA
K ₁ :İzlenebilirlik	Blokzincir teknolojik yapısı sayesinde sistemdeki tüm işlemlerin izlenebilmesine olanak tanımaktadır. Zincirde yapılan tüm işlemler bloklara eklenirken zaman damgası kullanıldığı için tüm verilerin geriye dönük takibi kolaylıkla ve şeffaf bir şekilde yapılabilmektedir.
K ₂ :Şeffaflık	Blokzinciri farklı kılan özelliklerinden biri olan dağıtık defter teknolojisine sahip olması sistemde yer alan tüm verilerin tüm üyeler tarafından görüntülenebilir ve doğrulanabilir olmasına imkan tanımaktadır. Bu durum verilerin veya sistemin suistimal edilmesini engelleyerek şeffaflığı sağlamaktadır.
K ₃ :Denetlenebilirlik	Blokzincire kaydedilen işlemler değiştirilemez ve geri alınamaz bir şekilde kayıt edilmektedir ve bu durum denetlenebilirliği kolaylaştırmaktadır. Sistemde yer alan veriler herhangi bir merkezi kurum aracılığı olmadan doğrulanabilmekte ve denetlenebilmektedir.
K ₄ :Değiştirilemezlik	Blokzincir sisteminde kullanılan hash fonksiyonları herhangi bir blokta gerçekleşen eylemi tüm zincire dahil ederek kaydettiği için ilgili verilerin geri alınması veya değiştirilmesi artık mümkün olmamaktadır. Bu durum finans, sağlık vb., alanlarda avantaj ve güvenilirlik sağlamaktadır.
K ₅ :Esneklik	Blokzincir özellikle akıllı sözleşmeler gibi vasıtalar aracılığıyla birçok işlemi otomatik yapabilme noktasında firmalara, kurumlara esnek çözümler sunabilmektedir. Örneğin bitcoin gibi sanal paralarda kullanılan akıllı sözleşme örnekleri farklı sektörlerde de rahatlıkla uygulanabilmektedir.

Tablo 4.1. (Devamı)

K ₆ :Ademi Merkeziyetçilik	Dağıtık bir defter teknolojisine sahip olan blokzincir herhangi bir 3. kuruluşun veya merkezi otoritenin kontrolünde değildir. Bu sistemde işlemler sistem ve sistem üyeleri tarafından doğrulanmakta ve onaylanmaktadır. Bu durum merkezi otoriteye bağlılığı azaltmakta ve işlemlerin daha hızlı ve güvenli bir şekilde yürütülmesini sağlamaktadır.
K ₇ :Anonimlik	Blokzincire dahil olan üyeler özel bilgilerini paylaşmadan sistemde işlemler yapabilmekte, onay alıp-verebilmekte veya sistemi inceleyebilmektedirler. Örneğin bitcoin gibi finansal işlemlerde kullanıcı işlemini kendine has ve benzersiz cüzdanı üzerinden yapabilmekte ve kimliğini saklayabilmektedir. Kişisel verilerin gizliliği ve finansal işlemler açısından bu durum kullanıcılara büyük kolaylık sunmaktadır.
K ₈ : Hız ve Zaman Avantajı	Akıllı sözleşmeler blokzincirde birçok işlemi otomatik olarak yönetebilen komut dizileridir. Gereken şartlar sağlandığında işlemleri devam ettirme, onaylama, iptal etme işlemlerini herhangi bir aracı olmadan yapabilen akıllı sözleşmeler, birçok alanda işlemlerin daha hızlı ve doğru bir şekilde yürütülmesine olanak sunmaktadır. Bu durum üyelere ciddi anlamda hız ve zaman avantajı kazandırmaktadır.
K ₉ :Güvenilirlik	Blokzincirde verilerin kontrolünün, gelişiminin veya değişiminin merkezi bir otorite tarafından değil de zincir üyeleri tarafından yapılabilmesi, veriler üzerinde değişiklik ihtimalini minimum düzeye indirmektedir. Süreçte yapılan tüm işlemlerin detaylı bir şekilde kaydedilmesi, yapılan değişikliklerin ağdaki tüm üyeler tarafından onaylanması gerekliliği blokzincirin tüm halkalarında güvenilirliği en yüksek seviyeye çıkarmaktadır. Bu durum günümüz teknoloji dünyasının problemlerinden kabul edilen siber saldırılara karşı büyük avantaj sağlamaktadır.

Literatürde blokzincir teknolojisinin sunduğu birçok temel fayda değerlendirilmiş ve tıbbi atık yönetim sürecine en uygun olan 9 kriter belirlenmiştir. Uzman görüşleri doğrultusunda seçilen bu kriterler izlenebilirlik, şeffaflık, denetlenebilirlik, değiştirilemezlik, esneklik, ademi merkeziyetçilik, anonimlik, hız ve zaman avantajı ile güvenilirlik olarak belirlenmiştir. Diğer bazı kriter ise çalışma bağlamında doğrudan önceliklendirilmeyerek dışarıda bırakılmıştır. Örneğin veri bütünlüğü, seçilen kriterler arasında yer alan izlenebilirlik ve denetlenebilirlik kapsamında değerlendirildiğinden, bağımsız bir kriter olarak ele alınmamıştır. Maliyet etkinliği, sağlık sektöründe hasta/çevre güvenliği ve düzenleyici gerekliliklerin öncelikli olması nedeniyle çalışma kapsamına alınmamıştır. Güçlü siber güvenlik, blokzincirin doğasında bulunan bir özellik olup, güvenilirlik kriteri altında değerlendirildiğinden ayrıca ele alınmamıştır. Akıllı sözleşmeler ile otomasyon, tıbbi atık

yönetimi gibi fiziksel süreçlerin ön planda olduğu bir alanda sınırlı uygulanabilirliğe sahip olabileceği için tercih edilmemiştir. Aracı ihtiyacını azaltma, tıbbi atık yönetiminde zaten belirli regülasyonlara tabi paydaşlar bulunduğundan sistemin mevcut yapısına doğrudan bir katkı sağlamayacağı gerekçesiyle dışarıda bırakılmıştır. Veri paylaşımında güvenilirlik ise şeffaflık ve denetlenebilirlik kriterleri kapsamında değerlendirildiğinden, bağımsız bir kriter olarak dahil edilmemiştir. Bu doğrultuda, belirlenen kriterler tıbbi atık yönetimi süreçlerinde blokzincir teknolojisinin uygulanabilirliğini en iyi şekilde değerlendirecek şekilde seçilmiş olup, sektörel gereklilikler ve teknolojik uyumluluk göz önünde bulundurularak yapılandırılmıştır.

4.2.2. Alternatiflerin Belirlenmesi

Tıbbi atık yönetim sürecinde blokzincir teknolojisinin uygulanabilirliğini ve sağladığı katkıları analiz etmeyi amaçlayan bu çalışmada, blokzincir teknolojisinin sunduğu avantajlar kriterler olarak belirlenmiş, tıbbi atık yönetim sürecinin aşamaları ise alternatifler olarak yapılandırılmıştır. Kriterlerin belirlenmesinde literatür taraması ve uzman görüşleri dikkate alınarak, blokzincirin sunduğu farklı faydaların tıbbi atık yönetimi üzerindeki potansiyel etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Alternatifler ise, araştırmanın yürütüleceği hastanenin mevcut tıbbi atık yönetim sürecine dayanılarak belirlenmiş ve süreç içerisindeki kritik aşamalar sistematik bir şekilde analiz edilerek yapılandırılmıştır. Bu bağlamda, alternatiflerin seçiminde tıbbi atık yönetiminin operasyonel, lojistik ve düzenleyici boyutları göz önünde bulundurulmuş, böylece blokzincir teknolojisinin her aşamaya sağlayabileceği katkılar bütüncül bir perspektifle ele alınmıştır. Belirlenen alternatifler aşağıda detaylı şekilde sunulmaktadır.

A₁:Kaynağında Ayrı Toplama

A₂:Kurum İçi Taşıma/Toplama

A₃:Geçici Depolama

A₄:İmha Merkezine Taşıma

A₅:Atık İmha Süreci

4.2.3. Uzman Grubun Belirlenmesi

Bu çalışmada, belirlenen kriterlerin ikili karşılaştırmalarının gerçekleştirilebilmesi amacıyla, tıbbi atık yönetimi ve blokzincir teknolojisi alanında bilgi sahibi olan veya bu alanlarda akademik ya da sektörel deneyime sahip beş farklı paydaş grubundan toplam dokuz uzman belirlenmiştir. Uzman seçiminde, konuyla ilgili teorik bilgiye ve pratik deneyime (en az 2 yıl) sahip bireylerin yer almasına özen gösterilmiş, böylece karşılaştırmaların güvenilirliği ve geçerliliği artırılmıştır. Uzmanlarla gerçekleştirilen ikili karşılaştırma görüşmeleri, büyük ölçüde yüz yüze (8 uzman) gerçekleştirilmiş olup, bir uzman ile çevrimiçi ortamda görüşme sağlanmıştır. Görüşmeler sırasında uzmanlara belirlenen kriterler hakkında detaylı bilgi verilmiş, kıyaslamaların sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi adına gerekli açıklamalar yapılmıştır. Uzmanların çalıştıkları kurum ve kuruluşlar, uzmanlık alanları ve sektörel pozisyonları tablo 4.2’de detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

4.2.3.1. Paydaş Grup Teorisi (Stakeholder Theory)

Freeman (1984) tarafından geliştirilen Paydaş Teorisi, bir organizasyonun başarısının yalnızca hissedarların değil, süreçten doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenen tüm paydaşların çıkarlarının gözetilmesiyle mümkün olacağını savunur. Bu yaklaşıma göre, karar alma süreçlerine paydaşların katılımı, sürecin daha kapsayıcı, sürdürülebilir ve uygulanabilir olmasına katkı sağlar. Paydaşlar; işletmeler, kamu kurumları, uzmanlar, tüketiciler ve toplumun diğer kesimlerinden oluşabilir.

Bu çalışmada, tıbbi atık yönetimi ile blokzincir teknolojisinin entegrasyonunu değerlendirmek amacıyla Paydaş Teorisi çerçevesinde uzman seçimi yapılmıştır. Süreci farklı boyutlarıyla temsil edebilecek beş paydaş grubundan toplam dokuz uzman belirlenmiş, bu uzmanlar kriterlerin ikili karşılaştırmalarını yapabilecek yetkinliğe sahip kişilerden seçilmiştir.

Bu sayede, değerlendirme sürecinde çok yönlü bir bakış açısı sağlanarak kriterlerin nesnel biçimde ağırlıklandırılması ve yorumlanması hedeflenmiştir. Böylece, elde edilen bulguların hem teorik geçerliliği hem de uygulama değerinin güçlendirilmesi amaçlanmıştır.

Tablo 4.2. Çalışmada Fikirlerinden Yararlanılan Uzman Grup

	KURUM	BİRİM
U ₁	Atatürk Üniversitesi Araştırma Hastanesi (Başhekimlik)	Atık Yönetimi Sorumlusu
U ₂	Atatürk Üniversitesi Araştırma Hastanesi (Başmüdürlük)	Hastane İdari Birimler Sorumlusu
U ₃	Atatürk Üniversitesi Araştırma Hastanesi (Personel)	Hastane Tıbbi Atık Sorumlusu
U ₄	Erzurum Büyükşehir Belediyesi	İklim Değişikliği ve Sıfır Atık Daire Başkanlığı Şube Müdürü
U ₅	Atatürk Üniversitesi (Prof.Dr.)	Öğretim Üyesi (Prof.Dr.)
U ₆	Erzurum İl Sağlık Müdürlüğü	Çevre Sağlığı Birimi Yetkilisi
U ₇	Tıbbi Atık İmha Tesisi İşletmesi	Erzurum Tıbbi Atık İmha Tesisi Dezenfeksiyon Sorumlusu
U ₈	Erzurum Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü	Çevre Yönetimi ve Denetimi Sorumlusu
U ₉	KIZILAY	İdari Hizmetler Direktörlüğü- İSG Personeli

4.2.4. Kriterlerin Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi (IF AHP)

IF-AHP, çok kriterli karar verme süreçlerinde belirsizlik ve uzman görüşlerindeki tereddütlü ifadeleri dikkate alarak kriterlerin ağırlıklandırılmasını sağlayan güçlü bir yöntemdir. Bu yöntem, karar vericilerin sezgisel yargılarını daha esnek bir şekilde ifade edebilmelerine olanak tanırken, aynı zamanda kriterlerin birbirleriyle olan göreceli önem derecelerini sistematik bir biçimde belirlemektedir. Bu çalışmada, tıbbi atık yönetim sürecinde blokzincir teknolojisinin uygulanabilirliğini değerlendirebilmek amacıyla belirlenen dokuz kriterin ağırlıklandırılması için IF-AHP yöntemi uygulanmıştır. Sürecin güvenilirliğini artırmak ve çoklu uzman görüşlerini dikkate almak amacıyla, ikili karşılaştırma matrisleri uzmanlardan elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulmuştur. Değerlendirme aşamasında, bulanık sayılar ve sezgisel dilsel değişkenler kullanılarak ikili karşılaştırmalar analiz edilmiş ve kriterlerin birbirine göre ağırlıkları belirlenmiştir. Bu analizler sonucunda, her bir kriterin karar verme sürecindeki göreceli önemi hesaplanmış ve elde edilen ağırlıklar, tıbbi atık yönetimi sürecinde blokzincir teknolojisinin etkinliğini değerlendirmeye yönelik IF-TOPSIS yöntemi gibi ileri analizlerde kullanılmak üzere yapılandırılmıştır. Böylece, çalışmanın metodolojik sağlamlığı artırılmış ve karar verme sürecine sistematik bir yaklaşım kazandırılmıştır.

4.2.5. Hiyerarşi, Kriter ve Alternatiflerin Tanımlanması

Çalışmanın hiyerarşik yapısı Şekil 4.1’de IF-AHP yönteminin uygulanabilmesi için belirlenen dokuz kriter ise Tablo 4.1’de detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Araştırmanın bu aşamasında, yalnızca kriter ağırlıklandırma işlemi gerçekleştirilmiş olup, alternatiflerin sıralanmasına yönelik herhangi bir analiz yapılmamıştır. Alternatiflerin sıralama süreci, IF-TOPSIS yöntemi ile yürütüleceğinden, IF-AHP yöntemi yalnızca kriterlerin göreceli önem derecelerini belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Bu doğrultuda, uzman görüşlerine dayalı olarak oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri analiz edilmiş, kriterlerin önem ağırlıkları belirlenmiş ve karar verme sürecinde kullanılmak üzere hesaplanmıştır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi, sürecin sonraki aşamalarında alternatiflerin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu aşamanın temel amacı, belirlenen kriterlerin karar verme sürecindeki öncelik sırasını ve ağırlık dağılımını belirleyerek, blokzincir teknolojisinin tıbbi atık yönetim sürecine sağlayacağı katkının daha sistematik bir şekilde analiz edilmesine zemin hazırlamaktır. Böylece, çalışmada benimsenen metodolojik çerçeve doğrultusunda, kriter ağırlıklandırma süreci tamamlanarak, alternatiflerin sıralanmasına yönelik sonraki aşamalar için gerekli veriler elde edilmiştir.

4.2.6. Karar Vericilerin Katkı Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu çalışmada, IF-AHP yöntemi kullanılarak kriter ağırlıklarının belirlenmesi sürecinde uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Analiz sürecinde, dokuz uzmandan elde edilen ikili karşılaştırma verileri doğrultusunda kriterlerin göreceli önem dereceleri hesaplanmıştır. Uzman seçiminde, tıbbi atık yönetimi ve blokzincir teknolojisi alanlarında yetkinliği bulunan bireyler tercih edilmiş olup, sürecin güvenilirliğini artırmak amacıyla farklı paydaş gruplarından uzmanlar sürece dahil edilmiştir. Değerlendirme sürecinde, uzmanların görüşleri arasında herhangi bir ağırlık farkı gözletilmemiş ve tüm uzmanların katkısı eşit derecede kabul edilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemsel tercih, bireysel önyargıların ve subjektif değerlendirmelerin karar sürecine olan etkisini dengelemeyi ve daha nesnel bir ağırlıklandırma süreci oluşturmayı amaçlamaktadır. Böylece, elde edilen sonuçların bilimsel tutarlılığı korunmuş, kriterlerin önem dereceleri çoklu uzman görüşlerine dayalı

olarak belirlenmiş ve karar verme sürecine daha sağlam bir analitik temel kazandırılmıştır. Bu yaklaşım, Sezgisel Bulanık AHP yönteminin güvenilirliğini artırarak; karar verme sürecinde tüm uzman görüşlerinin eşit düzeyde katkı sağlamasına olanak tanımıştır.

4.2.7. Karar Vericilerin Değerlendirmelerinin Elde Edilmesi

Bu çalışmada, belirlenen dokuz kriterin önem derecelerinin belirlenebilmesi amacıyla dokuz uzmanın katılımıyla ikili karşılaştırma anketi uygulanmıştır. Anket sürecinde uzmanlardan, her bir kriter çiftini belirli bir ölçek kullanarak karşılaştırmaları ve kriterlerin göreceli önem düzeylerini belirtmeleri istenmiştir. Bu değerlendirme süreci, IF-AHP yöntemi çerçevesinde analiz edilerek uzman görüşlerine dayalı ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Ardından, elde edilen karşılaştırma verileri kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanmış ve karar verme sürecine sistematik bir temel sağlanmıştır. Bu süreç, tıbbi atık yönetimi ve blokzincir teknolojisinin entegrasyonuna yönelik karar alma mekanizmasını desteklemek ve kriterlerin öncelik düzeylerini bilimsel bir yaklaşımla belirlemek açısından kritik bir rol oynamaktadır. Anket uygulamasının amacı, farklı uzman görüşlerini nesnel bir biçimde değerlendirerek çoklu kriterli karar verme sürecine daha güvenilir ve bütüncül bir bakış açısı kazandırmaktır. Tablo 4.3’de uzmanlardan elde edilen görüşlerin analiz edilmesine yönelik olarak kullanılan ikili karşılaştırma anketinin bir bölümü sunulmaktadır. Bu bölüm, K₁ kriterinin diğer kriterler (K₂-K₉) ile karşılaştırılmasını içermekte olup, uzmanların değerlendirme puanlarını içeren ölçeklendirme sistemini göstermektedir.

Tablo 4.3. İkili Karşılaştırma Anketi Örneği

İzlenebilirlik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Şeffaflık
İzlenebilirlik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Denetlenebilirlik
İzlenebilirlik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Değiştirilemezlik
İzlenebilirlik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Esneklik
İzlenebilirlik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ademi Merkeziyetçilik
İzlenebilirlik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Anonimlik
İzlenebilirlik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Hız ve Zaman Avantajı
İzlenebilirlik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Güvenilirlik

1: Eşit 3: Biraz daha fazla 5: Fazla 7: Çok fazla 9: Aşırı derecede fazla

Bu çalışmada gerçekleştirilen dokuz ikili karşılaştırma anketinden biri, uzmanlardan elde edilen değerlendirme verilerinin nasıl yapılandırıldığını ve analiz edildiğini göstermek amacıyla Tablo 4.4’de sunulmaktadır. Tablo 4.4 Uzman 1 tarafından yapılan değerlendirmeleri içermekte olup, belirlenen dokuz kriterin birbirleriyle karşılaştırılması sürecinde kullanılan ölçeklendirme yöntemini ve göreceli önem derecelerini yansıtmaktadır. Uzmanlardan, her bir kriter çiftini önceden belirlenmiş bir ölçek doğrultusunda kıyaslamaları ve göreceli önem düzeylerini belirtmeleri istenmiştir. Bu karşılaştırmalar, IF-AHP yöntemi kapsamında değerlendirilerek kriterlerin ağırlıklandırılmasında temel bir veri kaynağı oluşturmuştur. Anket sonuçları, karar verme sürecinde blokzincir teknolojisinin tıbbi atık yönetim sürecine sağlayabileceği katkıları belirlemeye yönelik analitik bir yaklaşım sunmaktadır. Tablo 4.4’de , Uzman 1’in gerçekleştirdiği ikili karşılaştırma anketinin örnek tablosu detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Uzman 1'in İkili Karşılaştırma Anketi

Uzman1	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉
K ₁	1,00	3,00	3,00	3,00	6,00	4,00	4,00	2,00	0,14
K ₂	0,33	1,00	0,13	0,25	0,50	0,20	0,33	0,33	0,14
K ₃	0,33	8,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,33
K ₄	0,33	4,00	0,50	1,00	2,00	1,00	5,00	4,00	0,20
K ₅	0,17	2,00	0,50	0,50	1,00	0,20	1,00	0,50	0,17
K ₆	0,25	5,00	0,50	1,00	5,00	1,00	3,00	1,00	0,13
K ₇	0,25	3,00	0,50	0,20	1,00	0,33	1,00	0,50	0,14
K ₈	0,50	3,00	0,50	0,25	2,00	1,00	2,00	1,00	0,20
K ₉	7,00	7,00	3,00	5,00	6,00	8,00	7,00	5,00	1,00

4.2.8. Grup Karar Matrisini Oluşturulması

Bu aşamada, dokuz uzmanın gerçekleştirdiği ikili karşılaştırmalardan elde edilen veriler, öncelikle bireysel karşılaştırma matrisleri olarak yapılandırılmış ve her uzmanın değerlendirmeleri ayrı ayrı düzenlenmiştir. Uzmanların her bir kriter çifti için belirlediği değerlendirme puanları, geometrik ortalama yöntemi kullanılarak birleştirilmiş ve böylece grup karar matrisi oluşturulmuştur. Bu yöntem, bireysel farklılıkları

dengeleyerek uzman görüşlerinden elde edilen bilgilerin bütünleştirilmesini sağlamış ve daha güvenilir bir grup karar matrisi elde edilmesine katkıda bulunmuştur.

Ardından, geometrik ortalama ile hesaplanan değerler, Tablo 4.2’de verilen dilsel değişkenler doğrultusunda sezgisel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm, karar vericilerin belirsizlik ve tereddütlerini daha iyi yansıtabilmesi ve değerlendirme sürecinin bulanık mantık çerçevesinde daha gerçekçi bir şekilde modellenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Sezgisel bulanık kümeler kullanılarak yapılan bu dönüşüm, kriterler arasındaki ilişkilerin daha esnek ve duyarlı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanımıştır.

Son aşamada, elde edilen sezgisel bulanık grup karar matrisi, IF-AHP yöntemi kapsamında analiz edilerek kriter ağırlıklarının hesaplanması için kullanılmıştır. Böylece, uzman görüşlerinden elde edilen veriler sistematik bir şekilde işlenmiş ve karar verme sürecinde kullanılacak nihai kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Tablo 4.6’da , çalışmada kullanılan grup karar matrisi ve dilsel değişkenlere dönüştürülmüş değerler detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

Tablo 4.5. Uzman Görüşleri Ortalama Değerleri

UZMAN GÖRÜŞLERİ ORTALAMA DEĞERLERİ									
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉
K ₁	1,00	4,61	0,63	1,48	4,09	2,14	3,91	3,97	0,38
K ₂	0,21	1,00	0,16	0,18	0,51	0,25	0,32	0,53	0,15
K ₃	1,58	6,08	1,00	2,07	3,42	2,28	4,55	5,07	0,34
K ₄	0,67	5,57	0,44	1,00	4,08	1,16	5,70	4,38	0,34
K ₅	0,24	1,96	0,29	0,24	1,00	0,29	2,02	1,94	0,15
K ₆	0,46	3,99	0,43	0,85	3,43	1,00	4,64	2,16	0,17
K ₇	0,25	3,13	0,22	0,17	0,49	0,21	1,00	0,88	0,14
K ₈	0,25	1,86	0,19	0,22	0,51	0,46	1,13	1,00	0,15
K ₉	2,57	6,58	2,92	2,93	6,53	5,80	6,99	6,56	1,00

Tablo 4.6. Değerlerin Dilsel Değişkenlere Dönüştürülmesi

İKİLİ KARŞILAŞTIRMA TABLOSUNUN ORTALAMALAR ALINDIKTAN SONRA DİLSEL DEĞİŞKENLERE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ																											
K ₁			K ₂			K ₃			K ₄			K ₅			K ₆			K ₇			K ₈			K ₉			
	μ	θ	π	μ	θ	π	μ	θ	π	μ	θ	π	μ	θ	π	μ	θ	π	μ	θ	π	μ	θ	π	μ	θ	π
K ₁	0,02	0,18	0,8	0,22	0,28	0,5	0,23	0,06	0,7	0,02	0,18	0,8	0,22	0,28	0,5	0,06	0,23	0,7	0,13	0,27	0,6	0,22	0,28	0,5	0,27	0,13	0,6
K ₂	0,27	0,33	0,4	0,02	0,18	0,8	0,23	0,47	0,3	0,23	0,47	0,3	0,23	0,06	0,7	0,28	0,22	0,5	0,27	0,13	0,6	0,23	0,06	0,7	0,18	0,62	0,2
K ₃	0,06	0,23	0,7	0,47	0,23	0,3	0,02	0,18	0,8	0,06	0,23	0,7	0,13	0,27	0,6	0,06	0,23	0,7	0,33	0,27	0,4	0,33	0,27	0,4	0,27	0,13	0,6
K ₄	0,23	0,06	0,7	0,47	0,23	0,3	0,23	0,06	0,7	0,02	0,18	0,8	0,22	0,28	0,5	0,02	0,18	0,8	0,47	0,23	0,3	0,22	0,28	0,5	0,27	0,13	0,6
K ₅	0,28	0,22	0,5	0,06	0,23	0,7	0,28	0,22	0,5	0,28	0,22	0,5	0,02	0,18	0,8	0,28	0,22	0,5	0,06	0,23	0,7	0,06	0,23	0,7	0,18	0,62	0,2
K ₆	0,23	0,06	0,7	0,22	0,28	0,5	0,23	0,06	0,7	0,02	0,18	0,8	0,13	0,27	0,6	0,02	0,18	0,8	0,33	0,27	0,4	0,06	0,23	0,7	0,23	0,47	0,3
K ₇	0,28	0,22	0,5	0,13	0,27	0,6	0,27	0,33	0,4	0,23	0,47	0,3	0,23	0,06	0,7	0,27	0,33	0,4	0,02	0,18	0,8	0,02	0,18	0,8	0,18	0,62	0,2
K ₈	0,28	0,22	0,5	0,06	0,23	0,7	0,27	0,33	0,4	0,28	0,22	0,5	0,23	0,06	0,7	0,23	0,06	0,7	0,02	0,18	0,8	0,02	0,18	0,8	0,18	0,62	0,2
K ₉	0,13	0,27	0,6	0,62	0,18	0,2	0,13	0,27	0,6	0,13	0,27	0,6	0,62	0,18	0,2	0,47	0,23	0,3	0,62	0,18	0,2	0,62	0,18	0,2	0,02	0,18	0,8
TOPLAM	1,78	1,79	5,40	2,27	2,11	4,60	1,89	1,98	5,10	1,27	2,42	5,30	2,03	1,64	5,30	1,69	1,88	5,40	2,25	1,94	4,80	1,78	1,89	5,30	1,78	3,52	3,70
MIN	0,02	0,06	0,40	0,02	0,18	0,20	0,02	0,06	0,30	0,02	0,18	0,30	0,02	0,06	0,20	0,02	0,06	0,30	0,02	0,13	0,20	0,02	0,06	0,20	0,02	0,13	0,20
MAK	0,28	0,33	0,80	0,62	0,28	0,80	0,28	0,47	0,80	0,28	0,47	0,80	0,62	0,28	0,80	0,47	0,33	0,80	0,62	0,27	0,80	0,62	0,28	0,80	0,27	0,62	0,80

4.2.9. Tutarlılık Oranlarının Belirlenmesi

IF-AHP yöntemi uygulanmadan önce, uzmanlardan elde edilen ikili karşılaştırma matrisleri klasik AHP yöntemi ile analiz edilerek tutarlılık değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, karar vericilerin yaptığı karşılaştırmaların tutarlılığını belirlemek amacıyla tutarlılık oranları (CR) hesaplanmış ve elde edilen değerlerin 0.1'in altında olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, karar vericilerin değerlendirmelerinin tutarlı olduğunu ve karşılaştırmalar arasında ciddi tutarsızlıklar içermediğini göstermektedir. Klasik AHP'de sağlanan bu tutarlılık, IF-AHP yöntemine geçiş sürecinde ikili karşılaştırma matrislerinin güvenilirliğini garanti altına aldığından, yeniden bir tutarlılık analizi yapılmasına gerek duyulmamıştır.

Sezgisel Bulanık AHP yöntemi, karar vericilerin belirsizlik ve tereddütlerini yansıtmasına olanak tanıyan bulanık sayılar ve sezgisel dilsel değişkenler ile çalıştığından, bazı uygulamalarda alternatif bulanık tutarlılık analizleri önerilmektedir. Ancak, bu çalışmada AHP aşamasında gerçekleştirilen tutarlılık analizi yeterli görüldüğünden, IF-AHP yönteminde ek bir tutarlılık analizi yapılmadan doğrudan kriter ağırlıklandırma aşamasına geçilmiştir. Bu yaklaşım, analiz sürecinin gereksiz tekrarlarını önleyerek metodolojik verimliliği artırmış ve uzmanlardan elde edilen verilerin sistematik bir şekilde değerlendirilmesini sağlamıştır. Böylece, kriter ağırlıkları doğrudan IF-AHP yöntemi kapsamında hesaplanarak karar verme sürecine entegre edilmiştir.

AHP yöntemi ile elde edilen uzmanların tutarlılık oranları tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Uzmanların Tutarlılık Oranları

UZMANLARIN TUTARLILIK ORANLARI		
U ₁	0,0925	TUTARLI
U ₂	0,0962	TUTARLI
U ₃	0,0927	TUTARLI
U ₄	0,0923	TUTARLI
U ₅	0,0894	TUTARLI
U ₆	0,0935	TUTARLI
U ₇	0,0967	TUTARLI
U ₈	0,0765	TUTARLI
U ₉	0,0840	TUTARLI

Uzmanların ikili karşılaştırma matrisleri üzerinden hesaplanan tutarlılık oranları, tüm uzmanlar için 0.1'in altında bulunmuş ve bu durum değerlendirmelerin tutarlı olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, karar vericilerin yaptığı karşılaştırmaların mantıksal tutarlılığını ve kriterler arasındaki ilişkilerin sistematik bir biçimde değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. En düşük tutarlılık oranı U_8 (0.0765), en yüksek ise U_7 (0.0967) olarak hesaplanmış olup, tüm uzmanlar için kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalınmıştır. Bu durum, uzmanların karşılaştırmalarında ciddi çelişkiler içermediğini ve geçerli bir kriter ağırlıklandırma sürecinin oluşturulduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, AHP sürecinde sağlanan tutarlılık, Sezgisel Bulanık AHP yönteminde güvenilir sonuçlar elde edilmesine sağlam bir temel oluşturmuştur.

4.2.10. Durulaştırma Öncesi Kriter Ağırlıkları

Uzmanların gerçekleştirdiği ikili karşılaştırmalar sonucunda elde edilen grup karar matrisi, IF-AHP yöntemi çerçevesinde detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu analiz sürecinde, sezgisel bulanık küme teorisi temel alınarak belirlenen matematiksel formüller ve işlemler kullanılmış, uzman görüşlerinden elde edilen veriler sezgisel bulanık sayılar ile modellenmiştir. İlk aşamada, her bir kriter için ait olma (membership), ait olmama (non-membership) ve tereddütlük (hesitation) derecelerini içeren ağırlık değerleri hesaplanarak karar verme sürecinde kriterlerin etkileri belirlenmiştir.

Ardından, kriterlerin birbirlerine göre göreceli önem derecelerini daha hassas bir şekilde değerlendirebilmek amacıyla çok düzeyli ağırlıklandırma süreci uygulanmıştır. Bu yöntem, farklı kriterlerin karar mekanizmasına olan katkısını daha ayrıntılı bir perspektifle analiz etmeye olanak tanımış ve kriterler arasındaki önem farklarının daha net bir şekilde ortaya konmasını sağlamıştır. Elde edilen ağırlık değerleri, karar verme sürecinde blokzincir teknolojisinin tıbbi atık yönetimi sürecine sağlayacağı katkının daha sistematik bir şekilde değerlendirilmesi için kritik bir referans oluşturmuştur. Sonuç olarak, IF-AHP yöntemiyle hesaplanan çok düzeyli kriter ağırlıkları, alternatiflerin sıralanmasında kullanılmak üzere tablo 4.8'de detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

Tablo 4.8. Çok Düzeyli Kriter Ağırlıkları

	μ	ϑ	π
K ₁	0,08	0,11	0,13
K ₂	0,12	0,13	0,10
K ₃	0,10	0,11	0,12
K ₄	0,12	0,09	0,12
K ₅	0,10	0,12	0,11
K ₆	0,08	0,10	0,12
K ₇	0,10	0,13	0,10
K ₈	0,10	0,10	0,12
K ₉	0,19	0,11	0,09

4.2.11. Nihai Kriterlerin Ağırlıklarının Elde Edilmesi

IF-AHP yöntemi kapsamında, her bir kriter için ait olma (membership), ait olmama (non-membership) ve tereddüt (hesitation) dereceleri bir önceki aşamada detaylı olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler, karar verme sürecindeki belirsizliği modelleyerek kriterlerin önem düzeylerini belirleme açısından kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, bu değerlerin doğrudan kriter ağırlıkları olarak kullanılması yerine, daha hassas bir değerlendirme yapabilmek ve ağırlık dağılımındaki küçük farkları daha iyi analiz edebilmek amacıyla doğal logaritma ($\ln$) fonksiyonu içeren formül (Formül 8) uygulanmıştır.

$\ln$ fonksiyonunun kullanımı, kriterlerin göreceli önem düzeylerinin daha dengeli bir şekilde dağıtılmasını sağlayarak, özellikle küçük farkların daha belirgin hale getirilmesine yardımcı olmaktadır. Sezgisel bulanık ortamda karar vericilerden elde edilen değerlendirmelerin içerdiği belirsizliğin daha iyi modellenmesine olanak tanıyan bu yaklaşım, kriterler arasındaki göreceli ağırlık farklarının daha net bir biçimde ortaya konmasını sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, $\ln$ fonksiyonunun uygulanması, ağırlık hesaplama sürecinde ortaya çıkabilecek ölçüm hatalarını ve ölçekleme sorunlarını minimize ederek, hesaplanan kriter ağırlıklarının karar sürecinde daha güvenilir bir biçimde kullanılmasını sağlamaktadır.

Bu yöntemle hesaplanan nihai kriter ağırlıkları, karar verme sürecindeki doğruluğu ve tutarlılığı artırarak, alternatiflerin sıralanması için gerekli analitik altyapıyı sağlamaktadır. Sonuç olarak, sezgisel bulanık karar verme sürecinin güvenilirliğini artırmak ve kriterler arasındaki farkları daha ayrıntılı bir şekilde ortaya koymak amacıyla ln fonksiyonu içeren matematiksel işlemler uygulanmış, böylece kriterlerin nihai ağırlıkları elde edilerek karar sürecinde kullanılmak üzere belirlenmiştir. Kriterlerin nihai ağırlıkları Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9. Nihai Kriter Ağırlıkları

K ₁	0,099
K ₂	0,119
K ₃	0,108
K ₄	0,108
K ₅	0,110
K ₆	0,100
K ₇	0,115
K ₈	0,106
K ₉	0,129

Belirlenen kriterlerin ağırlık değerleri, IF-AHP yöntemi kapsamında yapılan analizler sonucunda hesaplanmış ve karar verme sürecinde kullanılmak üzere nihai hale getirilmiştir. Tablo incelendiğinde, en yüksek kriter ağırlığı K₉ (0,129) ile "Güvenilirlik" kriterine ait olup, bu durum söz konusu kriterin tıbbi atık yönetiminde blokzincir teknolojisinin uygulanabilirliği açısından en önemli faktör olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Bu sonucu destekleyen diğer yüksek ağırlık değerleri ise K₂ (Şeffaflık, 0,119) ve K₇ (Anonimlik, 0,115) olup, blokzincirin veri güvenliği, erişilebilirlik ve sistem şeffaflığını artırma potansiyelinin uzmanlar tarafından öncelikli kriterler arasında görüldüğünü ortaya koymaktadır.

Bunun yanı sıra, K₅ (Esneklik, 0,110) ve K₄-K₃ (Denetlenebilirlik ve Değiştirilemezlik, 0,108) kriterleri de ağırlık açısından birbirine yakın değerler alarak, blokzincir teknolojisinin dinamik ve denetlenebilir bir sistem oluşturma potansiyeline vurgu yapmaktadır. K₈ (Hız ve Zaman Avantajı, 0,106) kriterinin önem derecesi de dikkat çekici olup, blokzincirin süreçleri hızlandırma ve zaman tasarrufu sağlama yetkinliğinin

karar vericiler tarafından dikkate alındığını göstermektedir. K_6 (Ademi Merkeziyetçilik, 0,100) ve K_1 (İzlenebilirlik, 0,099) kriterleri ise görece daha düşük ağırlıklara sahip olmakla birlikte, blokzincir sistemlerinde merkezi otoritelerden bağımsız olarak veri takibinin sağlanmasının ve sistemin izlenebilirliğinin yine önemli bir faktör olarak değerlendirildiğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak, kriter ağırlıkları arasındaki dağılım dengeli olup, blokzincir teknolojisinin tıbbi atık yönetim sürecine entegrasyonu açısından güvenilirlik, şeffaflık ve anonimlik gibi faktörlerin öncelikli olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar, uzman görüşleri doğrultusunda oluşturulan karar modelinin, blokzincir teknolojisinin izlenebilirlik, denetlenebilirlik, hız avantajı ve ademi merkeziyetçilik gibi ek katkılarını da önemli ölçüde içeren çok boyutlu bir değerlendirme sunduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, elde edilen nihai kriter ağırlıkları, tıbbi atık yönetiminde blokzincir uygulamalarının hangi yönlerinin daha kritik olduğuna dair önemli bilgiler sağlamakta olup, ilerleyen aşamalarda alternatiflerin değerlendirilmesi sürecinde karar verme mekanizmasının temelini oluşturacaktır.

4.3. ALTERNATİFLERİN SIRALANMASI (IF TOPSIS)

4.3.1. IF TOPSIS Karar Matrisinin Oluşturulması

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından, alternatiflerin değerlendirilmesi sürecine geçilmiş ve bu doğrultuda altı uzman ile bir anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Anket sürecinde uzmanlardan, belirlenen kriterler doğrultusunda alternatifleri karşılaştırmaları ve değerlendirmeleri istenmiştir. Elde edilen yanıtların güvenilirliğini ve tutarlılığını sağlamak amacıyla, geometrik ortalama yöntemi uygulanmış ve tüm uzman görüşleri birleştirilerek ortak bir değerlendirme seti oluşturulmuştur. Geometrik ortalama yöntemi, farklı uzman görüşlerinden kaynaklanabilecek aşırı uç değerleri dengeleyerek, karar verme sürecinin daha sağlıklı bir şekilde ilerlemesine katkı sağlamaktadır.

Uzmanlardan elde edilen ortalama değerlendirme değerleri, Sezgisel Bulanık Karar Verme yöntemine uygun bir biçimde dilsel değişkenlere dönüştürülmüş ve sezgisel bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. IF-AHP aşamasında dokuz uzman ile çalışılmış olmasına rağmen, alternatif değerlendirme sürecinde üç uzmanın verdiği yanıtların

yetersiz olduğu ve değerlendirmelerinin karar sürecine sağlıklı bir katkı sağlamadığı tespit edilmiştir. Bu durum, ilgili uzmanların konuya dair yeterli teknik bilgiye sahip olmaması ya da değerlendirme sürecinde tutarsız ve aşırı subjektif yargılar içermeleri gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, analiz sürecinin güvenilirliğini artırmak ve alternatiflerin objektif bir şekilde değerlendirilmesini sağlamak amacıyla, yalnızca altı uzmandan elde edilen veriler kullanılmıştır.

Bu seçici yaklaşım, alternatif değerlendirme sürecinin daha tutarlı, güvenilir ve bilimsel bir çerçevede yürütülmesini sağlamıştır. Böylece, karar verme sürecine dahil edilen alternatiflerin değerlendirilmesi daha sistematik ve analitik bir yaklaşımla gerçekleştirilmiş, tıbbi atık yönetim sürecinde blokzincir teknolojisinin uygulanabilirliğine ilişkin daha sağlıklı sonuçlar elde edilmiştir. Alternatif değerlendirme sürecinde kullanılan anket örneği Tablo 4.10' da sunulmaktadır.

Tablo 4.10. Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Anket Örneği

1:Hiç uygun değil	2: Pek uygun değil	3:Uygun değil	4:Kısmen uygun	5:Uygun					
6:Oldukça uygun	7:Çok uygun								
Aşağıda verilen kriterlerin tıbbi atık yönetim süreci açısından uygunluk derecesini belirtiniz.									
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉
A ₁									
A ₂									
A ₃									
A ₄									
A ₅									

Uzman 1'in alternatif değerlendirme için verdiği yanıtlar Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11. Uzman 1'in Alternatif Değerlendirme Anketi

Uzman 1	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉
A ₁	5	7	6	5	6	6	5	7	5
A ₂	5	6	5	6	5	4	6	4	6
A ₃	4	5	5	6	6	4	7	4	4
A ₄	6	5	6	4	7	5	6	5	6
A ₅	6	5	6	6	5	6	7	6	7

Çalışmada kullanılan anketlerdeki değerlendirmelerde uzmanların verdiği cevapların geometrik ortalamaları alınarak oluşturulan karar matrisi Tablo 4.12’de gösterilmiştir.

Tablo 4.12. Alternatif Değerlendirme Anketlerinin Geometrik Ortalamaları

	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9
A1	5,353	5,620	6,127	5,820	5,452	6,316	4,817	5,944	5,620
A2	5,119	5,477	4,966	5,646	5,477	5,119	5,820	5,217	5,646
A3	4,472	5,119	4,642	5,026	5,620	5,415	5,452	4,642	5,415
A4	5,972	5,620	5,793	5,876	5,793	5,620	6,057	5,288	5,944
A5	6,127	6,127	5,972	6,127	5,972	6,156	6,156	6,156	6,481

Uzmanlardan alınan verilerin geometrik ortalamalarını içeren değerlerin dilsel değişkenlere dönüştürüldüğü veriler Tablo 4.13’de verilmiştir.

Tablo 4.13. Anket Sonuçlarının Dilsel Değişkenlere Dönüştürülmesi

	K ₁			K ₂			K ₃			K ₄			K ₅			K ₆			K ₇			K ₈			K ₉		
	μ	θ	π	μ	θ	π	μ	θ	π	μ	θ	π	μ	θ	π	μ	θ	π	μ	θ	π	μ	θ	π	μ	θ	π
A ₁	0,7	0,2	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,7	0,2	0,1	0,8	0,1	0,1	0,7	0,2	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1
A ₂	0,7	0,2	0,1	0,7	0,2	0,1	0,7	0,2	0,1	0,8	0,1	0,1	0,7	0,2	0,1	0,7	0,2	0,1	0,8	0,1	0,1	0,7	0,2	0,1	0,8	0,1	0,1
A ₃	0,5	0,5	0	0,7	0,2	0,1	0,7	0,2	0,1	0,7	0,2	0,1	0,8	0,1	0,1	0,7	0,2	0,1	0,7	0,2	0,1	0,7	0,2	0,1	0,7	0,2	0,1
A ₄	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,7	0,2	0,1	0,8	0,1	0,1
A ₅	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1

Normalize edilmiş karar matrisinin elde edilmesinin ardından, alternatiflerin belirlenen kriterler doğrultusunda nihai önem derecelerini yansıtabilmesi için ağırlıklandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, IF-AHP yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları, normalize edilmiş karar matrisindeki her bir hücre değeri ile bileşen bazında çarpılarak ağırlıklandırılmış karar matrisi oluşturulmuştur. Bu yöntem, alternatiflerin kriterlere göre farklı önem seviyelerine sahip olmasını göz önünde bulundurarak değerlendirmelerin daha objektif ve bilimsel bir zemine oturtulmasını sağlamaktadır.

Ağırlıklandırma işlemi, ait olma, ait olmama ve tereddütlük değerleri ayrı ayrı dikkate alınarak gerçekleştirilmiş olup, bu sayede karar matrisi sezgisel bulanık küme teorisine uygun bir biçimde modellenmiştir. Bu süreç, alternatiflerin belirlenen kriterlere göre göreceli önemini daha hassas bir şekilde yansıtmak ve belirsizlikleri minimize etmek için kritik bir adım olarak değerlendirilmiştir. Ağırlıklandırılmış karar matrisi, her bir alternatifin ideal ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklarını hesaplamak için temel bir veri seti olarak kullanılacaktır.

Sonuç olarak, ağırlıklandırılmış karar matrisi oluşturularak alternatiflerin kriterler bazında etkili bir biçimde değerlendirilmesine olanak tanınmış, bu sayede alternatiflerin sıralanmasına yönelik IF-TOPSIS yöntemi için gerekli veri altyapısı hazırlanmıştır. Elde edilen matris, alternatiflerin en uygun seçeneğe olan yakınlığını belirlemek amacıyla kullanılacak olup, karar verme sürecinin son aşamalarında kritik bir rol oynayacaktır. Ağırlıklandırılmış karar matrisi Tablo 4.15’ de gösterilmiştir.

Tablo 4.15. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi

	K ₁			K ₂			K ₃			K ₄			K ₅			K ₆			K ₇			K ₈			K ₉		
	μ	ϑ	π	μ	ϑ	π	μ	ϑ	π	μ	ϑ	π	μ	ϑ	π	μ	ϑ	π	μ	ϑ	π	μ	ϑ	π	μ	ϑ	π
A ₁	0,07	0,04	0,89	0,12	0,06	0,82	0,10	0,06	0,84	0,12	0,05	0,83	0,09	0,12	0,79	0,08	0,05	0,87	0,09	0,13	0,78	0,10	0,05	0,85	0,19	0,05	0,75
A ₂	0,07	0,04	0,89	0,11	0,13	0,77	0,09	0,11	0,80	0,12	0,05	0,83	0,09	0,12	0,79	0,07	0,10	0,82	0,10	0,07	0,83	0,09	0,10	0,81	0,19	0,05	0,75
A ₃	0,05	0,11	0,84	0,11	0,13	0,77	0,09	0,11	0,80	0,10	0,09	0,80	0,10	0,06	0,84	0,07	0,10	0,82	0,09	0,13	0,78	0,09	0,10	0,81	0,17	0,11	0,73
A ₄	0,08	0,02	0,90	0,12	0,06	0,82	0,10	0,06	0,84	0,12	0,05	0,83	0,10	0,06	0,84	0,08	0,05	0,87	0,10	0,07	0,83	0,09	0,10	0,81	0,19	0,05	0,75
A ₅	0,08	0,02	0,90	0,12	0,06	0,82	0,10	0,06	0,84	0,12	0,05	0,83	0,10	0,06	0,84	0,08	0,05	0,87	0,10	0,07	0,83	0,10	0,05	0,85	0,19	0,05	0,75

4.3.3. Pozitif (a*) ve Negatif (a-) İdeal Çözümün Belirlenmesi

Ağırlıklandırılmış karar matrisinin oluşturulmasının ardından, alternatiflerin değerlendirilmesi sürecinin bir sonraki aşaması olarak pozitif ideal çözüm (PIS) ve negatif ideal çözüm (NIS) değerleri belirlenmiştir. Bu aşama, IF-TOPSIS yöntemi

kapsamında alternatiflerin kriterler açısından en iyi ve en kötü değerlere olan uzaklıklarının hesaplanabilmesi için önemli bir adımdır.

Pozitif ideal çözüm (PIS), her bir kriter açısından en iyi performansı gösteren değerleri, yani karar vericilerin tercih ettiği en avantajlı kriter seviyelerini temsil etmektedir. Negatif ideal çözüm (NIS) ise, alternatifler arasında en düşük performans gösteren değerlerden oluşmakta ve karar vericiler tarafından tercih edilmesi en az arzu edilen kriter seviyelerini ifade etmektedir.

Bu aşamada, ağırlıklandırılmış karar matrisinde bulunan ait olma, ait olmama ve tereddütlük değerleri dikkate alınarak her bir kriter için en iyi ve en kötü değerler belirlenmiş, böylece alternatiflerin ideal çözümlere olan uzaklıklarını ölçmek için gerekli veri seti oluşturulmuştur. Pozitif ideal çözüm, karar verme sürecinde alternatiflerin ulaşmayı hedeflediği optimum değerleri, negatif ideal çözüm ise kaçınılması gereken en düşük performans seviyelerini göstermektedir.

Sonuç olarak, pozitif ve negatif ideal çözümler belirlendikten sonra, her bir alternatifin bu ideal değerlere olan mesafesi hesaplanacak, böylece alternatiflerin sıralanmasına yönelik nihai karar verme süreci şekillenecektir. Tablo 4.16’da, her kriter için hesaplanan pozitif ideal çözüm (PIS) ve negatif ideal çözüm (NIS) değerleri detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

Tablo 4.16. Pozitif ve Negatif İdeal Ayrım Ölçütleri

	Pozitif ideal çözüm kümesi				Negatif ideal çözüm kümesi		
	μ	ϑ	π		μ	ϑ	π
R ₁	0,080	0,021	0,898	R ₁	0,050	0,106	0,844
R ₂	0,121	0,063	0,816	R ₂	0,106	0,126	0,768
R ₃	0,098	0,057	0,845	R ₃	0,086	0,114	0,800
R ₄	0,120	0,045	0,835	R ₄	0,105	0,091	0,804
R ₅	0,099	0,060	0,841	R ₅	0,086	0,120	0,794
R ₆	0,083	0,051	0,865	R ₆	0,073	0,103	0,824
R ₇	0,104	0,066	0,830	R ₇	0,091	0,132	0,777
R ₈	0,102	0,051	0,847	R ₈	0,089	0,102	0,808
R ₉	0,193	0,053	0,754	R ₉	0,169	0,106	0,725

4.3.4. Pozitif ve Negatif Ayrım Ölçütlerinin Hesaplanması

İdeal çözüm kümesi (pozitif ideal çözüm - PIS) ve negatif çözüm kümesi (negatif ideal çözüm - NIS) değerleri belirlendikten sonra, alternatiflerin bu ideal noktalara olan uzaklıklarını hesaplayabilmek amacıyla pozitif ve negatif ideal ayrım ölçütleri belirlenmiştir. Bu aşama, IF-TOPSIS yöntemi kapsamında, alternatiflerin optimal çözüme olan yakınlık derecelerinin objektif bir şekilde değerlendirilmesini sağlamak için kritik bir adımdır.

Pozitif ideal ayrım ölçütü, her alternatifin pozitif ideal çözüme olan mesafesini (S^+) belirleyerek alternatifin en iyi performans gösteren kriter seviyelerine ne kadar yakın olduğunu göstermektedir. Negatif ideal ayrım ölçütü ise, her alternatifin negatif ideal çözüme olan mesafesini (S^-) hesaplayarak alternatifin en kötü performans gösteren kriter seviyelerinden ne kadar uzak olduğunu ortaya koymaktadır. Bu ölçütler, alternatiflerin tercih edilme olasılıklarını değerlendirmek ve sıralamak için temel bir veri kaynağı oluşturmaktadır.

Bu süreçte, sezgisel bulanık değerler (μ, θ, π) dikkate alınarak her bir alternatif için pozitif ve negatif çözüm kümelerine olan uzaklıklar ayrı ayrı hesaplanmıştır. Pozitif ideal çözüme daha yakın olan alternatifler, karar verme sürecinde tercih edilebilirlik açısından daha avantajlı seçenekler olarak değerlendirilecek, negatif ideal çözüme daha yakın olan alternatifler ise daha düşük öncelikli seçenekler olarak sıralanacaktır.

Sonuç olarak, alternatiflerin ideal ve negatif ideal çözüme olan mesafeleri hesaplanmış ve sıralama süreci için gerekli ölçütler oluşturulmuştur. Tablo 4.17’de pozitif ve negatif ideal ayrım ölçütleri detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

Tablo 4.17. Pozitif ve Negatif Ayrım Ölçütleri

	S^+	S^-
A_1	0,147	0,385
A_2	0,304	0,228
A_3	0,472	0,060
A_4	0,051	0,481
A_5	0,000	0,532

4.3.5. Her Alternatif İçin Yakınlık Katsayısının Hesaplanması

Alternatiflerin pozitif ideal çözüme (PIS) ve negatif ideal çözüme (NIS) olan uzaklıkları belirlendikten sonra, her bir alternatif için ideal çözüme göre yakınlık katsayısı (C_i) hesaplanmıştır. Bu katsayı, alternatiflerin en iyi çözüme ne kadar yakın olduğunu göstererek karar verme sürecinde en uygun seçeneğin belirlenmesini sağlamaktadır. IF-TOPSIS yöntemi kapsamında gerçekleştirilen bu hesaplamalar, alternatiflerin göreceli üstünlüklerini analiz etmek ve sıralamak için kritik bir veri sağlamaktadır.

İdeal çözüme yakınlık katsayısı (C_i), her bir alternatif için ilgili formül kullanılarak hesaplanmıştır

Burada S^+ , alternatifin pozitif ideal çözüme olan uzaklığı, S^- ise negatif ideal çözüme olan uzaklığıdır. C_i değeri 1'e yaklaştıkça, alternatifin ideal çözüme daha yakın olduğu, 0'a yaklaştıkça ise negatif ideal çözüme daha yakın olduğu şeklinde yorumlanmaktadır.

Bu hesaplamalar sonucunda, alternatifler ideal çözüme olan yakınlıklarına göre sıralanmış ve karar vericiler için en uygun alternatif belirlenmiştir. Alternatif sıralaması, tıbbi atık yönetiminde blokzincir teknolojisinin uygulanabilirliği açısından en avantajlı seçeneklerin belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Tablo 4.18'de, her bir alternatifin ideal çözüme olan yakınlık değeri (C_i) ve sıralama sonuçları detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

Tablo 4.18. Yakınlık Katsayıları

	C
A_1	0,723
A_2	0,429
A_3	0,113
A_4	0,904
A_5	1,000

4.3.6. Nihai Sıralama

Tablo 4.19. Alternatiflerin Sıralanması

	C	Sıralama
A_1	0,723	3
A_2	0,429	4
A_3	0,113	5
A_4	0,904	2
A_5	1,000	1

IF-TOPSIS yöntemi kullanılarak yapılan analizler sonucunda, alternatiflerin ideal çözüme olan yakınlık değerleri (C_i) hesaplanmış ve sıralama elde edilmiştir. Tablo 4.19 incelendiğinde, en yüksek C_i değeri 1,000 olan A_5 alternatifi, ideal çözüme en yakın alternatif olarak belirlenmiş ve ilk sırada yer almıştır. Bu sonuç, A_5 alternatifinin belirlenen kriterler doğrultusunda en uygun seçenek olduğunu göstermektedir.

Bunu takiben, A_4 alternatifi ($C = 0,904$) ikinci sırada yer alırken, A_1 alternatifi ($C = 0,723$) üçüncü sırada konumlanmıştır. Bu durum, A_4 ve A_1 alternatiflerinin de karar sürecinde yüksek öncelikli seçenekler arasında değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Öte yandan, A_2 alternatifi ($C = 0,429$) dördüncü sırada yer almış olup, bu alternatifi ideal çözüme daha uzak olduğu görülmektedir. En düşük C_i değerine sahip olan A_3 alternatifi ($C = 0,113$) ise, en az tercih edilen seçenek olarak belirlenmiştir.

Bu sonuçlar, tıbbi atık yönetiminde blokzincir teknolojisinin uygulanabilirliği açısından en uygun alternatifi A_5 olduğunu ve diğer alternatiflerin de farklı seviyelerde değerlendirildiğini göstermektedir. Alternatiflerin sıralaması, belirlenen kriter ağırlıkları ve uzman görüşleri doğrultusunda şekillenmiş olup, karar vericilere en uygun seçeneği belirleme konusunda sistematik bir bakış açısı sunmaktadır. Elde edilen bulgular, tıbbi atık yönetimi sürecinde blokzincir teknolojisinin hangi aşamalarda daha etkin uygulanabileceğine dair önemli veriler sağlamaktadır.

4.4. FARKLI YÖNTEMLERLE SONUÇLARIN TEST EDİLMESİ

Çok kriterli karar verme (MCDM) yöntemleri, özellikle karmaşık ve çok boyutlu karar süreçlerinde alternatiflerin ve kriterlerin sistematik bir şekilde değerlendirilmesini sağlayan güçlü analiz teknikleridir. Sezgisel Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (IF-AHP) ve Analitik Ağ Süreci (ANP), karar verme sürecinde yaygın olarak kullanılan yöntemler olup, özellikle tıbbi atık yönetimi gibi dinamik ve çoklu değişken içeren sistemlerde kriter ağırlıklarının belirlenmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. IF-AHP yöntemi, karar vericilerin sezgisel bulanık sayılar kullanarak ikili karşılaştırmalar yapmasına olanak tanımakta ve kriterler arasındaki bağımsızlık varsayımına dayanmaktadır. Buna karşılık, ANP yöntemi, kriterler arasındaki karşılıklı bağımlılıkları ve geri besleme ilişkilerini dikkate alan daha dinamik bir karar verme modeli sunarak, sistem bileşenlerinin birbiri üzerindeki etkilerini analiz etmeye olanak tanımaktadır.

Tablo 4.20’de sunulan bulgular incelendiğinde, her iki yöntemin kriterleri farklı ağırlıklarla değerlendirdiği ve karar sürecine farklı bakış açıları sunduğu görülmektedir. IF-AHP yöntemiyle yapılan analizlerde, K₉ (Güvenilirlik) kriteri en önemli faktör olarak belirlenmiş ve ağırlık değeri 0,085 olarak hesaplanmıştır. Ancak, kıyaslama amacıyla uygulanan ANP yönteminde, K₉ kriterinin ağırlık değeri 0,355 olarak hesaplanmış ve bu değer, kriterin söz konusu yöntem açısından oldukça baskın ve belirleyici bir öneme sahip olduğunu göstermiştir. Bu durum, ANP yönteminin kriterler arasındaki etkileşimleri ve bağımlılıkları dikkate alması nedeniyle Güvenilirlik faktörünün diğer kriterler üzerindeki etkisini daha güçlü bir şekilde yansıttığını göstermektedir. Öte yandan, IF-AHP yöntemi, kriterleri bağımsız değişkenler olarak ele aldığı için kriter ağırlıklarının daha dengeli dağıldığı gözlemlenmiştir.

ANP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları, kriterler arasındaki geri besleme mekanizmasının nasıl işlediğini ve bu etkileşimlerin sonuçlara nasıl yansıdığını açıklamaktadır. Özellikle K₃ (Denetlenebilirlik) ve K₁ (İzlenebilirlik) kriterleri, ANP yönteminde daha yüksek ağırlık değerlerine sahip olmuştur. Bu durum, blokzincir tabanlı bir sistemde denetlenebilirlik ve izlenebilirliğin güvenlik açısından kritik bir rol oynadığı gerçeğiyle ilişkilendirilebilir. Buna karşılık, K₂ (Şeffaflık) ve K₇ (Anonimlik) kriterlerinin, ANP yönteminde daha düşük ağırlıklara sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılık, ANP

yönteminin kriterler arasındaki etkileşimleri modelleyerek Güvenilirlik ile doğrudan bağlantılı olan kriterlere daha fazla ağırlık atfetmesiyle açıklanabilir.

Bilimsel açıdan değerlendirildiğinde, ANP yöntemi, kriterler arasındaki bağımlılıkları dikkate alan yapısı sayesinde, IF-AHP yöntemi ile elde edilen sonuçların doğruluğunu test etmek için uygun bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. IF-AHP yönteminin en önemli sınırlılığı, kriterleri birbirinden bağımsız olarak değerlendirmesidir. Ancak, çok kriterli karar verme süreçlerinde kriterler genellikle birbiriyle etkileşim halindedir ve bağımsız değişkenler olarak ele alınmaları, bazı durumlarda karar sürecinin gerçekliğini tam olarak yansıtamayabilir. Bu noktada, ANP yöntemi gibi kriterler arası ilişkileri modelleyen bir yöntemin kullanılması, sonuçların daha kapsamlı bir perspektiften değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Bu bağlamda, çalışmada her iki yöntemin de uygulanması, kriter ağırlıklandırma sürecinin daha sağlıklı ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamıştır.

Elde edilen bulgular, karar vericilerin hangi yöntemi tercih etmeleri gerektiği konusunda önemli bir yol gösterici niteliğindedir. Eğer kriterlerin bağımsız olduğu varsayılıyorsa, IF-AHP yöntemi uygun bir seçenek olarak değerlendirilebilir. Ancak, kriterler arasında güçlü etkileşimlerin bulunduğu ve bu etkileşimlerin karar sürecini doğrudan etkilediği durumlarda, ANP yöntemi daha kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Çalışmanın sonuçları, her iki yöntemin de K_9 (Güvenilirlik) kriterini en önemli faktör olarak belirlediğini göstermiştir. Bu bulgu, Güvenilirliğin tıbbi atık yönetimi sürecinde temel bir unsur olduğunu ve karar verme sürecinin merkezinde yer aldığını göstermektedir.

Sonuç olarak, IF-AHP ve ANP yöntemleri arasında yapılan karşılaştırma, çok kriterli karar verme süreçlerinde hangi yöntemin daha uygun olduğunu belirlemek açısından önemli bir perspektif sunmaktadır. IF-AHP yöntemi, karar sürecini daha sistematik ve bağımsız değişkenlere dayalı bir yapıda ele alırken, ANP yöntemi karşılıklı bağımlılıkları ve kriterler arası ilişkileri göz önünde bulundurarak daha dinamik bir analiz imkânı sağlamaktadır. Aşağıda, IF-AHP ve ANP analizlerinin karşılaştırmalı sonuçlarını içeren tablo sunulmaktadır.

Tablo 4.20. Kriterlerin Kıyaslanması

Kriterlerin Kıyaslanması		
	IF AHP	ANP
K ₁	0,066	0,137
K ₂	0,079	0,034
K ₃	0,072	0,162
K ₄	0,071	0,112
K ₅	0,073	0,045
K ₆	0,066	0,077
K ₇	0,076	0,038
K ₈	0,070	0,040
K ₉	0,085	0,355

IF-TOPSIS ve VIKOR yöntemleri, çok kriterli karar verme (MCDM) süreçlerinde sıklıkla kullanılan ve alternatifleri sistematik bir şekilde değerlendiren güçlü analiz teknikleridir. IF-TOPSIS yöntemi, alternatifleri ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklarına göre sıralarken, VIKOR yöntemi, alternatifler arasında uzlaşmaya dayalı bir çözüm sağlayarak en iyi ve en kötü seçenekler arasındaki dengeyi kurmayı hedeflemektedir. VIKOR yönteminde kullanılan $v=0.5$ parametresi, karar verme sürecinde hem maksimum faydayı hem de minimum pişmanlığı dikkate alarak dengeli bir yaklaşım benimsemektedir. Bu parametre, tamamen fayda odaklı bir karar verme modeli ($v=1$) ile tamamen risk azaltma odaklı bir model ($v=0$) arasında bir ara denge noktası oluşturmaktadır ve ortalama bir karar vericinin tercihlerini yansıtmayı amaçlamaktadır.

Elde edilen bulgular, her iki yöntemin de A₅ (Atık İmha Süreci) alternatifini en iyi seçenek olarak belirlediğini göstermektedir. IF-TOPSIS yöntemi ile yapılan analizde, A₅ alternatifinin ideal çözüme yakınlık katsayısı (C) = 1.000 olarak hesaplanmış ve bu alternatifin en yüksek uyumluluk değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, VIKOR yöntemi ile gerçekleştirilen analizde de, A₅ alternatifinin $Q=0.000$ değerini alarak en iyi alternatif olarak belirlendiği görülmüştür. Bu bulgular, atık imha sürecinin tıbbi atık yönetimi açısından kritik bir aşama olduğunu ve hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın en uygun seçenek olarak değerlendirildiğini ortaya koymaktadır.

Ancak, alternatiflerin sıralamaları yöntemler arasında belirli farklılıklar göstermektedir. IF-TOPSIS yöntemi ile yapılan değerlendirmede, A₄ (İmha Merkezine Taşıma) alternatifi, $C = 0.904$ değeri ile ikinci sırada yer alırken, VIKOR yöntemi ile yapılan analizde A₄ alternatifinin $Q = 0.410$ değeri ile ikinci sıraya yakın bir konumda bulunduğu tespit edilmiştir. Bu durum, her iki yöntemin en iyi alternatifler konusunda büyük ölçüde örtüştüğünü, ancak sıralama kriterlerinde farklı yaklaşımlar benimsediğini göstermektedir. Öte yandan, VIKOR yöntemi ile yapılan analizde A₃ (Geçici Depolama) alternatifi, $Q=1.000$ değeri ile en kötü seçenek olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, tıbbi atıkların uzun süre bekletilmesinin yönetim açısından en riskli faktörlerden biri olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Benzer şekilde, IF-TOPSIS yönteminde de A₃ alternatifi, $C=0.113$ değeri ile en düşük sıralama puanını almıştır. Bu durum, her iki yöntemin düşük performansa sahip alternatifleri benzer şekilde değerlendirdiğini ortaya koymaktadır.

Yöntemlerin farklı sonuçlar üretmesinin temel nedeni, hesaplama süreçlerindeki metodolojik farklılıklardan kaynaklanmaktadır. IF-TOPSIS yöntemi, alternatifleri ideal ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları temel alarak sıralamakta ve alternatiflerin en iyi çözüme olan yakınlığını ölçmeye odaklanmaktadır. Buna karşılık, VIKOR yöntemi, alternatifler arasında uzlaşma temelli bir çözüm önererek, özellikle kriterler arasında büyük farklılıklar bulunduğu en kötü durumun etkisini minimize eden alternatifleri ön plana çıkarmaktadır. Bu bağlamda, VIKOR yönteminin en kötü alternatifleri belirlemede daha hassas bir yaklaşım sunduğu, IF-TOPSIS yönteminin ise en iyi alternatifi tespit etme konusunda daha güçlü bir değerlendirme yaptığı söylenebilir.

VIKOR yöntemi, kriter ağırlıkları arasında büyük farklılıklar olduğunda alternatif sıralamalarında belirgin değişikliklere neden olabilmektedir. Bu nedenle, karar vericinin tercihinine bağlı olarak hangi yöntemin kullanılacağı belirlenmelidir. Eğer karar verici en iyi alternatifi belirlemek istiyorsa IF-TOPSIS yöntemini, en kötü alternatifi tespit etmek ve uzlaşma odaklı bir çözüm geliştirmek istiyorsa VIKOR yöntemini tercih etmelidir. Bununla birlikte, alternatifler arasındaki sıralamanın doğruluğunu artırmak ve karar destek süreçlerini güçlendirmek amacıyla her iki yöntemin birlikte kullanılması önerilmektedir.

Elde edilen sonuçlar, IF-TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin birbirini destekleyici nitelikte olduğunu ve birlikte kullanıldığında daha kapsamlı bir değerlendirme sunduğunu göstermektedir. Özellikle her iki yöntemin de A_5 alternatifini en iyi seçenek olarak belirlemesi, Güvenilirlik (K_9) kriterinin en baskın kriter olarak öne çıktığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu, karar modelinin bilimsel tutarlılığını desteklemekte ve tıbbi atık yönetim süreçlerinde Güvenilirliğin kritik bir faktör olduğunu doğrulamaktadır.

Sonuç olarak, Sezgisel Bulanık TOPSIS ve VIKOR yöntemleri, çok kriterli karar verme süreçlerinde farklı bakış açıları sunarak karar vericilere daha kapsamlı bir değerlendirme yapma imkânı tanımaktadır. Tıbbi atık yönetimi gibi karmaşık ve çok boyutlu süreçlerde, bu tür yöntemlerin birlikte kullanılması, hem en uygun hem de en riskli alternatifleri belirleme açısından bilimsel olarak daha güvenilir bir temel oluşturacaktır.

Tablo 4.21. Alternatiflerin Karşılaştırılması

Alternatiflerin Karşılaştırılması			
IF TOPSIS		VIKOR	
	c		$q_i, v=0,5$
A_1	0,723	A_1	0,632
A_2	0,429	A_2	0,758
A_3	0,113	A_3	1
A_4	0,904	A_4	0,410
A_5	1	A_5	0

VIKOR yöntemi ile yapılan analizde, karar vericinin risk eğilimine bağlı olarak farklı v değerleri ($v = 0.1$, $v = 0.5$ ve $v = 1$) için hesaplanan $Q'' - Q'$ farkları (0.461, 0.411 ve 0.348) belirlenmiş ve bu değerler, belirlenen DQ eşik değeri (0.25) ile karşılaştırılmıştır. Her üç durumda da $Q'' - Q' \geq DQ$ koşulu sağlanmış, bu da seçilen en iyi alternatifin diğer alternatiflere göre belirgin bir avantaja sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen bu sonuç, farklı risk senaryolarında dahi en iyi alternatifin değişmediğini ve karar sürecinin tutarlı olduğunu kanıtlamaktadır. Alternatiflerin sıralamasının v değerinden bağımsız olarak aynı kalması, yöntemin kararlılığını ve güvenilirliğini desteklemekte olup, alternatifler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı ve belirgin olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

Bu doğrultuda, VIKOR yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde en iyi alternatifin her durumda “kabul edilebilir avantaj” kriterini sağladığı ve elde edilen sıralamanın güvenilir olduğu değerlendirilmiştir. Seçilen en iyi alternatifin diğer alternatiflere göre önemli bir üstünlük göstermesi, karar vericilerin süreci daha güvenilir bir şekilde yönlendirmesine olanak tanımaktadır.

$v = 0.5$ değeri, karar vericinin dengeli bir yaklaşım benimsemesini sağlayarak, hem maksimum faydayı (ideal çözüme en yakın alternatifi) hem de minimum pişmanlığı (en kötü durumu azaltmayı) eşit derecede dikkate alan bir yaklaşım sunmaktadır. $V = 0$, yalnızca en kötü alternatifi minimize etmeye odaklanırken, $V = 1$ tamamen en iyi alternatifi seçmeye odaklanmaktadır. Bu bağlamda, $V = 0.5$ değeri, karar vericinin iki uç yaklaşım arasında denge sağlamasına yardımcı olan en uygun parametre olarak değerlendirilmiştir. Bu parametre seçimi, karar sürecinin nesnel, esnek ve adil bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır.

Sonuç olarak, VIKOR yöntemi ile gerçekleştirilen analizlerin, farklı risk eğilimleri altında dahi tutarlı sonuçlar vermesi, yöntemin bilimsel geçerliliğini desteklemektedir. Alternatif sıralamasının değişmemesi, en iyi alternatifin güçlü bir avantaj sunduğunu ve karar sürecinin güvenilirliğini pekiştirdiğini göstermektedir. Bu nedenle, analiz sürecinde karar vericinin esnekliğini artıran ve alternatifler arasındaki farkları daha objektif bir şekilde değerlendiren bir yaklaşım olarak $v = 0.5$ parametresi tercih edilmiştir.

4.5. SENARYO ANALİZİ

Tıbbi atık yönetimi süreçlerinde karar verme mekanizmasının esnekliğini ve güvenilirliğini test etmek amacıyla, TOPSIS yöntemi kullanılarak senaryo analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, 10 farklı senaryoda kriter ağırlıkları değiştirilerek alternatiflerin sıralamalarındaki değişimler incelenmiştir. İlk senaryoda, tüm kriterler eşit ağırlıklandırılmış, ancak sonraki senaryolarda belirli kriterlerin daha baskın hale getirilmesi sağlanmıştır. Özellikle Güvenilirlik (K_9), Denetlenebilirlik (K_3) ve İzlenebilirlik (K_1) gibi kritik kriterlerin ağırlıkları farklılaştırılarak senaryolar çeşitlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, her koşulda A_5 (Atık İmha Süreci) alternatifinin en iyi seçenek olarak birinci sırada kaldığını göstermektedir. Bu bulgu, tıbbi atık yönetiminde en kritik

aşamanın güvenli bertaraf süreci olduğunu ve hangi kriter ön plana çıkarsa çıksın nihai hedefin her zaman güvenli bir şekilde atıkların ortadan kaldırılması olduğunu ortaya koymaktadır. Atık imha süreci, hem sağlık hem de çevresel riskleri en aza indiren temel aşama olup, değişen kriter önceliklendirmeleri karşısında bile karar vericiler için en uygun alternatif olarak belirlenmiştir.

Bunun yanı sıra, alternatifler arasında yer alan A₃ (Geçici Depolama) alternatifi her senaryoda en düşük puanı alarak sıralamada en alt sırada kalmıştır. Bu durum, atıkların uzun süre bekletilmesinin sağlık ve çevre açısından ciddi riskler taşıdığı gerçeğiyle örtüşmektedir. Hiçbir senaryoda en iyi alternatif olarak belirlenmemesi, geçici depolamanın nihai bir çözümden çok ara bir aşama olduğunu ve tıbbi atık yönetiminde en uygun stratejinin atıkları mümkün olan en kısa sürede bertaraf etmek olduğunu göstermektedir.

Diğer alternatifler açısından değerlendirildiğinde, A₁ (Kaynağında Ayrı Toplama) ve A₄ (İmha Merkezine Taşıma) gibi seçeneklerin sıralamadaki yerlerinde belirli değişimler gözlemlenmiştir. Ancak bu değişimler, nihai amacın güvenilir bertaraf süreci olduğunu değiştirmemiştir. Bu bulgu, tıbbi atık yönetiminde sürecin tamamlayıcı aşamalarının önem arz ettiğini ancak asıl hedefin etkili bertaraf olduğunu kanıtlamaktadır.

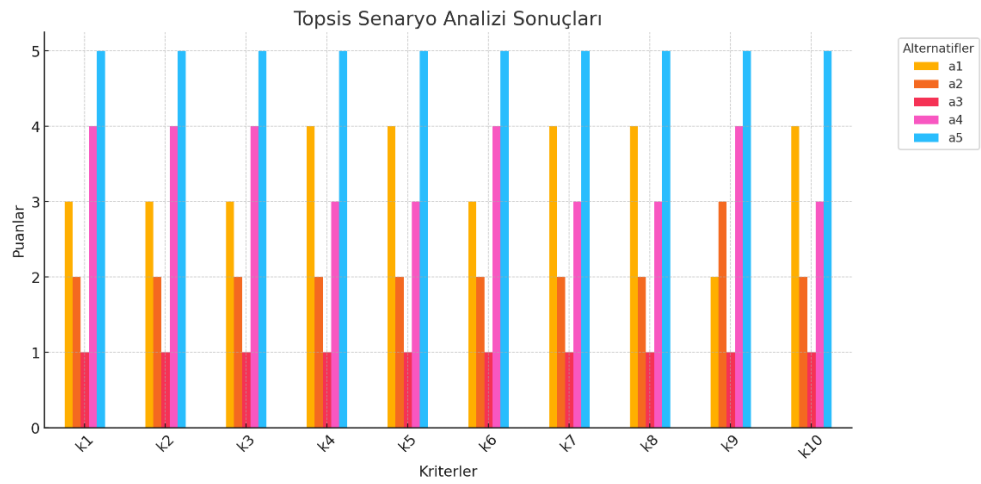
Sonuç olarak, yapılan senaryo analizi, alternatiflerin sıralamasının kriter ağırlıklarındaki değişimlerden etkilendiğini ancak nihai kararın değişmediğini ortaya koymuştur. A₅ alternatifinin her senaryoda en iyi alternatif olarak belirlenmesi, tıbbi atık yönetiminin temel hedefinin güvenli bertaraf olduğunu ve tüm süreçlerin bu hedefi destekleyici nitelikte olduğunu göstermektedir. Bu analiz, karar verme mekanizmasının sağlamlığını test etmek açısından önemli bir doğrulama olup, yöntemin güvenilir ve tutarlı sonuçlar ürettiğini kanıtlamaktadır.

Tablo 4.22. Farklılaştırılmış Kriter Ağırlıkları

Senaryo 1	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111
Senaryo 2	0,142	0,025	0,172	0,129	0,047	0,095	0,037	0,036	0,317
Senaryo 3	0,317	0,142	0,025	0,172	0,129	0,047	0,095	0,037	0,036
Senaryo 4	0,036	0,317	0,142	0,025	0,172	0,129	0,047	0,095	0,037
Senaryo 5	0,037	0,036	0,317	0,142	0,025	0,172	0,129	0,047	0,095
Senaryo 6	0,095	0,037	0,036	0,317	0,142	0,025	0,172	0,129	0,047
Senaryo 7	0,047	0,095	0,037	0,036	0,317	0,142	0,025	0,172	0,129
Senaryo 8	0,129	0,047	0,095	0,037	0,036	0,317	0,142	0,025	0,172
Senaryo 9	0,172	0,129	0,047	0,095	0,037	0,036	0,317	0,142	0,025
Senaryo 10	0,025	0,172	0,129	0,047	0,095	0,037	0,036	0,317	0,142

Tablo 4.23. Senaryo Analizi Sonuçları

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀
A ₁	3	3	3	2	2	3	2	2	4	2
A ₂	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4
A ₃	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
A ₄	2	2	2	3	3	2	3	3	2	3
A ₅	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

**Şekil 4.3.** Senaryo Analizi Sonuçları Görseli

SONUÇ VE TARTIŞMA

Tıbbi atıklar, sağlık kuruluşları tarafından üretilen ve insan sağlığı ile çevre üzerinde ciddi riskler oluşturan atık türleridir. Bu atıklar; enfekte materyaller, patolojik atıklar, kesici-delici atıklar, farmasötik atıklar ve kimyasal atıklar gibi birçok farklı kategoriye ayrılmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre, sağlık tesislerinde üretilen atıkların yaklaşık %15'i bulaşıcı, toksik veya radyoaktif özelliklere sahip olup özel yönetim gerektirmektedir. Tıbbi atıkların kontrolsüz şekilde bertaraf edilmesi, hastalık yayılımına, çevresel kirlenmeye ve halk sağlığı tehditlerine yol açabilmektedir. Özellikle COVID-19 pandemisi gibi küresel sağlık krizleri, tıbbi atık miktarını ciddi şekilde artırmış ve yönetim süreçlerinin daha sürdürülebilir hale getirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Dünya genelinde, gelişmiş ülkeler tıbbi atık yönetimi için katı düzenlemeler ve ileri teknolojiye dayalı sistemler geliştirirken, gelişmekte olan ülkelere altyapı eksiklikleri ve düzensiz atık bertarafı önemli bir sorun olmaya devam etmektedir. Bu bağlamda, modern tıbbi atık yönetimi süreçlerinde dijital teknolojilerin kullanımı ve takip sistemlerinin geliştirilmesi kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Tıbbi atık yönetiminin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi, hem insan sağlığını koruma hem de çevre kirliliğini önleme açısından büyük önem taşımaktadır.

Blokzincir teknolojisi, merkezi olmayan, güvenli ve değiştirilemez bir veri kayıt sistemi sunan yenilikçi bir dijital çözüm olarak ortaya çıkmıştır. 2008 yılında Bitcoin'in temel altyapısı olarak geliştirilen bu teknoloji, günümüzde finans, tedarik zinciri yönetimi, sağlık hizmetleri, kimlik doğrulama ve oylama sistemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Blokzincir sistemleri, merkezi bir otoriteye bağlı olmadan verilerin şeffaf, güvenli ve değiştirilemez bir şekilde saklanmasını sağlayarak geleneksel veri yönetimi yaklaşımlarına kıyasla daha güvenilir bir alternatif sunmaktadır. Dünya genelinde blokzincir teknolojisinin benimsenmesi hızla artmakta olup, hükümetler ve büyük şirketler bu yenilikçi yapıyı çeşitli sektörlerde entegre etmek için çalışmalar yürütmektedirler. Özellikle sağlık sektöründe, hastaların tıbbi kayıtlarının güvenli bir şekilde saklanması, ilaç tedarik zincirinin izlenebilirliği ve sağlık hizmetlerinde veri güvenliğinin sağlanması gibi konularda blokzincir teknolojisine sunduğu çözümler büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, blokzincir sistemlerinin ölçeklenebilirlik, enerji tüketimi ve düzenleyici çerçeve gibi bazı teknik ve hukuki zorlukları da

bulunmaktadır. Ancak son yıllarda, yeni nesil blokzincir protokolleri ve akıllı sözleşmeler ile, bu teknolojinin daha geniş bir yelpazede uygulanabilirliğini artırmıştır. Bu bağlamda, tıbbi atık yönetimi gibi hassas süreçlerde blokzincir teknolojisinin kullanılması, veri güvenliğini artırarak daha şeffaf ve denetlenebilir bir sistem sunabilmektedir.

Yapılan analizler sonucunda, tıbbi atık yönetiminde blokzincir teknolojisinin uygunluğunu belirlemek amacıyla belirlenen dokuz kriterin sürece olan etkileri detaylı bir şekilde incelenmiş ve her bir kriterin atık yönetim süreçlerine nasıl katkı sağladığı değerlendirilmiştir. Kriterler, izlenebilirlik, şeffaflık, denetlenebilirlik, değiştirilemezlik, esneklik, ademi merkeziyetçilik, anonimlik, hız ve zaman avantajı ile güvenilirlik olmak üzere ele alınmış ve bu unsurların tıbbi atık yönetiminde etkinlik, güvenilirlik ve sürdürülebilirlik açısından oynadığı roller açıklanmıştır. Ayrıca, kaynağında ayrı toplama, kurum içi taşıma, geçici depolama, imha merkezine taşıma ve atık imha süreci olmak üzere beş alternatif, belirlenen kriterler doğrultusunda ayrı ayrı değerlendirilmiş ve süreçler üzerindeki etkileri yorumlanmıştır. Alternatiflerin her biri, atık yönetiminin farklı aşamalarına yönelik avantajları ve dezavantajları göz önünde bulundurularak yorumlanmış ve blokzincir teknolojisinin bu süreçleri nasıl optimize edebileceği üzerinde durulmuştur. Çalışmada, her bir alternatifin hangi kriterler doğrultusunda daha uygun veya yetersiz olduğu karşılaştırmalı bir analizle ortaya konmuş, bu sayede tıbbi atık yönetiminde en verimli stratejilerin belirlenmesine yönelik bilimsel bir temel oluşturulmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak, kriterlerin ve alternatiflerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesiyle blokzincirin tıbbi atık yönetimindeki katkısı bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmış ve sistemin etkinliğini artırabilecek yönler detaylandırılmıştır.

K₁:İzlenebilirlik, tıbbi atıkların kaynağından bertaraf edilmesine kadar geçen süreçte etkin bir şekilde takip edilmesini sağlayarak, yasa dışı veya hatalı bertaraf işlemlerinin önüne geçilmesine katkıda bulunmaktadır. Blokzincir teknolojisi sayesinde, her bir atık hareketi şeffaf bir şekilde izlenip kayıt altına alınarak, sürecin güvenilirliği artırılmaktadır. Bu durum, atık yönetiminde izlenebilirliği güçlendirerek çevresel risklerin en aza indirilmesine ve düzenleyici otoritelerin süreçleri daha etkin bir şekilde denetlemesine olanak tanımaktadır. Wang vd. (2022), Çin'in Şaanşi Eyaletinde uygulanan “blokzincir + tıbbi atık denetimi” modelinde, atıkların dijital olarak izlenmesinin süreç güvenliğini artırdığını vurgulamıştır. Le vd. (2022) ise, blokzincir temelli sistemlerin, sağlık merkezleri ile geri dönüşüm ve ayrıştırma tesisleri arasında

entegre veri yönetimi ve izlenebilirliği kolaylaştırdığını belirtmiştir. Aynı şekilde, Kassou vd. (2021), blokzincirin faaliyetlerin yeni biçimlerde organize edilmesini sağladığını, izlenebilirliği artırarak güveni ve verimliliği teşvik ettiğini ifade etmiştir. Pournader vd. (2020) çalışmasında, blokzincir teknolojisinin atık taşıma süreçlerinde güven, izlenebilirlik ve şeffaflık sağlamada etkili olduğu ileri sürülmüştür. Song vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada ise, blokzincir tabanlı HWT uygulamalarında bilgi izlenebilirliğinin sistem güvenliği ve operasyonel etkinlik açısından doğrudan etkileri olduğu vurgulanmıştır. Kumar vd. (2024) geliştirdikleri sistemle, blokzincirin hesap verebilirlik, güvenlik, veri izlenebilirliği ve güvenilirlik gibi unsurları sağladığını; ayrıca dört akıllı sözleşme aracılığıyla olayların kaydını tutarak sistemin izlenebilirliğini otomatikleştirdiğini belirtmişlerdir. Hawashin vd. (2022) da benzer şekilde, tıbbi malzemelerin aşırı üretimi ve yetersiz kullanımı kaynaklı israfı önlemek amacıyla geliştirilen blokzincir temelli sistemin izlenebilirlik ve denetlenebilirliği artırarak atık oluşumunun önüne geçtiğini ifade etmektedir.

K₂: Şeffaflık, tıbbi atık yönetim süreçlerinin açık, anlaşılır ve denetlenebilir olmasını sağlayarak tüm paydaşlar arasında güvenin tesis edilmesine katkıda bulunmaktadır. Blokzincir teknolojisi, atık yönetimiyle ilgili tüm işlemleri değiştirilemez, doğrulanabilir ve izlenebilir bir şekilde kayıt altına alarak sürecin manipülasyona açık olmasını engellemektedir. Bu sayede yolsuzluk, usulsüzlük ve veri tahrifatı gibi riskler minimize edilmekte; süreçlerin daha güvenilir bir çerçevede yürütülmesi mümkün hale gelmektedir. Le vd., (2022) blokzincir sistemlerinde tüm paydaşların bilgilerinin diğer taraflar için şeffaf hale geldiğini ve bu durumun kaynakla ilgili bilgilerin kolayca izlenmesine olanak sağladığını belirtmiştir. Aynı çalışmada, sistemin sahteciliği ve bilgi tahrifatını önleyerek geleneksel tıbbi kuruluşlardaki giriş-çıkış kayıt eksikliklerini ve bant hatalarını giderdiği, böylece tıbbi atık yönetimini daha şeffaf hale getirdiği vurgulanmaktadır. Dogo vd., (2019) da benzer şekilde, blokzincirin şeffaflık ve güvenlik yönlerinin sistem verimliliğini artırarak işletme maliyetlerini azaltabileceğini ifade etmişlerdir. Pournader vd., (2020) ise atık taşıma süreçlerinde şeffaflık sağlamanın, daha iyi işleyiş ve güven ortamı açısından önemli bir avantaj olduğunu ortaya koymuştur.

Blokzincir tabanlı şeffaf bir yapı yalnızca teknik değil, aynı zamanda yönetsel faydalar da sunmaktadır. Şeffaflık, karar alma mekanizmalarının daha sağlıklı işlemesini sağlarken aynı zamanda hesap verebilirliği ve sürdürülebilirliği de desteklemektedir.

Nitekim, Hawashin vd., (2022) tarafından geliştirilen blokzincir tabanlı sistemde, şeffaflığın hesap verebilirlik açısından temel bir güvenlik özelliği olduğu saptanmıştır. Ancak şeffaflığın sağlanamaması durumunda, sistemlerin benimsenmesi de sekteye uğrayabilmektedir. Torkayesh vd., (2021) yaptıkları çalışmada, İstanbul'da faaliyet gösteren bir atık yönetimi şirketinin yöneticileriyle gerçekleştirdikleri uygulamada şeffaflığı, akıllı teknolojilerin benimsenmesinde karşılaşılan başlıca başarısızlık faktörlerinden biri olarak tanımlamışlardır. Aynı çalışmada, şirketlerin gerekli bilgi ve verileri vatandaşlarla açıkça paylaşarak çevresel ve ekonomik güven ortamının oluşmasına katkı sağlayabileceğini ifade etmişlerdir.

K₃:Denetlenebilirlik, tıbbi atık yönetim süreçlerinin mevzuata uygun, düzenli ve etkin bir şekilde kontrol edilmesini sağlayarak, sistemin güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini artıran önemli bir unsurdur. Blokzincir teknolojisi, verilerin merkeziyetsiz ve değiştirilemez bir yapıda güvenle saklanmasını mümkün kılarak, yetkili kurumların atık yönetimi süreçlerini anlık ve eksiksiz bir şekilde denetlemesine olanak tanımaktadır. Le vd., (2022), blokzincir destekli atık işleme sistemlerinde gerçek zamanlı kayıt ve paylaşımın, kullanım sonrası tıbbi malzemelerin etkin şekilde sınıflandırılmasına ve işlenmesine katkı sunduğunu ifade etmektedirler. Bu, denetim süreçlerinin doğruluğunu ve müdahale hızını artırarak mevzuata aykırı durumların erkenden tespitine imkân tanımaktadır.

Benzer şekilde, Kumar vd., (2024) tarafından önerilen merkeziyetsiz blokzincir tabanlı sistemin hesap verebilirlik, izlenebilirlik, güvenlik ve güvenilirlik gibi özellikleri ile denetim süreçlerini güçlendirdiği ve israfı önlemeye katkı sunduğu belirtilmiştir. Hawashin vd., (2022) da geliştirdikleri çözümün, blokzincirin denetlenebilirlik sağlayan yapısından faydalanarak, tıbbi malzemelerin aşırı üretim ve yetersiz tüketiminden kaynaklanan israfı azaltmada etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Bu bağlamda, denetim süreçlerinin hızlı, güvenilir ve şeffaf şekilde yürütülmesi; sağlık kuruluşlarının ve atık yönetim sistemlerinin yasal düzenlemelere uyumunu destekleyerek, çevresel sürdürülebilirliğin ve halk sağlığının korunmasına önemli katkılar sunmaktadır. Blokzincir tabanlı bir denetim mekanizması, tüm süreçlerin şeffaf şekilde kayıt altına alınmasını sağlayarak, bilgi eksikliği ve güven sorunlarını ortadan kaldırmakta ve hesap verebilirliği kurumsal bir güvenlik unsuru hâline getirmektedir.

K4:Değiştirilemezlik, tıbbi atık yönetimi süreçlerinde veri bütünlüğünü ve güvenilirliğini koruyarak, yanlış veya sahte bilgi girişinin önüne geçilmesini sağlayan kritik bir özelliktir. Blokzincir teknolojisinin zincir yapısında saklanan ve sonradan değiştirilemeyen veri yapısı sayesinde, eklenen her bilgi kalıcı olarak sistemde yer almakta ve manipülasyona karşı tam bir koruma sağlamaktadır (Saber ve ark., 2019). Bu yapı, veri sahteciliğini ve usulsüz girişleri önleyerek, yetkili kurumların atık yönetimi süreçlerini daha şeffaf, hesap verebilir ve güvenli bir şekilde denetlemesine olanak tanımaktadır (Song vd., 2022). Ayrıca, blokzincirin bu özelliği, geçmişe dönük kayıtların güvenilirliğini artırmakta ve denetim mekanizmaları açısından sağlam bir dayanak oluşturmaktadır. Örneğin, Hawashin ve arkadaşlarının (2022) yürüttüğü çalışmada geliştirilen dört akıllı sözleşme aracılığıyla, sistemdeki tüm olayların otomatik olarak kayda geçirildiği, veri kökeninin korunduğu ve veri bütünlüğünün sağlandığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, zincirin değiştirilemez yapısının “unutulma hakkı” ve “veri düzeltme hakkı” gibi bazı etik ve hukuki ilkelerle çelişebileceği de vurgulanmaktadır (Song vd., 2022). Dolayısıyla, blokzincir tabanlı sistemlerde değiştirilemezlik hem güvenlik hem de sürdürülebilirlik açısından büyük avantajlar sunarken, bu yapının yaratabileceği yeni hukuki tartışmaların da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

K5:Esneklik, tıbbi atık yönetiminde farklı atık türleri, sağlık kuruluşlarının değişen ihtiyaçları ve yasal düzenlemelere uyum sağlama açısından kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Her sağlık kuruluşu farklı ölçeklerde ve çeşitli türde atık ürettiğinden, atık yönetim sistemlerinin mevzuat değişikliklerine, teknolojik gelişmelere ve operasyonel gereksinimlere hızlı bir şekilde adapte olabilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, blokzincir destekli sistemler merkeziyetsiz yapıları sayesinde süreçlerin dinamik olarak düzenlenmesine, kişiselleştirilmesine ve optimize edilmesine olanak tanıyarak farklı senaryolara uyum sağlayabilen esnek bir atık yönetim modeli sunmaktadır (Kumar vd., 2024). Geliştirilen sistemin yalnızca sağlık sektörüyle sınırlı kalmayıp, küçük uyarlamalarla diğer sektörlere de uygulanabilir olması, bu esnekliğin somut bir göstergesidir. Ayrıca, IoT ile blokzincirin entegrasyonu, işletmelerin bilgi yönetimi düzeyini artırarak süreçlerin daha etkin izlenmesine ve düzenlenmesine katkı sağlamaktadır (Song vd., 2022). Bununla birlikte, mevcut sistemlerle entegrasyonun karmaşık olması uygulamada bazı teknik zorluklar yaratabilmektedir (Musamih vd.,

2022). Bu nedenle, sistemlerin farklı altyapı ve düzenleyici koşullara uyarlanabilir nitelikte olması büyük önem taşımaktadır. Özellikle hasta mahremiyeti yasalarının bölgelere göre farklılık göstermesi, blokzincir temelli sistemlerin yerelleştirilebilir ve esnek yapılarla tasarlanmasını zorunlu kılmaktadır (Musamih vd., 2022). Bu yönüyle esnek sistemler, sadece operasyonel verimliliği artırmakla kalmayıp, aynı zamanda uzun vadeli uygulanabilirliği ve sürdürülebilirliği de desteklemektedir.

K6:Ademi merkeziyetçilik, tıbbi atık yönetiminde veri kontrolünün tek bir otoritenin elinde bulundurulmasını engelleyerek, sürecin daha güvenli ve dayanıklı hale gelmesini sağlayan önemli bir özelliktir. Merkezi olmayan bir yapı, sistemin tek bir hata noktasına bağımlılığını azaltarak, yetkisiz müdahaleleri, veri manipülasyonunu ve bilgi tekelleşmesini önlemektedir. Blokzincir tabanlı ademi merkeziyetçi sistemler, tüm paydaşların eşit erişim haklarına sahip olduğu güvenli ve şeffaf bir yönetim modeli sunarak, atık yönetim süreçlerinin adil ve hesap verebilir bir şekilde yürütülmesine olanak tanımaktadır. Nitekim Kumar ve arkadaşları (2024) tarafından geliştirilen blokzincir tabanlı sistemin merkeziyetsiz yapıda çalıştığı ve bu yapının hesap verebilirlik, izlenebilirlik, güvenlik ve güvenilirlik sağladığını belirtmişlerdir. Özellikle büyük ölçekli sağlık kuruluşları ve ulusal çapta entegre sağlık ağları için, çok paydaşlı yönetim anlayışını destekleyen ademi merkeziyetçi bir yapı, bilgi paylaşımını kolaylaştırarak süreçlerin daha verimli bir şekilde koordine edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, veri yönetiminin merkezi olmayan bir yapıda saklanması, sistemin daha dirençli hale gelmesine katkıda bulunarak, hizmet sürekliliğini ve veri güvenliğini artırmaktadır.

K7:Anonimlik, Atıkların kaynağına ve bertaraf sürecine dair verilerin yalnızca yetkili paydaşlar tarafından erişilebilir olmasını sağlamak amacıyla kullanılabilir. Blokzincir tabanlı sistemler, atık yönetim süreçlerinde herhangi bir atığın kim tarafından üretildiği veya hangi kurumdan çıktığı gibi bilgilerin yalnızca yetkili kişilere açılmasını sağlayarak yetkisiz erişimi engelleyebilir. Bu sayede, hassas verilerin manipüle edilmesi veya kötüye kullanılması önlenirken, süreçlerin güvenilirliği ve şeffaflığı artırılabilir. Örneğin, hastaneler, laboratuvarlar veya diğer sağlık kuruluşları tarafından üretilen atıkların hangi tesisten çıktığı bilgisi, yalnızca ilgili denetim mercileri tarafından erişilebilir kılınarak, ticari rakipler veya yetkisiz kişiler tarafından bu verilerin kötüye kullanılması engellenebilir. Ayrıca, atık taşıma ve bertaraf süreçlerinde kullanılan anonimleştirilmiş veriler, yalnızca süreçlerin takibini ve denetimini kolaylaştırırken,

kurumların iç operasyonlarıyla ilgili hassas bilgilerin ifşa edilmesini önleyebilir. Anonimlik ilkesi, tıbbi atıkların izlenebilirliğini ve güvenliğini sağlarken, yalnızca gerekli verilerin paylaşılmasını ve sürecin şeffaf ama güvenli bir şekilde yürütülmesini mümkün kılmaktadır.

K8: Hız ve zaman avantajı, tıbbi atık yönetiminde atıkların hızlı bir şekilde sınıflandırılması, taşınması ve bertaraf edilmesiyle sağlık ve çevresel riskler en aza indirilmektedir. Geleneksel sistemlerde manuel işlemler ve bürokratik süreçler nedeniyle bilgi akışı yavaşlamakta, bu da atıkların bekleme süresinin uzamasına ve enfeksiyon riskinin artmasına yol açabilmektedir. Blokzincir teknolojisi, anlık veri güncellemeleri ve akıllı sözleşmeler sayesinde süreçlerin daha hızlı ve etkin bir şekilde yürütülmesini mümkün kılmaktadır. Nitekim Kumar vd. (2024) tarafından geliştirilen dört akıllı sözleşmenin, olayların kaydedilmesini kolaylaştırarak veri izlenebilirliğini güvence altına aldığı ve sistemin genel güvenilirliğini artırdığı gösterilmiştir. Benzer şekilde, Bamakan vd. (2022) tarafından yapılan çalışma, hastane ortamında oluşan çeşitli atıkların daha etkin tanımlanması ve izlenmesiyle birlikte hizmet kalitesi ve hızında artış sağlandığını ortaya koymaktadır. Bu sistem sayesinde, atık üretim noktalarından bertaraf tesislerine kadar tüm süreçler gerçek zamanlı takip edilerek, operasyonların daha verimli hale getirilmesi sağlanabilir. Ayrıca, lojistik planlamanın daha iyi yapılabilmesi ve gecikmelerin önüne geçilmesiyle, atıkların zamanında bertaraf edilmesi garanti altına alınmaktadır. Örneğin, Song vd. (2022), blokzincir teknolojisinin tehlikeli atık taşımacılığı süreçlerinde bilgi yönetim biçimini dönüştürerek operasyonel verimliliği artırdığını ve geleneksel süreçlerde yaşanan zaman kaybını azalttığını ifade etmektedir. Bunun yanı sıra, Le vd. (2022), geri dönüşüm sürecine dair materyallerin önceden hazırlanması ve atık gönderim/alım zamanlamasının daha etkili biçimde planlanmasının mümkün olduğunu vurgulamaktadır. Bu durum, çevresel kirliliği azaltırken, biyolojik ve kimyasal riskleri en aza indirerek halk sağlığının korunmasına katkı sağlamaktadır. Hızlı ve zamanında müdahale, özellikle salgın dönemlerinde veya yüksek riskli tıbbi atıkların yönetimi söz konusu olduğunda, kritik bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Kassou vd. (2021) tarafından da belirtildiği üzere, blokzincir teknolojisi faaliyetlerin yeni şekillerde organize edilmesini sağlayarak araçların neden olduğu zaman ve maliyet kayıplarını azaltmakta, paydaşlar arasında güveni artırmaktadır. Ayrıca, Koh vd. (2020), hastane içi atık taşıma süreçlerinde trafik yoğunluğunu azaltmak amacıyla BT tabanlı bir sistem

önermiştir; bu öneri, süreçlerin hızlandırılmasına katkı sağlayacak bir yaklaşımı temsil etmektedir. Öte yandan, kullanılan platformlara göre hız avantajı da değişkenlik gösterebilmektedir. Örneğin, Triet vd. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, Fantom ağının işlem hızı ve verimlilik açısından umut verici sonuçlar sunduğu raporlanmıştır.

K9:Güvenilirlik, tıbbi atık yönetim sürecinin tüm aşamalarında veri doğruluğunu, şeffaflığı ve hesap verebilirliği garanti altına alan en temel kriterlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Hatalı veya yasa dışı bertaraf işlemlerinin önlenmesi, süreçte kullanılan bilgilerin doğruluğuna ve denetlenebilir olmasına bağlıdır. Bu bağlamda, blokzincir teknolojisi; kayıtların değiştirilemez, izlenebilir ve şeffaf bir şekilde saklanmasını sağlayarak, sürecin güvenilirliğini artırmakta ve atık yönetimine dahil olan sağlık kuruluşları, yetkililer ve geri dönüşüm merkezleri arasında güvenilir veri paylaşımını mümkün kılmaktadır. Nitekim Kumar vd. (2024), geliştirilen dört akıllı sözleşme sayesinde olayların kaydedilmesinin kolaylaştığını, veri izlenebilirliğinin güvence altına alındığını ve sistemin genel güvenilirliğinin artırıldığını ortaya koymuştur. Aynı şekilde, Hawashin vd. (2022) tarafından önerilen blokzincir tabanlı çözüm de, dağıtıklık ve hesap verebilirlik yapısıyla hem denetlenebilirliği hem de güvenilirliği artırmaktadır.

Medical-Waste Chain sistemi üzerine yapılan çalışmalarda, sahteciliği ve veri tahrifatını engelleyerek etiketleme hataları gibi sorunların önüne geçildiği ve bu sayede tıbbi atık yönetiminin daha şeffaf hale getirildiği görülmektedir (Le vd., 2022). Bu tür uygulamalar, taşımacılık sürecinde atığın kaynağını ve türünü izleyebilme yeteneği sayesinde verimlilik ve güvenilirlik açısından da katkı sağlamaktadır. Ayrıca, Bamakan vd. (2022), blokzincir destekli sağlık atığı uygulamalarının tehlikeli atıkların takibi ve bertarafı konusunda güven inşa ettiğini ve uzun vadeli tedarikçi ilişkilerini güçlendirdiğini belirtmiştir. Song vd. (2022) ise blokzincir destekli bilgi platformlarının, katılımcılar arasında güven oluşturmak açısından etkili olduğunu; çok kanallı yapıların ve asimetrik şifrelemenin, ticari veri sızıntısı riskini azaltarak bilgi yönetimi açısından güvenli ortamlar sunduğunu vurgulamıştır.

Öte yandan, BT'nin tıbbi atık yönetimi üzerindeki güven oluşturuıcı etkileri başka çalışmalarda da desteklenmektedir. Örneğin, Pournader vd. (2020), bilgi teknolojilerinin atık taşıma süreçlerinde şeffaflık, izlenebilirlik ve güveni artırdığını belirtirken; Sløgedal ve Starling (2020), BT'nin atık paketlerinin güvenli bir şekilde tanımlanması ve izlenmesi

için etkili bir araç olduğunu ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, Sharma ve Joshi (2021) ile Spanò vd. (2021), güvenlik açıkları, uyumluluk problemleri ve yüksek maliyet gibi faktörlerin teknolojiye geçişte önemli engeller teşkil ettiğine de dikkat çekmişlerdir.

Sonuç olarak, blokzincir teknolojisinin sunduğu güvenilir yapı sayesinde tıbbi atık yönetimi süreci daha şeffaf, doğrulanabilir ve güvenli hale getirilmekte; bu da çevresel sürdürülebilirlik ve mevzuata uyumluluğun daha etkin bir şekilde sağlanmasına olanak tanımaktadır.

Tıbbi atıkların yanlış yönetilmesi, çevresel felaketlere, halk sağlığına yönelik ciddi tehditlere ve hukuki yaptırımlara yol açabilmektedir. Atık miktarları, taşıma süreçleri ve bertaraf yöntemleriyle ilgili yanlış veya eksik bilgiler, sağlık riski oluşturmanın yanı sıra düzenleyici otoritelerin denetim süreçlerini de olumsuz etkilemektedir. Blokzincir tabanlı kayıt sistemleri, verilerin değiştirilemez olması sayesinde sahteciliği önleyerek usulsüz işlemlerin engellenmesine katkı sağlamakta ve denetim süreçlerini daha güvenilir hale getirmektedir. Ayrıca, sağlık kuruluşları, yerel yönetimler ve çevre otoriteleri gibi paydaşların ortak çalıştığı bir sistemde, doğru ve güvenilir veri paylaşımı kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Eğer sistem güvenilir değilse, yetkisiz erişimler, manipüle edilmiş atık kayıtları ve eksik bilgi paylaşımı gibi sorunlar ortaya çıkabilir; bu da atık yönetim zincirinin bozulmasına ve sağlık sektöründe güven kaybına yol açabilir.

Tıbbi atık yönetiminin sürdürülebilir ve etkin bir şekilde yürütülebilmesi, tüm süreçlerin güvenilir bir veri altyapısına dayandırılmasını gerektirmektedir. Blokzincir destekli sistemler, merkezi olmayan yapıları sayesinde verilerin manipüle edilmesini engelleyerek, her aşamada doğruluğu ve güvenilirliği sağlamaktadır. Özellikle pandemi gibi olağanüstü durumlarda, güvenilir atık yönetimi biyolojik risklerin yayılmasını önleyerek halk sağlığını koruma noktasında kritik bir rol oynamaktadır. Güvenilirlik aynı zamanda, hukuki ve etik sorumlulukların yerine getirilmesini sağlayarak, tüm paydaşların süreçlere güvenle dahil olmasına olanak tanımaktadır.

Tıbbi atık yönetiminde şeffaflık, izlenebilirlik ve denetlenebilirlik gibi unsurlar büyük önem taşımakla birlikte, güvenilirlik bu unsurların temelini oluşturan üst bir kavramdır. Örneğin, şeffaf bir sistemde bile güvenilir olmayan bilgiler sunuluyorsa, süreçler yanıltıcı hale gelebilir. İzlenebilirlik mekanizmaları, atıkların takibini mümkün kılarken, eğer veriler güvenilir değilse izleme süreci hatalı sonuçlar üretebilir.

Denetlenebilirlik kriteri, süreçlerin düzenli kontrolünü sağlamasına rağmen, denetim sürecinde kullanılan verilerin güvenilir olmaması, denetimin etkisini zayıflatabilir. Benzer şekilde, değiştirilemezlik kriteri, verilerin manipüle edilmesini engellese de, eğer baştan yanlış bilgiler girilmişse, değiştirilemezlik süreci tek başına yeterli olmayacaktır.

Esneklik, ademi merkezîyetçilik, anonimlik ve hız gibi diğer kriterler de sistemin güvenilir bir altyapıya sahip olması durumunda işlevsel hale gelmektedir. Eğer sistem güvenilir değilse, esnek yapılar hatalara yol açabilir, merkezîyetsizlik bilgi kirliliği yaratabilir, anonimlik kötü niyetli kullanımlara açık hale gelebilir ve hızlı işleyen bir sistem hatalı sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle, güvenilirlik kriteri sağlanmadan diğer kriterlerin etkin bir şekilde uygulanması mümkün değildir.

Sonuç olarak, güvenilirlik tıbbi atık yönetiminin temel taşı olup, tüm süreçlerin doğruluk, hesap verebilirlik ve sürdürülebilirlik çerçevesinde yürütülmesini sağlamaktadır. Blokzincir tabanlı sistemler sayesinde, atık yönetimi süreçlerinde kullanılan tüm veriler doğrulanabilir, denetlenebilir ve şeffaf bir şekilde kaydedilebilir, böylece sağlık ve çevre üzerindeki riskler minimize edilerek, süreçlerin daha etkin ve güvenilir bir şekilde yürütülmesi sağlanabilir.

Yapılan analizler sonucunda, tıbbi atık yönetiminde blokzincir teknolojisinin katkısını değerlendirmek amacıyla beş farklı alternatif ele alınmış ve çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılarak en uygun alternatif belirlenmiştir. Atık imha süreci (A₅), güvenilirlik, izlenebilirlik ve denetlenebilirlik gibi kritik kriterler doğrultusunda en etkili alternatif olarak belirlenmiştir. İmha merkezine taşıma (A₄) ise, atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edileceği tesislere ulaştırılmasını sağladığından ikinci en önemli alternatif olarak değerlendirilmiştir. Kaynağında ayrı toplama (A₁), atıkların ilk aşamada doğru şekilde ayrıştırılmasının önemini vurgulasa da, sürecin tüm aşamalarını güvence altına almak için tek başına yeterli olmadığını göstermiştir. Kurum içi taşıma (A₂), genellikle kontrollü ortamlarda gerçekleştiğinden daha az kritik bir aşama olarak görülmüş ancak yönetsel hataların olası riskler doğurabileceği ortaya konmuştur. Geçici depolama (A₃) ise, atıkların uzun süre bekletilmesiyle enfeksiyon yayılımı ve yasa dışı bertaraf risklerini artırması nedeniyle en düşük önceliğe sahip alternatif olarak belirlenmiştir. Bu analizler, her bir alternatife sürecin katkısını ortaya koyarak blokzincir teknolojisinin hangi aşamalarda daha fazla avantaj

sağlayabileceğini değerlendirmek için bilimsel bir temel sunmaktadır. Alternatifler, operasyonel verimlilik, mevzuata uyumluluk ve çevresel sürdürülebilirlik açısından detaylı bir şekilde incelenmiş ve blokzincir destekli bir tıbbi atık yönetim modelinin nasıl optimize edilebileceğine dair stratejik çıkarımlarda bulunulmuştur.

Tıbbi atık yönetiminde atık imha süreci (A₅), güvenilirlik (K₉) kriterinin en önemli faktör olarak belirlenmesi nedeniyle en yüksek önceliğe sahip alternatif olarak değerlendirilmiştir. Tıbbi atıklar, bulaşıcı hastalık yayılımı, toksik kimyasalların doğaya sızması ve çevresel kirlenme gibi ciddi riskler taşıdığı için, yönetim sürecinin nihai ve kesin çözüm aşaması güvenli ve etkili bir şekilde imha edilmesi olarak kabul edilmektedir. İzlenebilirlik (K₁), denetlenebilirlik (K₃) ve değiştirilemezlik (K₄) gibi kritik kriterler, atıkların bertaraf sürecinin güvenli ve mevzuata uygun bir şekilde yürütülmesini sağlamak açısından belirleyici unsurlar olarak ön plana çıkmaktadır.

Atıkların uygun şekilde imha edilmemesi, enfeksiyon yayılımını artırma, zararlı kimyasal bileşiklerin toprağa ve su kaynaklarına karışması ve yasa dışı atık ticareti gibi birçok olumsuzluğa yol açabilmektedir. Bu tür durumlar, halk sağlığı üzerinde ciddi tehditler oluşturabileceği gibi, çevresel sürdürülebilirlik açısından da geri dönülemez sonuçlar doğurabilmektedir. Özellikle tıbbi atıkların uygun yönetilmemesi, hastaneler, laboratuvarlar ve diğer sağlık kuruluşları için yasal yaptırımları da beraberinde getirmektedir.

Blokzincir teknolojisi, atık imha sürecinin izlenebilir ve şeffaf hale getirilmesini sağlayarak, atık bertaraf tesislerine ulaştırılan atıkların güvenli bir şekilde yok edildiğini belgelemekte ve yetkililere anlık denetim yapabilme imkânı sunmaktadır. Bu süreçte, merkeziyetsiz bir kayıt sisteminin kullanılması, imha işlemleriyle ilgili verilerin manipüle edilmesini engelleyerek tüm sürecin hesap verebilirliğini artırmaktadır.

Sonuç olarak, atık imha süreci, tıbbi atık yönetiminin nihai ve en kritik aşaması olup, bu sürecin güvenilir, izlenebilir ve denetlenebilir olması, çevresel ve halk sağlığı risklerini en aza indirmek açısından büyük önem taşımaktadır. Blokzincir destekli bir yönetim modeli, atık imha süreçlerinin tam şeffaflıkla yürütülmesini sağlayarak, yasa dışı uygulamaların önlenmesine ve sürdürülebilir atık yönetim politikalarının oluşturulmasına katkı sunmaktadır. Bu nedenle, atık imha sürecinin blokzincir tabanlı bir sistem ile

desteklenmesi, sağlık ve evre güvenliği açısından kritik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

İmha merkezine taşıma (A4), tıbbi atık yönetim sürecinin en kritik aşamalarından biri olarak belirlenmiş ve alternatifler arasında ikinci en yüksek öneme sahip seçenek olarak değerlendirilmiştir. Atıkların güvenli ve kontrollü bir şekilde bertaraf edileceği tesislere ulaştırılması, sürecin başarıyla tamamlanması açısından hayati bir gerekliliktir. Eğer taşıma süreci güvenilir bir sistemle yönetilmezse, atıkların izlenebilirliği kaybolabilir, 3.şahısların eline geçebilir veya çevreye zarar verebilecek şekilde uygunsuz koşullarda taşınabilir. Bu durum, hem sağlık hem de evre açısından ciddi riskler doğurmakta ve mevzuata uyumluluk açısından büyük sorunlar teşkil etmektedir.

Atıkların güvenli bir şekilde taşınması, özellikle hastaneler, laboratuvarlar ve tıbbi atık üreten diğer sağlık kuruluşları için kritik bir gerekliliktir. Tehlikeli biyolojik ve kimyasal içeriğe sahip tıbbi atıklar, yetkisiz erişime açık hale geldiğinde, halk sağlığı açısından ciddi tehditler oluşturabilir ve yasa dışı atık ticareti gibi suçların işlenmesine zemin hazırlayabilir. Bu riskleri ortadan kaldırmada ve süreci daha güvenilir hale getirmede blokzincir teknolojisinin sunduğu ademi merkezîyetçilik (K6) ilkesi büyük önem taşımaktadır.

Blokzincir tabanlı bir izleme sistemi, taşıma sürecinin her aşamasında atık hareketlerinin güvenli ve gerçek zamanlı bir şekilde kayıt altına alınmasını sağlayarak, yetkililerin anlık denetim yapabilmesine ve sürecin tam şeffaflık içinde yürütölmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, yetkisiz erişim girişimleri, izinsiz yönlendirmeler ve atıkların yanlış yerlere bırakılması gibi sorunların önüne geçilmesi mümkün hale gelmektedir. Akıllı sözleşmeler ve merkezi olmayan kayıt sistemleri sayesinde, taşıma sürecindeki tüm adımlar otomatik olarak doğrulanabilir ve herhangi bir usulsüzlük tespit edildiğinde anında müdahale edilebilir.

Sonuç olarak, imha merkezine taşıma süreci, tıbbi atıkların güvenli yönetiminde temel bir aşamadır ve sürecin izlenebilirlik, güvenilirlik ve denetlenebilirlik kriterlerine uygun şekilde yürütölmesi gerekmektedir. Blokzincir destekli bir taşıma sistemi, atıkların mevzuata uygun, güvenli ve sorunsuz bir şekilde taşınmasını sağlayarak, sağlık ve evre güvenliğini artırmakta ve atık yönetim süreçlerinin bütünlüğünü sağlamaktadır. Bu nedenle, tıbbi atık taşıma süreçlerinde blokzincir tabanlı çözümler kullanılması, atık

yönetiminin sürdürülebilirliğini güçlendiren stratejik bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Kaynağında ayrı toplama (A₁), tıbbi atık yönetimi süreçlerinde en temel aşamalardan biri olarak öne çıkmakta olup, alternatifler arasında üçüncü en yüksek önceliğe sahip seçenek olarak belirlenmiştir. Bu alternatifin önemi, özellikle izlenebilirlik (K₁) ve şeffaflık (K₂) kriterleri açısından değerlendirilmiş ve atıkların ilk aşamada doğru şekilde sınıflandırılmasının sürecin geri kalanının etkin ve güvenilir ilerlemesine doğrudan katkı sağladığı şeklinde yorumlanmıştır.

Atıkların kaynağında doğru şekilde ayrıştırılması, geri dönüşüm süreçlerini kolaylaştırarak çevresel sürdürülebilirliği desteklemekte ve halk sağlığını koruma açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu aşamada yapılan yanlış sınıflandırmalar, tıbbi atıkların yanlış bertaraf edilmesine, kontaminasyon risklerinin artmasına ve mevzuata aykırı uygulamaların yaygınlaşmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, yanlış ayrıştırılan atıkların geri dönüşüm tesislerine yönlendirilmesi, atık işleme maliyetlerini artırarak operasyonel verimliliği düşürebilmektedir.

Kaynağında ayrı toplama, atıkların yönetim sürecine izlenebilirlik kazandırarak, ilgili kurum ve denetleyici otoritelerin sürecin doğruluğunu sağlamasına yardımcı olmaktadır. Blokzincir tabanlı bir sistemin entegre edilmesi, bu aşamada yapılan işlemlerin kayıt altına alınmasını ve tıbbi atıkların kaynağından itibaren takip edilmesini mümkün kılmaktadır. Atık üretim noktalarında yapılan sınıflandırma verileri, merkeziyetsiz bir blokzincir ağına kaydedildiğinde, daha sonraki süreçlerde atık türüne göre uygun taşıma, depolama ve bertaraf yöntemlerinin belirlenmesi kolaylaşmaktadır.

Bununla birlikte, kaynağında ayrıştırma tek başına yeterli değildir. Atıkların imha sürecine kadar olan yolculuğu boyunca izlenebilirliğin sağlanması, yetkililerin her aşamada süreci denetleyebilmesine imkân tanıyan bir sistem ile desteklenmelidir. Blokzincir destekli bir izleme mekanizması, atıkların hangi noktada toplandığı, nasıl taşındığı ve nihai bertaraf sürecine nasıl ulaştırıldığı gibi verilerin değiştirilemez şekilde kaydedilmesini sağlayarak, sürecin güvenilirliğini artırmaktadır.

Sonuç olarak, kaynağında ayrı toplama, tıbbi atık yönetiminin temel taşı olup, sürecin güvenilirliğini ve izlenebilirliğini artıran kritik bir adımdır. Ancak, bu sürecin blokzincir tabanlı bir yönetim modeliyle entegre edilmesi, sadece başlangıç aşamasında

değil, tüm süreç boyunca veri doğruluğunu ve şeffaflığı garanti altına almak için gereklidir. Blokzincir destekli izleme sistemleri sayesinde, atıkların kaynağından nihai bertarafına kadar tüm süreçler güvenli, şeffaf ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilebilmektedir.

Kurum içi taşıma (A_2), tıbbi atık yönetimi süreçleri içinde nispeten daha düşük önceliğe sahip bir alternatif olarak değerlendirilmiştir. Bunun temel sebebi, sağlık kuruluşları içerisinde gerçekleşen taşıma işlemlerinin genellikle kontrollü bir ortamda yürütülmesi ve dış taşıma süreçlerine kıyasla daha düşük risk içermesidir. Ancak, bu sürecin doğru yönetilmemesi durumunda, atıkların yanlış yönlendirilmesi, kontaminasyon riskinin artması ve sürecin genel verimliliğinin düşmesi gibi olumsuzluklar ortaya çıkabilmektedir.

Tıbbi atıkların kurum içinde belirlenen geçici depolama alanlarına güvenli bir şekilde taşınması, sürecin bir sonraki aşamalarının sağlıklı bir şekilde yürütülmesi açısından önem arz etmektedir. Yanlış yönetilen kurum içi taşıma süreçleri, atıkların uygunsuz şekilde depolanmasına, hatalı sınıflandırılmasına ve izlenebilirliğin kaybolmasına neden olabilmektedir. Bu durum, hem sağlık çalışanları hem de atık yönetim ekipleri için ciddi güvenlik riskleri oluşturabilmektedir.

Blokzincir teknolojisinin kurum içi taşıma süreçlerine entegre edilmesi, atık hareketlerinin kaydedilmesini, ilgili personelin sorumluluklarının netleştirilmesini ve taşıma sürecindeki olası hataların önlenmesini sağlayabilir. Akıllı sözleşmeler ve merkeziyetsiz veri tabanları, kurum içi taşıma sürecinin otomatik olarak kayıt altına alınmasına ve yetkililerin bu süreçleri denetleyebilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle büyük ölçekli sağlık kuruluşlarında veya farklı birimlere yayılmış kompleks hastane yapılarında, kurum içi taşıma sürecinin blokzincir tabanlı bir sistemle izlenmesi, atıkların doğru şekilde yönlendirilmesini sağlayarak hata payını minimize edebilecektir.

Her ne kadar kurum içi taşıma daha düşük bir önceliğe sahip bir süreç olarak değerlendirilse de, blokzincir teknolojisi ile desteklenmesi, sürecin şeffaf ve izlenebilir hale getirilmesi açısından önemli katkılar sunmaktadır. Sağlık kuruluşları içinde gerçekleştirilen atık taşıma süreçlerinde kayıtların değiştirilemez olması, hatalı yönlendirmelerin ve sorumluluk belirsizliklerinin önüne geçilmesini sağlayarak sürecin genel etkinliğini artırmaktadır.

Sonuç olarak, kurum içi taşıma süreci düşük risk içeren bir aşama gibi görünse de, sistemin bütünsel verimliliği açısından optimize edilmesi gereken bir süreçtir. Blokzincir tabanlı bir yönetim modeli, kurum içi taşıma sürecinde izlenebilirliği artırarak hatalı uygulamaları önleyebilir ve sürecin daha verimli ve güvenli hale gelmesine katkı sağlayabilir. Bu nedenle, atık yönetim zincirinin bir parçası olarak kurum içi taşıma süreçlerinin de dijital teknolojilerle desteklenmesi, sağlık kuruluşlarının atık yönetiminde daha yüksek standartlara ulaşmasını sağlayacaktır.

Geçici depolama (A₃), tıbbi atık yönetimi süreçleri içinde en düşük öneme sahip alternatif olarak değerlendirilmiştir. Bunun temel sebebi, tıbbi atıkların uzun süre bekletilmesinin hem sağlık hem de çevresel riskleri artırmasıdır. Bu süreç, enfeksiyon riskinin artmasına, atıkların uygunsuz koşullarda saklanmasına ve yasa dışı imha ihtimalinin yükselmesine neden olabilmektedir. Güvenilirlik (K₉) kriteri açısından değerlendirildiğinde, uzun süre bekleyen atıkların izlenebilirliğini kaybetme riski taşıdığı ve kontrolsüz şekilde bertaraf edilebileceği öne çıkmaktadır.

Tıbbi atıkların geçici olarak depolanması, genellikle atıkların toplanmasını ve uygun bertaraf alanlarına ulaştırılmasını kolaylaştırmak için kullanılan bir ara süreçtir. Ancak, bu sürecin uzun süreli olması, sağlık kuruluşlarında ve çevresinde ciddi riskler oluşturabilmektedir. Özellikle biyolojik atıklar, kimyasal içerikli tıbbi atıklar ve kesici-delici malzemeler, uygun şekilde yönetilmezse halk sağlığını tehdit edebilmekte ve çevresel kirliliğe yol açabilmektedir.

Blokzincir teknolojisinin geçici depolama süreçlerine entegre edilmesi, bu sürecin izlenebilirliğini artırarak, atıkların belirlenen süre içerisinde uygun bir şekilde taşınmasını sağlayabilir. Ancak, hız ve zaman avantajı (K₈) kriteri göz önüne alındığında, atıkların mümkün olan en kısa sürede bertaraf edilmesi gerektiği açıktır. Bu nedenle, blokzincir teknolojisinin geçici depolama sürecine doğrudan katkısı sınırlı olabilir; zira sistem, esas olarak atıkların güvenli şekilde taşınması ve imha edilmesi üzerine yoğunlaşmalıdır.

Genel olarak, tıbbi atık yönetimi süreçlerinde en iyi alternatifin atık imha süreci (A₅) olarak belirlenmesi, güvenilirlik (K₉) kriterinin sürecin her aşamasına yön veren en temel faktör olmasından kaynaklanmaktadır. Atıkların tamamen bertaraf edilmesi, yalnızca tıbbi atık yönetim süreçlerinin başarısını değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği ve insan sağlığını koruma açısından da sürecin nihai hedefini temsil

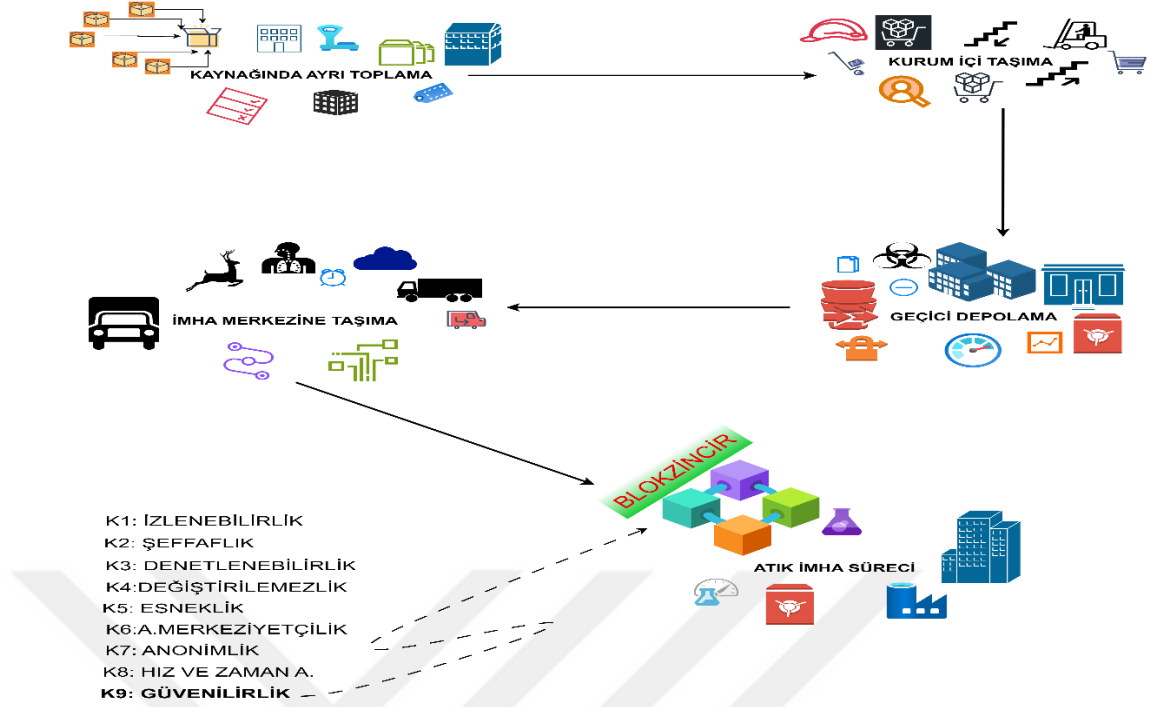
etmektedir. Bu doğrultuda, geçici depolama süreci, mümkün olduğunca kısa tutulmalı ve atıkların en kısa sürede imha edilmesini sağlayacak yönetim stratejileri benimsenmelidir.

Bu çalışmada, tıbbi atık yönetiminde blokzincir teknolojisinin uygulanabilirliği değerlendirilerek, süreçlerin güvenilir ve etkin bir şekilde yönetilmesini sağlamak amacıyla çeşitli kriterler ve alternatifler analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, güvenilirlik (K₉) en kritik kriter olarak belirlenmiş ve bu doğrultuda atık imha süreci (A₅) en önemli alternatif olarak öne çıkmıştır. Tıbbi atıkların güvenli ve kontrollü bir şekilde bertaraf edilmesi, sürecin nihai amacı olup, güvenilirlik sağlanmadığında hiçbir aşamanın tam anlamıyla başarılı olamayacağı ortaya konmuştur.

İzlenebilirlik, şeffaflık ve denetlenebilirlik gibi kriterler, atık yönetim süreçlerini destekleyen önemli unsurlar olsa da, eğer nihai imha süreci güvenilir bir şekilde yürütülmezse, sistemin bütünlüğü ve etkinliği sorgulanabilir hale gelmektedir. Blokzincir tabanlı bir yönetim modeli, atık imha sürecinin izlenebilir, denetlenebilir ve değiştirilemez olmasını sağlayarak güvenilirliği artırmakta ve yasa dışı bertaraf işlemlerinin önüne geçmektedir. Atıkların yanlış yönetimi, ciddi çevresel ve sağlık riskleri doğurabileceğinden, en temel hedef, bu atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesini sağlamaktır.

Güvenilirlik sağlanmadığında, tıbbi atıkların yasa dışı yollarla imha edilmesi, enfeksiyon riskinin artması ve sağlık sisteminde genel bir güven kaybı yaşanması gibi olumsuz sonuçlar doğurabilir. Bu bağlamda, güvenilirlik (K₉) kriteri ile atık imha süreci (A₅) alternatifinin doğrudan bağlantılı olması, güvenilir bir tıbbi atık yönetim sisteminin sürdürülebilirliğini destekleyen temel unsurlar arasında yerini almaktadır.

Sonuç olarak, tıbbi atık yönetiminin etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi, blokzincir teknolojisiyle entegre edilen güvenilir bir sistemin oluşturulması ve nihai imha sürecinin güvence altına alınması ile mümkün olacaktır. Bu çerçevede, blokzincir destekli tıbbi atık yönetim sistemleri, atıkların şeffaf, denetlenebilir ve sürdürülebilir bir şekilde bertaraf edilmesini sağlayarak, çevresel ve sağlık risklerini minimize etmeye yönelik etkili bir çözüm sunmaktadır.



Şekil 4.24. Blokzincir Temelli Tıbbi Atık Yönetim Süreci

Şekil 4.24, bu çalışmada önerilen değerlendirme modelinin genel mimarisini yansıtmaktadır. Şeklin üst bölümünde, tıbbi atığın oluşumundan nihai bertarafına kadar uzanan süreç aşamaları yer almakta olup, bu aşamalar çalışmada “alternatifler” olarak değerlendirilmiştir. Sol alt kısımda ise, blokzincir teknolojisinin tıbbi atık yönetimine potansiyel katkılarını temsil eden dokuz değerlendirme kriteri görselleştirilmiştir. Bu kriterler, literatür taramaları ve uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiş; modelin değerlendirme boyutunu oluşturmuştur. Şeklin merkezinde yer alan blokzincir temsili ise, bu kriterlerin süreçle nasıl etkileşime geçtiğini simgelemekte ve karar modelinin çekirdeğini oluşturmaktadır. Analiz sonuçlarına göre, blokzincir teknolojisinin en etkili biçimde uygulanabileceği süreç aşaması “atık imha süreci” olarak belirlenmiş; en önemli kriter ise “güvenilirlik” olmuştur. Dolayısıyla şekil, hem sürecin yapısal akışını hem de çalışmanın karar modeliyle ulaştığı temel bulguları bir bütün olarak sunmaktadır.

Kısıtlar ve Öneriler

Bu çalışmada, IF-AHP ve IF-TOPSIS yöntemleri kullanılarak tıbbi atık yönetiminde blokzincir teknolojisinin uygulanabilirliği ve katkısı değerlendirilmiş, ancak analiz sürecinde bazı kısıtlamalar ve sınırlılıklar ile karşılaşmıştır. İlk olarak, kriter ağırlıklandırma aşamasında 9 uzmanın görüşüne başvurulmuş olmasına rağmen, alternatiflerin değerlendirilmesi aşamasında uzman sayısının 6 ile sınırlı kalması, elde edilen sonuçların daha az sayıda karar vericiye dayandırılmasına neden olmuştur. Alternatiflerin değerlendirilmesi aşamasında bazı uzmanların yeterli bilgiye sahip olmaması, bu kişilerin değerlendirme sürecine dahil edilmemesine yol açmış ve sonuçların yalnızca belirli bir uzman grubunun görüşlerine dayandırılmasına neden olmuştur. Bu durum, analiz sonuçlarının genellenebilirliği açısından bir kısıt oluşturabileceği gibi, farklı uzman gruplarıyla gerçekleştirilecek çalışmalarda değişkenlik gösterebileceği ihtimalini de ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, IF-AHP ve IF-TOPSIS yöntemlerinin kullanımı, belirsizlikleri ve uzmanların tereddütlerini dikkate alarak daha güvenilir ve esnek bir analiz yapılmasını sağlamıştır. Ancak, bu yöntemler karmaşık hesaplamalar gerektirdiğinden, manuel hesaplamalar yerine yazılım destekli uygulamaların kullanılması önerilmektedir. Bu durum, hata riskini azaltacak ve hesaplama sürecinin daha verimli bir şekilde yönetilmesine katkı sağlayacaktır.

Çalışmada ele alınan kriterlerin belirli uzman görüşlerine dayalı olarak oluşturulmuş olması, kriter setinin genişletilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Farklı sektörlerden ve daha geniş bir uzman grubundan alınacak görüşlerle, kriterlerin daha kapsamlı bir şekilde belirlenmesi ve gelecekte yapılacak çalışmaların daha bütüncül bir perspektifle ele alınması faydalı olacaktır. Ayrıca, blokzincir teknolojisinin tıbbi atık yönetiminde uygulanabilirliğine ilişkin yapılan değerlendirmelerin, yalnızca teorik çerçevede kalmaması için önerilen modelin pilot uygulamalarla test edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Son olarak, blokzincir tabanlı bir tıbbi atık yönetim sisteminin gerçek dünyadaki uygulanabilirliğinin tam anlamıyla ortaya konulabilmesi için, teknik, ekonomik ve yasal boyutlarının daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda yapılacak gelecekteki çalışmalar, blokzincir teknolojisinin sürdürülebilir atık yönetimi

stratejileriyle nasıl entegre edilebileceğini ve farklı sağlık sistemleri üzerindeki etkilerini daha kapsamlı bir şekilde ele almalıdır.



KAYNAKÇA

- Abbasoğlu, S., Emiroğlu, C., İlhan, N., Koşar, L., Kesedar, S. ve Müezzinoğlu, A. (2006). “Sağlık Çalışanlarının Sağlığı Kime Emanet”. *Toplum ve Hekim*, 21(3), 173–179.
- Abdulla, F., Qdais, H. A. ve Rabi, A. (2008). “Site investigation on medical waste management practices in northern Jordan” [Kuzey Ürdün’de Tıbbi Atık Yönetimi Uygulamalarına Yönelik Saha Araştırması]. *Waste Management*, 28(2), 450–458.
- Abdullah, L. ve Najib, L. (2016). “Sustainable energy planning decision using the intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process: choosing energy technology in Malaysia” [Sezgisel Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Sürdürülebilir Enerji Planlama Kararı: Malezya’da Enerji Teknolojisi Seçimi]. *International Journal of Sustainable Energy*, 35(4), 360–377.
- Abdulmujeeb, A., Salaam, M., Bandaru, J., Sulyman, A. ve Kigozi, S. (2022). “Institutional factors associated medical waste management practices among selected private healthcare facilities in Kampala” [Kampala’daki Seçilmiş Özel Sağlık Kurumlarında Tıbbi Atık Yönetimi Uygulamalarıyla İlişkili Kurumsal Faktörler]. *Western Journal of Medical and Biomedical Sciences*, 3(1), 51–57.
- Abor, A. ve Bouwer, A. (2008). “Medical waste management practices in a Southern African hospital” [Güney Afrika’daki Bir Hastanede Tıbbi Atık Yönetimi Uygulamaları]. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 21(4), 356–364.
- Adu, R. O., Gyasi, S. F., Essumang, D. K. ve Otobil, K. B. (2020). “Medical waste sorting and management practices in five hospitals in Ghana” [Gana’daki Beş Hastanede Tıbbi Atık Ayırıştırma ve Yönetim Uygulamaları]. *Journal of Environmental and Public Health*, 2020.
- Agwuoke, M. U., ve Ekpete, B. O. (2013). “Adding value to municipal solid waste in Nigeria through mapping” [Nijerya’da Belediye Katı Atıklarına Haritalama Yoluyla Değer Katmak]. *Journal of Environmental Science and Technology*, 6(3), 144–151.
- Ahmad, R. W., Salah, K., Jayaraman, R., Yaqoob, I., Omar, M. ve Ellahham, S. (2021). “Blockchain-based forward supply chain and waste management for COVID-19

medical equipment and supplies” [COVID-19 Tıbbi Ekipman ve Malzemeleri İçin Blokszincir Tabanlı Tersine Tedarik Zinciri ve Atık Yönetimi]. *IEEE Access*, 9, 44905–44927.

Aini, F., Siregar, E. S. ve Zulvianti, N. (2019). “Solid medical waste management on the budget effectiveness at West Pasaman Regional General Hospital West Sumatera” [Batı Sumatra, Batı Pasaman Bölge Devlet Hastanesi’nde Bütçe Etkinliği Açısından Katı Tıbbi Atık Yönetimi]. *International Journal of Online & Biomedical Engineering*, 15(10).

Akcan, A. (2012). *Samsun’da Tıbbi Atık Yönetiminin İncelenmesi ve Maliyet Bileşenleri* (Doktora Tezi). Samsun: Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilemleri Enstitüsü.

Akgün, S. (2015). “Sağlık Sektöründe İş Kazaları”. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 2(2), 67–75.

Akkaya, S. (2015). *Samsun İli Tıbbi Atık Yönetimi* (Yüksek Lisans Tezi). Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akkurt, T. (2022). *Tıbbi Atık Yönetiminde SWOT Analizi ve Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri İle Çözüm Önerilerinin Geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir: Eskişehir Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akyıldız, H. ve Menteş, A. (2017). “An integrated risk assessment based on uncertainty analysis for cargo vessel safety” [Yük Gemisi Güvenliği İçin Belirsizlik Analizine Dayalı Entegre Bir Risk Değerlendirmesi]. *Safety Science*, 92, 34–43.

Al Naemi, H., Izuka, K., Edquibal, C., Al-Korbi, N., Al Kuwari, N. ve Al Homaid, M. (2021). “Quantitative assessment of medical waste management in Hamad Medical Corporation—Qatar” [Katar’da Hamad Tıp Kurumu’nda Tıbbi Atık Yönetiminin Nicel Değerlendirmesi]. *Occupational Diseases and Environmental Medicine*, 9(3), 112–126.

Alagöz, A. Z. ve Kocasoy, G. (2008). “Improvement and modification of the routing system for the health-care waste collection and transportation in İstanbul” [İstanbul’da Sağlık Kurumu Atıklarının Toplanması ve Taşınmasına Yönelik Rota Sisteminin Geliştirilmesi ve İyileştirilmesi]. *Waste Management*, 28(8), 1461–1471.

- Alemayehu, T., Worku, A. ve Assefa, N. (2018). “Knowledge and practice of health workers about standard precaution: Special emphasis on medical waste management in Ethiopia” [Sağlık Çalışanlarının Standart Önlemler Konusundaki Bilgi ve Uygulamaları: Etiyopya’da Tıbbi Atık Yönetimine Özel Vurgu]. *International Journal of Infection Control*, 14(2).
- Alhumoud, J. M., Al-Mashaan, N. ve Alhumoud, H. M. (2014). “Medical waste management in private hospitals in Kuwait” [Kuveyt’teki Özel Hastanelerde Tıbbi Atık Yönetimi]. *International Journal of Environmental Engineering*, 6(3), 261–272.
- Al-Khatib, I. A. ve Sato, C. (2009). “Solid health care waste management status at health care centers in the West Bank–Palestinian Territory” [Batı Şeria–Filistin Topraklarındaki Sağlık Kurumlarında Katı Sağlık Atığı Yönetiminin Durumu]. *Waste Management*, 29(8), 2398–2403.
- Al-Khatib, I. A., Eleyan, D. ve Garfield, J. (2016). “A system dynamics approach for hospital waste management in a city in a developing country: The case of Nablus, Palestine” [Gelişmekte Olan Bir Ülkedeki Bir Kentte Hastane Atık Yönetimi İçin Sistem Dinamiği Yaklaşımı: Nablus, Filistin Örneği]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(9), 503.
- Allessie, D., Sobolewski, M., Vaccari, L. ve Pignatelli, F. (2019). “Blockchain for digital government” [Dijital Devlet İçin Blokzincir]. *Publications Office of the European Union*, 8–10.
- Alomari, A. H., Aga, O., El Sahmarany, L., Hegazi, M. ve Almulla, L. (2021). “Public perception towards medical waste generated in the environment during the COVID-19 pandemic in Eastern Province, Saudi Arabia” [Suudi Arabistan’ın Doğu Eyaletinde COVID-19 Pandemisi Sırasında Ortaya Çıkan Tıbbi Atıklara Yönelik Kamu Algısı]. *Heliyon*, 7(11), e08363.
- Al-Omran, K., Khan, E., Ali, N. ve Bilal, M. (2021). “Estimation of COVID-19 generated medical waste in the Kingdom of Bahrain” [Bahreyn Krallığı’nda COVID-19 Kaynaklı Tıbbi Atık Miktarının Tahmini]. *Science of the Total Environment*, 801, 149642.

- Al-Sohpany, S. (2021). "The leading factors of medical waste management absence in Yemen" [Yemen’de Tıbbi Atık Yönetimi Eksikliğinin Başlıca Nedenleri]. *Al-Razi University Journal for Medical Sciences*, 5(2).
- Alwabr, G., Al-Mikhlaifi, A., Al-Hakimi, S. A. ve Dughish, M. A. (2016). "Determination of medical waste composition in hospitals of Sana’a city, Yemen" [Yemen’in Sana’a Şehrindeki Hastanelerde Tıbbi Atık Bileşiminin Belirlenmesi], 343–347.
- Andeobu, L., Wibowo, S., & Grandhi, S. (2022). "Medical waste from COVID-19 pandemic—a systematic review of management and environmental impacts in Australia" [COVID-19 Pandemisinden Kaynaklanan Tıbbi Atıklar: Avustralya’da Yönetim ve Çevresel Etkilere İlişkin Sistematik Bir Derleme]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1381.
- Ante, L. (2021). *Blockchain-based tokens as financing instruments: capital market access for SMEs?. In Fostering innovation and competitiveness with FinTech, RegTech, and SupTech*. IGI Global Scientific Publishing.
- Appleton, J. A. (2000). *Healthcare or Health Risks? Risks From Healthcare Waste to the Poor*. Loughborough: Loughborough University WELL Studies.
- Aranlı, Ş. (2019). *Van İlinde Tıbbi Atıkların Yönetimi ve Bertarafı* (Yüksek Lisans Tezi). Van: Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Atabaş, H. (2018). *Blokzinciri Teknolojisi*. İstanbul: Ceres Yayınları.
- Atlas, M., ve Bedirhanoğlu, Ş. B. (2018). "Bulanık Küme Yaklaşımlarının Sınıflandırılması". *In Proceedings of the 19th International Symposium on Econometrics, Operations Research and Statistics* 17–20 Ekim 2018 (pp. 600–614) [Bildiri]. Antalya, Türkiye.
- Atzori, M. (2015). *Blockchain Technology and Decentralized Governance: Is the State Still Necessary?* (Report No: 2709713). SSRN.
- Aukour, F. J. (2008). "Healthcare waste management in Jordan King Abdullah University hospital case study" [Ürdün Kral Abdullah Üniversitesi Hastanesi Vaka Çalışmasıyla Sağlık Atığı Yönetimi]. *J. Sci. Med. Eng*, 20(1), 61–77.

- Aung, T. S., Luan, S., & Xu, Q. (2019). “Application of multi-criteria-decision approach for the analysis of medical waste management systems in Myanmar” [Myanmar’da Tıbbi Atık Yönetim Sistemlerinin Analizinde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımının Uygulanması]. *Journal of Cleaner Production*, 222, 733–745.
- Ayan, Ş. (2019). *Tıbbi Atıkların Yönetimi: Şanlıurfa Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Şanlıurfa: Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Babae Tirkolaee, E., ve Aydın, N. S. (2021). “A sustainable medical waste collection and transportation model for pandemics” [Pandemiler için Sürdürülebilir Bir Tıbbi Atık Toplama ve Taşıma Modeli]. *Waste Management ve Research*, 39, 34–44.
- Bader, L., Bürger, J. C., Matzutt, R., & Wehrle, K. (2018, December). “Smart contract-based car insurance policies” [Akıllı Sözleşme Tabanlı Araç Sigortası Poliçeleri]. *In 2018 IEEE Globecom workshops (GC wkshps)* 1-7.
- Badr, N. G. (2019). “Blockchain or distributed ledger technology what is in it for the healthcare industry?” [Blockchain Veya Dağıtılmış Defter Teknolojisi Sağlık Sektörüne Ne Gibi Faydalar Sağlıyor?]. *KMIS* 277-284.
- Badzar, A. (2016). *Blockchain For Securing Sustainable Transport Contracts And Supply Chain Transparency*. (Master’s Study) Helsingborg, Sweden, Lund University.
- Bahçıvan, F. H. (2017). *Kayseri İli Tıbbi Atık Yönetimi* (Yüksek Lisans Tezi). Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bahga, A. ve Madiseti, V. K. (2016). “Blockchain platform for industrial internet of things” [Endüstriyel Nesnelerin İnterneti İçin Blokzincir Platformu]. *Journal of Software Engineering and Applications*, 9(10), 533–546.
- Bamakan, S. M. H., Malekinejad, P. ve Ziaieian, M. (2022). “Towards blockchain-based hospital waste management systems; applications and future trends” [Blokzincir Tabanlı Hastane Atık Yönetim Sistemlerine Doğru: Uygulamalar ve Gelecek Eğilimler]. *Journal of Cleaner Production*, 349, 131440.
- Bañuelas, R. ve Antony, J. (2004). “Modified analytic hierarchy process to incorporate uncertainty and managerial aspects” [Belirsizlik ve Yönetimsel Unsurları Dahil

- Etmek İçin Değiştirilmiş Analitik Hiyerarşi Süreci]. *International Journal of Production Research*, 42(18), 3851–3872.
- Baran, P. (1964). “On distributed communications networks” [Dağıtık İletişim Ağları Üzerine]. *IEEE Transactions on Communications Systems*, 12(1), 1–9.
- Baylan, A. (2009). *Tıbbi Atıkların Bertarafı Üzerine Çalışma Edirne Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ: Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bdour, A., Altrabsheh, B., Hadadin, N. ve Al-Shareif, M. (2007). “Assessment of medical wastes management practice: A case study of the northern part of Jordan” [Tıbbi Atık Yönetimi Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Ürdün’ün Kuzey Kesimi Üzerine Bir Vaka Çalışması]. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 27(6), 746–759.
- Becker, G. (2008). *Merkle Signature Schemes, Merkle Trees And Their Cryptanalysis* (Report No: 12). Bochum: Ruhr-University Bochum.
- Bedirhanoglu, Ş. B. ve Lezki, Ş. (2018). “KOBİ’lerin Banka Tercihini Etkileyen Kriterlerin AHP Yöntemi ile Belirlenmesi”. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(1), 191–208.
- Bekmez, M. (2022). *İş Sağlığı ve Güvenliğinde Tıbbi Atık Yönetimi ile Tıbbi Atığın Ortama Verdiği Zararlardan Kaynaklanan Risk Analizi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Esenyurt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Berryhill, J., Bourgerly, T., ve Hanson, A. (2018). *Blockchains Unchained: Blockchain Technology and Its Use in the Public Sector* (Report No: 28). Paris: OECD Publishing.
- Bhushan, B., Sinha, P., Sagayam, K. M. ve Andrew, J. (2021). “Untangling blockchain technology: A survey on state of the art, security threats, privacy services, applications and future research directions” [Blokzincir Teknolojisini Açıklamak: Güncel Durum, Güvenlik Tehditleri, Gizlilik Hizmetleri, Uygulamalar ve Gelecekteki Araştırma Yönelimleri Üzerine Bir Derleme]. *Computers & Electrical Engineering*, 90, 106897.
- Bilgili, M. Y. (2020). Katı Atık Yönetiminde Kullanılan Bazı Kavramlar ve Açıklamaları. *Avrasya Terim Dergisi*, 8(2), 88–97.

- Birpınar, M. E., Bilgili, M. S. ve Erdoğan, T. (2009). "Medical waste management in Turkey: A case study of Istanbul" [Türkiye’de Tıbbi Atık Yönetimi: İstanbul Örneği]. *Waste Management*, 29, 445–448.
- Bisson, C. L., McRae, G., ve Shaner, H. G. (1993). *An Ounce of Prevention: Waste Reduction Strategies For Health Care Facilities*. American Society For Healthcare Environmental Services, American Hospital Association.
- Blenkharn, J. I. (2006). "Standards of clinical waste management in UK hospitals" [Birleşik Krallık Hastanelerinde Klinik Atık Yönetimi Standartları]. *Journal of Hospital Infection*, 62(3), 300–303.
- Blinder, M. (2018, November 27). "Making cryptocurrency more environmentally sustainable" [Kripto Parayı Çevresel Açıdan Daha Sürdürülebilir Hale Getirmek]. *Harvard Business Review*.
- Boran, F., Genç, S., Kurt, M. ve Akay, D. (2009). "A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method" [TOPSIS Yöntemiyle Tedarikçi Seçimi İçin Çok Kriterli Sezgisel Bulanık Grup Karar Verme]. *Expert Systems with Applications*, 36, 11363–11368.
- Boroń, M., ve Kobusińska, A. (2021). "Alternative Authentication With Smart Contracts For Online Games". In *Proceedings of the 2021 IEEE 46th Conference On Local Computer Networks (LCN)* (pp. 415–418) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.
- Borowy, I. (2020). "Medical waste: the dark side of healthcare. Resíduo hospitalar: o lado sombrio da assistência médica" [Tıbbi Atık: Sağlık Hizmetlerinin Karanlık Yüzü. Hastane Atığı: Sağlık Hizmetlerinin Karanlık Tarafı]. *Supl Set*, (27)231–251.
- Brilliantova, V. ve Thurner, T. W. (2019). "Blockchain and the future of energy" [Blokzincir ve Enerjinin Geleceği]. *Technology in Society*, 57, 38–45.
- Brunner, C. R., ve Brown, C. H. (1988). "Hospital waste disposal by incineration: Waste streams, technology, and state requirements" [Hastane Atıklarının Yakma Yoluyla Bertarafı: Atık Türleri, Teknolojiler ve Eyalet Gereksinimleri]. *JAPCA (Journal of the Air Pollution Control Association)*, 38(10), 1297–1309.
- Bucătaru, C., Săvescu, D., Repanovici, A., Blaga, L., Coman, E. ve Cocuz, M. E. (2021). "The implications and effects of medical waste on development of sustainable

- society—A brief review of the literature” [Tıbbi Atıkların Sürdürülebilir Toplum Gelişimi Üzerindeki Etkileri ve Sonuçları: Literatüre Kısa Bir Bakış]. *Sustainability (Switzerland)*, 13(6), 3300.
- Bujak, J. W. (2015). “Heat recovery from thermal treatment of medical waste” [Tıbbi Atıkların Termal İşleminden Isı Geri Kazanımı]. *Energy*, 90, 1721–1732.
- Buterin, V. (2013). “A next-generation smart contract and decentralized application platform” [Yeni Nesil Akıllı Kontrat ve Merkeziyetsiz Uygulama Platformu]. *Ethereum White Paper*, 1–36.
- Büyüközkan, G., Göçer, F. ve Karabulut, Y. (2019). “A new group decision making approach with IF AHP and IF VIKOR for selecting hazardous waste carriers” [Tehlikeli Atık Taşıyıcılarının Seçimi İçin IF AHP ve IF VIKOR ile Yeni Bir Grup Karar Verme Yaklaşımı]. *Measurement*, 134, 66–82.
- Campbell, D. (1989). *Hospital Waste Management In Canada* (Report No: EPA 450 4 89 002). Research Triangle Park, NC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Cansaran, D. (2017). “Çalışanların Tıbbi Atık Bilinci Düzeyini Belirlemeye Yönelik Bir Çalışma: Merzifon Devlet Hastanesi Örneği”. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(3), 271–284.
- Cansaran, D., (2010). *Çevre-Sağlık İlişkisi Ekseninde Tıbbi Atık Yönetimi*. (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Capoor, M. R. ve Parida, A. (2021). “Current perspectives of biomedical waste management in context of COVID-19” [COVID-19 Bağlamında Biyomedikal Atık Yönetimine Yönelik Güncel Yaklaşımlar]. *Indian Journal of Medical Microbiology*, 39(2), 171–178.
- Casino, F., Kanakaris, V., Dasaklis, T. K., Moschuris, S. ve Rachaniotis, N. P. (2019). “Modeling food supply chain traceability based on blockchain technology” [Blokzincir Teknolojisine Dayalı Gıda Tedarik Zinciri İzlenebilirliğinin Modellemesi]. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2728–2733.
- Cerrahoğlu, M. N. ve Kılıçaslan, H. (2019). “Tıbbî Atıkların Sağlık Harcamaları Üzerindeki Etkisi”. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 5(4), 59–68.

- Chaer, A., Salah, K., Lima, C., Ray, P. P., ve Sheltami, T. (2019). "Blockchain For 5G: Opportunities And Challenges". In *Proceedings of The 2019 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)* (pp. 1–6) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.
- Chaerul, M., Tanaka, M., ve Shekdar, A. V. (2008). "A system dynamics approach for hospital waste management" [Hastane Atık Yönetimi İçin Sistem Dinamiği Yaklaşımı]. *Waste Management*, 28, 442–449.
- Chartier, Y., Emmanuel, J., Pieper, U., Prüss, A., Rushbrook, P., ve Stringer, R. (2014). *Safe Management Of Wastes From Health-Care Activities*. Geneva: World Health Organization.
- Chavan, S., Warke, P., Ghuge, S., ve Deolekar, R. V. (2019). "Music Streaming Application Using Blockchain". In *Proceedings of the 2019 6th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)* (pp. 1035–1040) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.
- Chen, D., Lu, W., Xing, W. ve Wang, N. (2019). "An untraceable data sharing scheme in wireless sensor networks" [Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Takip Edilemeyen Bir Veri Paylaşım Sistemi]. *Sensors*, (19), 114.
- Cheng, Y. W., Sung, F. C., Yang, Y., Lo, Y. H., Chung, Y. T. ve Li, K. C. (2009). "Medical waste production at hospitals and associated factors" [Hastanelerde Tıbbi Atık Üretimi ve İlişkili Faktörler]. *Waste Management*, 29(1), 440–444.
- Choi, T. (2020). "Supply chain financing using blockchain: impacts on supply chains selling fashionable products" [Blokzincir Kullanarak Tedarik Zinciri Finansmanı: Moda Ürünleri Satan Tedarik Zincirleri Üzerindeki Etkileri]. *Annals of Operations Research*, 1–23.
- Christensen, T. H. (2011). "Introduction to Waste Management". In *Solid Waste Technology ve Management* (pp. 3–16). Wiley.
- Christidis, K., ve Devetsikiotis, M. (2016). "Blockchains and smart contracts for the internet of things" [Nesnelerin İnterneti İçin Blokzincirler ve Akıllı Sözleşmeler]. *IEEE Access*, 4, 2292–2303.

- Cingöz, A., ve Tinni, S. (2020). Katı Atık Yönetimi ve Sorunları: Tıbbi Atıklar Üzerine Hastanelerde Yapılan Bir Uygulama. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 371–385.
- Ciplak, N., ve Barton, J. R. (2012). "A System Dynamics Approach For Healthcare Waste Management: A Case Study in Istanbul Metropolitan City, Turkey" [Sağlık atık Yönetimi İçin Sistem Dinamiği Yaklaşımı: İstanbul Büyükşehir Örneği]. *Waste Management ve Research*, 30(6), 576–586.
- Ciplak, N., ve Kaskun, S. (2015). "Healthcare Waste Management Practice in the West Black Sea Region, Turkey: A Comparative Analysis With the Developed and Developing Countries" [Türkiye'de Batı Karadeniz Bölgesi'nde Sağlık Atığı Yönetimi Uygulamaları: Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerle Karşılaştırmalı Analiz]. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 65(12), 1387–1394.
- Coker, A., Sangodoyin, A., Sridhar, M., Booth, C., Olomolaiye, P., ve Hammond, F. (2009). "Medical waste management in Ibadan, Nigeria: obstacles and prospects" [Ibadan, Nijerya'da Tıbbi Atık Yönetimi: Engeller Ve Beklentiler]. *Waste Management*, 29(2), 804–811.
- Croman, K., Decker, C., Eyal, I., Gencer, A. E., Juels, A., Kosba, A., ... ve Wattenhofer, R. (2016). "On Scaling Decentralized Blockchains". *In International Conference On Financial Cryptography And Data Security* (pp. 106–125) [Bildiri]. Springer: Berlin, Heidelberg.
- Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., ve Kalyanaraman, V. (2016). "Blockchain technology: Beyond bitcoin" [Blokzincir Teknolojisi: Bitcoin'in Ötesinde]. *Applied Innovation*, 2(6–10), 71.
- Çarıkçı, O. (2020). "Sağlık Kurumlarında Personelin Tıbbi Atık Yönetim Değerlendirmeleri ve Maliyetlere Etkisi". *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(1), 1–27.
- Çetinkaya, A. Y., Kuzu, S. L. ve Demir, A. (2020). "Medical waste management in a mid-populated Turkish city and development of medical waste prediction model" [Orta Nüfuslu Bir Türk Kentinde Tıbbi Atık Yönetimi ve Tıbbi Atık Tahmin

- Modelinin Geliştirilmesi]. *Environment, Development and Sustainability*, 22(7), 6233–6244.
- Çobanoğlu, N. A. ve Bezen, İ. (2005). “Tıbbi Atıkların Oluşturduğu Sorunların Çevre, Sağlık ve Etik Açısından İncelenmesi”, 271–288.
- Dai, J., & Vasarhelyi, M. A. (2017). “Toward blockchain-based accounting and assurance” [Blokzincir Tabanlı Muhasebe ve Denetim Sürecine Doğru]. *Journal of Information Systems*, 31(3), 5–21.
- Datta, P., Mohi, G. ve Chander, J. (2018). “Biomedical waste management in India: Critical appraisal” [Hindistan’da Biyomedikal Atık Yönetimi: Eleştirel Bir Değerlendirme]. *Journal of Laboratory Physicians*, 10(1), 6–14.
- De Filippi, P., Wray, C. ve Sileno, G. (2021). “Smart contracts” [Akıllı Sözleşmeler]. *Internet Policy Review*, 10(2).
- DenBos, A. ve Izadpanah, A. (2002). “Building capacity for comprehensive medical waste management in Asia” [Asya’da Kapsamlı Tıbbi Atık Yönetimi İçin Kapasite Oluşturma]. *EM the Urban Environment*, 18, 20.
- Di Foggia, G. ve Beccarello, M. (2020). “Drivers of municipal solid waste management cost based on cost models inherent to sorted and unsorted waste” [Ayrıştırılmış ve Ayrıştırılmamış Atıklara Dayalı Maliyet Modellerine Göre Belediye Katı Atık Yönetim Maliyetlerinin Belirleyicileri]. *Waste Management*, 114, 202–214.
- Diaz, L. F., Eggerth, L. L., Enkhtsetseg, S. H. ve diğerleri. (2008). “Characteristics of healthcare wastes” [Sağlık Kurumu Atıklarının Özellikleri]. *Waste Management*, 28(7), 1219–1226.
- Diaz, L. F., Savage, G. M. ve Eggerth, L. L. (2005). “Alternatives of treatment and disposal of healthcare wastes in developing countries” [Gelişmekte Olan Ülkelerde Sağlık Kurumu Atıklarının Arıtımı ve Bertarafı İçin Alternatifler]. *Waste Management*, 25(6), 626–637.
- Dimitropoulos, G. (2020). “The law of blockchain” [Blokzincir Hukuku]. *Washington Law Review*, 95, 1117.

- Ding, W., Yang, Y., Tian, Q., Wang, Y., Zhang, Y. ve Wu, Z. (2024). "Towards IoT-based medical waste management and tracking system in healthcare institutions" [Sağlık Kurumlarında IoT Tabanlı Tıbbi Atık Yönetimi ve Takip Sistemine Doğru]. In *Fourth International Conference on Biomedicine and Bioinformatics Engineering (ICBBE 2024)*. 13252, 561–566.
- Dobrovnik, M., Herold, D. M., Fürst, E. ve Kummer, S. (2018). "Blockchain for and in logistics: What to adopt and where to start" [Lojistikte ve Lojistik İçin Blokzincir: Ne Benimsenmeli, Nereden Başlanmalı?]. *Logistics*, 2(3), 18.
- Dogo, E. M., Salami, A. F., Nwulu, N. I., ve Aigbavboa, C. O. (2019). "Blockchain and internet of things-based technologies for intelligent water management system" [Akıllı Su Yönetim Sistemleri İçin Blokzincir ve Nesnelerin İnterneti Tabanlı Teknolojiler]. *Artificial Intelligence and Internet of Things*, 129–150.
- Dowling, M. (2022). "Is non-fungible token pricing driven by cryptocurrencies?" [Değiştirilemez Token Fiyatları Kripto Paralar Tarafından Mı Yönlendirilir?]. *Finance Research Letters*, 44, 102097.
- Dujak, D., ve Sajter, D. (2019). "Blockchain applications in supply chain" [Tedarik zincirinde blokzincir uygulamaları]. *SMART Supply Network*, 2019, 21–46.
- Durbilmez, S. E. (2014). *Blockchain teknolojisi ve Türkiye finans sektöründeki durumu*. 30–45.
- Durduran, Y., Kandemir, B., Yıldırım, E. N., Pakna, Ö., ve Demir, L. S. (2020). "Üniversite hastanesinde hasta bakıcı ve temizlik personellerine yönelik hastane enfeksiyonu, el hijyeni ve tıbbi atık eğitimlerinin değerlendirilmesi". *Ortadoğu Tıp Dergisi*, 12(1), 89–95.
- Ebrahimzadehsarvestani, E., Sarvestani, E. M., Safarzadeh, H., Enayati, M., ve Di Maria, F. (2025). "Implementing circular economy in healthcare waste: Technological innovations and process management" [Sağlık Atıklarında Döngüsel Ekonominin Uygulanması: Teknolojik Yenilikler Ve Süreç Yönetimi]. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 51(1), 14–24.
- Eckelman, M. J., ve Sherman, J. (2016). "Environmental impacts of the U.S. health economic assessment of medical waste treatment" [ABD Sağlık Sektöründe Tıbbi

- Atık Arıtımının Çevresel Etkilerinin Ekonomik Değerlendirmesi]. *Journal of Cleaner Production*, 2016.
- Efanov, D., ve Roschin, P. (2018). "The all-pervasiveness of the blockchain technology" [Blokzincir Teknolojisinin Her Alana Nüfuz Etmesi]. *Procedia Computer Science*, 123, 116–121.
- Efe, B., Boran, F., ve Kurt, M. (2015). "Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak ergonomik ürün konsept seçimi". *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 433–440.
- Ege, H. (2009). *Adana İli Tıbbi Atık Yönetimi Sorunlar ve Çözüm Önerileri* (Yüksek Lisans Tezi). Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- El Azzaoui, A., Singh, S. K., Pan, Y., ve Park, J. H. (2020). "Block5GIntell: Blockchain for AI-enabled 5G networks" [Block5GIntell: Yapay Zekâ Destekli 5g Ağları İçin Blokzincir]. *IEEE Access*, 8, 145918–145935.
- Elevli, S. Ş. (2018). *Tıbbi Atık Yönetiminde Sağlık Çalışanlarının Rolü: Bir Devlet Hastanesi Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Avrasya Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- El-Haggar, A. (2007). *Sustainable Industrial Design and Waste Management*. Oxford: Academic Press.
- Elisa, N., Yang, L., Chao, F., ve Cao, Y. (2023). "A framework of blockchain-based secure and privacy-preserving e-government system" [Blokzincir Tabanlı Güvenli ve Gizlilik Koruyucu E-Devlet Sistemi Çerçevesi]. *Wireless Networks*, 29(3), 1005–1015.
- El-Salam, A. M. (2010). "Hospital waste management in El-Beheria governorate, Egypt" [Mısır El-Beheria bölgesinde hastane atık yönetimi]. *Environmental Management*, 91, 618–629.
- Eren, E. ve Tuzkaya, U. R. (2019). "Occupational health and safety-oriented medical waste management: A case study of Istanbul" [İş Sağlığı ve Güvenliği Odaklı Tıbbi Atık Yönetimi: İstanbul Örneği]. *Waste Management & Research*, 37(9), 876–884.

- Ergin, M., Erdoğan, S. ve Erel, Ö. (2017). “Biyokimya ve Mikrobiyoloji Laboratuvar Personelinin Tıbbi Atık Yönetimi Konusundaki Farkındalığı”. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 74(2), 129–138.
- Ertaş, H. ve Güden, M. A. (2019). “Hastanelerde Tıbbi Atık Yönetimi”. *Sosyal Araştırmalar ve Yönetim Dergisi*, 1, 53–67.
- Esmailian, B., Wang, B., Lewis, K., Duarte, F., Ratti, C. ve Behdad, S. (2018). “The future of waste management in smart and sustainable cities: A review and concept paper” [Akıllı ve Sürdürülebilir Şehirlerde Atık Yönetiminin Geleceği: Bir Derleme ve Kavramsal Çalışma]. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 81, 177–195.
- Esmen, C. (2016). *Bursa İli Tıbbi Atık Yönetim Sisteminin Geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Estevam, G., Palma, L. M., Silva, L. R., Martina, J. E. ve Vigil, M. (2021). “Accurate and decentralized timestamping using smart contracts on the Ethereum blockchain” [Ethereum Blokzinciri Üzerinde Akıllı Sözleşmelerle Doğruluk Odaklı ve Merkeziyetsiz Zaman Damgalama]. *Information Processing & Management*, 58, 102471.
- Etim, M. A., Academe, S., Emenike, P. ve Omole, D. (2021). “Application of multi-criteria decision approach in the assessment of medical waste management systems in Nigeria” [Nijerya’da Tıbbi Atık Yönetim Sistemlerinin Değerlendirilmesinde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımının Uygulanması]. *Sustainability*, 13(19), 10914.
- Fadaei, A. (2023). “Comparison of medical waste management methods in different countries: A systematic Review” [Farklı Ülkelerdeki Tıbbi Atık Yönetim Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Sistematik Bir İnceleme]. *Reviews on Environmental Health*, 38(2), 339-348.
- Fairfield, J. A. (2022). “Tokenized: The law of non-fungible tokens and unique digital property” [Tokenleştirme: Değiştirilemez Token’ların ve Benzersiz Dijital Mülkiyetin Hukuku]. *Indiana Law Journal*, 97, 1261.

- Farooq, K., Syed, H. J., Alqahtani, S. O., Nagmeldin, W., Ibrahim, A. O. ve Gani, A. (2022). "Blockchain federated learning for in-home health monitoring" [Evde Sağlık Takibi İçin Blokzincir Federatif Öğrenmesi]. *Electronics*, 12(1), 136.
- FC, O., JS, O. ve TG, T. (2018). "A review of medical waste management in South Africa" [Güney Afrika'da Tıbbi Atık Yönetimine Dair Bir Derleme]. *Open Environmental Sciences*, 10(1).
- Fekih, R., ve Lahami, M. (2020). "Application Of Blockchain Technology in Healthcare: A Comprehensive Study". *In the Impact of Digital Technologies on Public Health In Developed And Developing Countries: 18th International Conference, ICOST 2020, Hammamet, Tunisia, June 24–26, 2020, Proceedings* (pp. 268–276) [Bildiri]. Springer International Publishing.
- Ferdous, M. S., Chowdhury, M. J. M. ve Hoque, M. A. (2021). "A survey of consensus algorithms in public blockchain systems for crypto-currencies" [Kripto Paralar İçin Kamusal Blokzincir Sistemlerinde Konsensüs Algoritmalarına Dair Bir Derleme]. *Journal of Network and Computer Applications*, 182, 103035.
- Ferdowsi, A., Ferdosi, M. ve Mehrani, M. J. (2013). "Incineration or autoclave? A comparative study in Isfahan hospitals waste management system (2010)" [Yakma mı Otoklav mı? İsfahan Hastaneleri Atık Yönetim Sisteminde Karşılaştırmalı Bir Çalışma (2010)]. *Materia Socio Medica*, 25, 48–51.
- Ferreira, V., ve Teixeira, M. R. (2009). "Assessing the medical waste management practices and associated risk perceptions in Algarve hospitals, Portugal" [Portekiz Algarve Hastanelerinde Tıbbi Atık Yönetim Uygulamalarının ve İlgili Risk Algılarının Değerlendirilmesi]. *Waste Management*, 30(12), 2657–2663.
- Ferri, L., Spanò, R., Ginesti, G., & Theodosopoulos, G. (2021). "Ascertaining auditors' intentions to use blockchain technology: Evidence from the Big 4 accountancy firms in Italy" [Denetçilerin blockchain teknolojisini kullanma niyetlerinin belirlenmesi: İtalya'daki 4 büyük muhasebe firmasından elde edilen kanıtlar]. *Meditari Accountancy Research*, 29(5), 1063-1087.
- Filho, W., Lisovska, T., Fedoruk, M., & Taser, D. (2023). "Medical waste management and the un sustainable development goals in ukraine: An assessment of solutions

to support post-war recovery efforts” [Tıbbi Atık Yönetimi ve Ukrayna'daki Bm Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri: Savaş Sonrası Toparlanma Çabalarını Destekleyecek Çözümlerin Değerlendirilmesi]. *Environmental Challenges*, 13, 100763.

Gaggioli, A., Eskandari, S., Cipresso, P. ve Lozza, E. (2019). “The middleman is dead, long live the middleman: the ‘trust factor’ and the psycho-social implications of blockchain” [Aracı Öldü, Yaşasın Aracı: Blokzincirin Güven Unsuru ve Psiko-Sosyal Etkileri]. *Frontiers in Blockchain*, 2, 20.

Ganne, E. (2018). *Can Blockchain Revolutionize International Trade?* Geneva: World Trade Organization.

Gatteschi, V., Lamberti, F., Demartini, C., Pranteda, C. ve Santamaría, V. (2018). “Blockchain and smart contracts for insurance: Is the technology mature enough?” [Sigorta İçin Blokzincir ve Akıllı Sözleşmeler: Teknoloji Yeterince Olgun Mu?]. *Future Internet*, 10(2), 20.

Ghasemi, M. K., & Yusuff, R. B. M. (2016). “Advantages and disadvantages of healthcare waste treatment and disposal alternatives: Malaysian scenario” [Sağlık Atığı Arıtım ve Bertaraf Alternatiflerinin Avantajları ve Dezavantajları: Malezya Senaryosu]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(1).

Ghose, A. (2018). “What blockchain could mean for marketing” [Blockchain Pazarlama İçin Ne Anlama Gelebilir?]. *Harvard Business Review*, 5, 2-5.

Giacchetta, G. ve Barbara, M. (2013). “Medical waste management: A case study in a small size hospital of Central Italy” [Tıbbi Atık Yönetimi: Orta İtalya’da Küçük Ölçekli Bir Hastane Örneği]. *Strategic Outsourcing: An International Journal*, 6(1), 65–84.

Gil-Alana, L. A., Abakah, E. J. A. ve Rojo, M. F. R. (2020). “Cryptocurrencies and stock market indices: Are they related?” [Kripto Paralar ve Hisse Senedi Endeksleri: İlişkili mi?]. *Research in International Business and Finance*, 51, 101063.

Giusti, L. (2009). “A review of waste management practices and their impact on human health” [Atık Yönetimi Uygulamalarının İnsan Sağlığı Üzerine Etkilerine Dair Bir Derleme]. *Waste Management*, 29, 2227–2239.

- Golosova, J., ve Romanovs, A. (2018). "The Advantages And Disadvantages Of The Blockchain Technology". In *Proceedings Of The 2018 IEEE 6th Workshop On Advances In Information, Electronic And Electrical Engineering (AIEEE)* (pp. 1–6) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.
- Goswami, M., Goswami, P. J., Nautiyal, S. ve Prakash, S. (2021). "Challenges and actions to the environmental management of bio-medical waste during COVID-19 pandemic in India" [Hindistan'da COVID-19 Pandemisi Sırasında Biyomedikal Atıkların Çevresel Yönetimine İlişkin Zorluklar ve Önlemler]. *Heliyon*, 7(3), e06313.
- Govindan, K., Nosrati-Abarghoee, S., Nasiri, M. M. ve Jolai, F. (2022). "Green reverse logistics network design for medical waste management: A circular economy transition through case approach" [Tıbbi Atık Yönetimi İçin Yeşil Tersine Lojistik Ağ Tasarımı: Vaka Yaklaşımıyla Döngüsel Ekonomi Geçişi]. *Journal of Environmental Management*, 322.
- Graikos, A., Voudrias, E., Papazachariou, A., Iosifidis, N. ve Kalpakidou, M. (2010). "Composition and production rate of medical waste from a small producer in Greece" [Yunanistan'daki Küçük Ölçekli Bir Üreticiden Kaynaklanan Tıbbi Atıkların Bileşimi ve Üretim Oranı]. *Waste Management*, 30(8–9), 1683–1689.
- Gunawardana, K. D. (2018). "An analysis of medical waste management practices in the health care sector in Colombo" [Colombo Sağlık Sektöründe Tıbbi Atık Yönetimi Uygulamalarının Analizi]. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 29(5), 813–825.
- Guo, Y. ve Liang, C. (2016). "Blockchain application and outlook in the banking industry" [Bankacılık Sektöründe Blokzincir Uygulamaları ve Geleceği]. *Financial Innovation*, 2(1), 24.
- Günaydın, M. (2001). "Hastane Atıklarının Zararsız Hale Getirilmesi ve Ülkemizdeki Durum". *Aktüel Tıp Dergisi*, 6, 64–79.
- Güven, V., & Şahinöz, E. (2018). *Blokzincir Kripto Paralar Bitcoin: Satoshi Dünyayı Değiştiriyor*. İstanbul: Kronik Kitap.

- Güzel, D. ve Yazıcılar, F. G. (2016). “Tedarik Zinciri Inovasyonunun Performansa Etkisi: Bir Uygulama”. *Journal of International Social Research*, 9(47).
- Hackius, N., ve Petersen, M. (2017). "Blockchain in logistics and supply chain: Trick or treat?" [Lojistik Ve Tedarik Zincirinde Blokzincir: Gerçek Mi, Aldatmaca Mı?]. In *Digitalization in Supply Chain Management and Logistics: Smart and Digital Solutions for an Industry 4.0 Environment*, Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), 23, 3–18.
- Haddad, Z., Fouda, M. M., Mahmoud, M., & Abdallah, M. (2020, February). “Blockchain-based authentication for 5G networks” [5G Ağları İçin Blok Zinciri Tabanlı Kimlik Doğrulama]. In *2020 IEEE International Conference on Informatics, IoT, and Enabling Technologies (ICIoT)* 189-194.
- Halgamuge, M. N. ve Guruge, D. (2022). “Fair rewarding mechanism in music industry using smart contracts on public-permissionless blockchain” [Kamusal-izinsiz Blokzincir Üzerinde Akıllı Sözleşmelerle Müzik Endüstrisinde Adil Ödüllendirme Mekanizması]. *Multimedia Tools and Applications*, 81(2), 1523–1544.
- Halpin, H., ve Piekarska, M. (2017). "Introduction to Security and Privacy on the Blockchain". In *2017 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroSvePW)* (pp. 1–3) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.
- Han, Y., Tan, Y., ve Yang, H. (2020). "Blockchain-based framework for data sharing with privacy preservation in smart cities" [Akıllı Şehirlerde Gizlilik Korunmalı Veri Paylaşımı İçin Blokzincir Tabanlı Çerçeve]. *Journal of Systems Architecture*, 105, 101703.
- Hansen, D., Mikloweit, U., Ross, B. ve Popp, W. (2014). “Healthcare waste management in Germany” [Almanya’da Sağlık Kurumu Atık Yönetimi]. *International Journal of Infection Control*, 10(1).
- Hantoko, D., Li, X., Pariatamby, A., Yoshikawa, A., Horttanainen, M. ve Yan, M. (2021). “Challenges and practices on waste management and disposal during COVID-19 pandemic” [COVID-19 Pandemisi Sırasında Atık Yönetimi ve Bertarafına İlişkin Zorluklar ve Uygulamalar]. *Journal of Environmental Management*, 286, 112140.

- Hasan, H., AlHadhrami, E., AlDhaheeri, A., Salah, K. ve Jayaraman, R. (2019). "Smart contract-based approach for efficient shipment management" [Verimli Gönderi Yönetimi İçin Akıllı Sözleşme Tabanlı Yaklaşım]. *Computers & Industrial Engineering*, 136, 149–159.
- Hasan, N., ve Salah, K. (2021). "Blockchain-based solution for COVID-19 vaccine distribution in a smart city environment" [Akıllı Şehir Ortamında Covid-19 Aşı Dağıtımı İçin Blokzincir Tabanlı Çözüm]. *Computers, Materials ve Continua*, 66(3), 2819–2835.
- Hasçuhadar, M., Kaya, Z., Şerbetçioğlu, S., Arslan, T. ve Altinkaya, S. (2007). "Ankara Atatürk Eğitim Araştırma Hastanesi Personelinin Tıbbi Atık Konusunda Bilgi Düzeyi". *Turkish Medical Journal*, 1, 138–144.
- Hassan, M. F., ve Shareefdeen, Z. (2021). "Recent developments in sustainable management of healthcare waste and treatment technologies" [Sağlık Atığı ve Bertaraf Teknolojilerinin Sürdürülebilir Yönetiminde Son Gelişmeler]. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 9(4), 1080415.
- Hastig, G. M. ve Sodhi, M. S. (2020). "Blockchain for supply chain traceability: Business requirements and critical success factors" [Tedarik Zinciri İzlenebilirliği İçin Blokzincir: İş Gereksinimleri ve Başarı İçin Kritik Faktörler]. *Production and Operations Management*, 29(4), 935–954.
- Hawashin, D., Mahboobeh, D. A. J., Salah, K., Jayaraman, R., Yaqoob, I., Debe, M. ve Ellahham, S. (2021). "Blockchain-based management of blood donation" [Kan Bağışının Blokzincir Tabanlı Yönetimi]. *IEEE Access*, 9, 163016–163032.
- Hawashin, D., Salah, K., Jayaraman, R., Yaqoob, I. ve Musamih, A. (2022). "A blockchain-based solution for mitigating overproduction and underconsumption of medical supplies" [Tıbbi Malzemelerde Aşırı Üretim ve Yetersiz Tüketimi Azaltmak İçin Blokzincir Tabanlı Bir Çözüm]. *IEEE Access*, 10, 71669–71682.
- Haylamicheal, I. D., Dalvie, M. A., Yirsaw, B. D. ve Zegeye, H. A. (2011). "Assessing the management of healthcare waste in Hawassa city, Ethiopia" [Etiyopya'nın Hawassa Şehrinde Sağlık Kurumu Atık Yönetiminin Değerlendirilmesi]. *The*

Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, 9(8), 854–862.

Henry, J. G., ve Heinke, G. W. (1996). *Environmental Science And Engineering* (2nd ed.). New Jersey: Prentice Hall.

Ho, W. S., Ma, C. W., ve Lee, C. H. (2008). "Hospital waste audit: A case study in Hong Kong" [Hastane Atık Denetimi: Hong Kong Örneği]. *Waste Management*, 28(3), 521–530.

Hojjati, M., Shafieinejad, A. ve Yanikomeroglu, H. (2020). "A blockchain-based authentication and key agreement (AKA) protocol for 5G networks" [5G Ağları İçin Blokzincir Tabanlı Kimlik Doğrulama ve Anahtar Uzlaşım Protokolü]. *IEEE Access*, 8, 216461–216476.

Hong, J., Zhan, S., Yu, Z., Hong, J. ve Qi, C. (2018). "Life-cycle environmental and economic assessment of medical waste treatment" [Tıbbi Atık Arıtımının Yaşam Döngüsü Temelli Çevresel ve Ekonomik Değerlendirmesi]. *Journal of Cleaner Production*, 174, 65–73.

Hossain, M. R., Islam, M. A. ve Hasan, M. (2021). "Assessment of medical waste management practices: A case study in Gopalganj Sadar, Bangladesh" [Bangladeş Gopalganj Sadar’da Tıbbi Atık Yönetimi Uygulamalarının Değerlendirilmesi]. *European Journal of Medical and Health Sciences*, 3(3), 62–71.

Howart, G. (2002). "Healthcare Waste Prevention and Minimization". In G. Kocasoy ve G. A. Akgöze (Eds.), *Gelişmekte Olan Ülkeler İçin Tıbbi Atık Yönetimi* (pp. –). İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi.

Huang, Y., ve Liu, M. (2020). "Application of blockchain in medical waste management in China" [Çin’de Tıbbi Atık Yönetiminde Blokzincir Uygulaması]. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 555, 012068.

Huckle, S., Bhattacharya, R., White, M. ve Beloff, N. (2016). "Internet of things, blockchain and shared economy applications" [Nesnelerin İnterneti, Blokzincir ve Paylaşımlı Ekonomi Uygulamaları]. *Procedia Computer Science*, 98, 461–466.

- Huh, S., Cho, S., ve Kim, S. (2017). "Managing IoT Devices Using Blockchain Platform". *In 2017 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)* (pp. 464–467) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.
- Hussain, F., ve Hussain, R. (2020). "Blockchain-based medical records secure sharing and management system" [Blokzincir tabanlı tıbbi kayıtların güvenli paylaşımı ve yönetim sistemi]. *Computers in Biology and Medicine*, 122, 103842.
- Iansiti, M. ve Lakhani, K. R. (2017). "The truth about blockchain" [Blokzincir Hakkındaki Gerçek]. *Harvard Business Review*, 95(1), 118–127.
- Ibukunoluwa, F. A., ve Kehinde, A. (2021). "Healthcare waste management practices and challenges in Nigeria" [Nijerya’da Sağlık Atık Yönetimi Uygulamaları ve Zorlukları]. *Journal of Environmental and Public Health*, 1–9.
- Inaba, T. ve Iwao, T. (2000). "Treatment of waste by DC arc discharge plasmas" [Doğru Akım Ark Deşarj Plazmalarıyla Atıkların Arıtımı]. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 7(5), 684–692.
- Insa, E., Zamorano, M. ve López, R. (2010). "Critical review of medical waste legislation in Spain" [İspanya’da Tıbbi Atık Mevzuatına Eleştirel Bir Bakış]. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1048–1059.
- Islam, M. T., Rahman, M. S., ve Alam, M. M. (2019). "A blockchain-based framework for smart medical waste management system" [Akıllı Tıbbi Atık Yönetim Sistemi İçin Blokzincir Tabanlı Çerçeve]. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(6), 552–558.
- Islam, M. M., Zaman, S., Ferdous, J., & Sarker, M. H. (2025). "Policy gaps, actor dynamics, and implementation challenges in sustainable medical waste management in Bangladesh"[Bangladeş’te Sürdürülebilir Tıbbi Atık Yönetiminde Politika Boşlukları, Aktör Dinamikleri ve Uygulama Zorlukları]. *Journal of Environmental Management*, 389, 126203.
- Jain, G., Singh, H., Chaturvedi, K. R. ve Rakesh, S. (2020). "Blockchain in logistics industry: In fizz customer trust or not" [Lojistik Sektöründe Blokzincir: Müşteri Güvenini Artırıyor mu?]. *Journal of Enterprise Information Management*, 33(3), 541–558.

- Jalali, M. S., ve Kaiser, J. P. (2018). "Cybersecurity in hospitals: A systematic, organizational perspective" [Hastanelerde Siber Güvenlik: Sistematik ve Örgütsel Bir Bakış Açısı]. *Journal of Medical Internet Research*, 20(5), e10059.
- Jang, Y. C., Lee, C., Yoon, O. ve Kim, H. (2006). "Medical waste management in Korea" [Güney Kore'de Tıbbi Atık Yönetimi]. *Journal of Environmental Management*, 80, 107–115.
- Javed, I. T., Alharbi, F., Margaria, T., Crespi, N., & Qureshi, K. N. (2021). "PETchain: A blockchain-based privacy enhancing technology" [PETchain: Blokzincir Tabanlı Gizlilik Artırıcı Bir Teknoloji]. *IEEE Access*, 9, 41129–41143.
- Jayapriya, J., ve Muthukumaravel, K. (2022). "Role of blockchain in managing biomedical waste during pandemic" [Pandemi Sürecinde Biyomedikal Atıkların Yönetiminde Blokzincirin Rolü]. *Materials Today: Proceedings*, 51, 2369–2373.
- Jee, Y. K., Lee, D. W., ve Jung, K. H. (2021). "Medical waste management system using IoT and blockchain" [Nesnelerin İnterneti ve Blokzincir Kullanılarak Tıbbi Atık Yönetim Sistemi]. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 10(2), 23.
- Kaban, M., Soeprbowati, T. R., Suhartono, P. A. P., Kristanti, A. W. ve Sebong, P. H. (2025). "Informing compliance factors regarding hospitals waste management procedures in Indonesia: A scoping review" [Endonezya'da Hastane Atık Yönetim Süreçlerine Uyum Etkenlerini Belirlemeye Yönelik Derleme]. *International Journal of Public Health*, 14(1), 219–226.
- Kaladharan, S., Manayath, D. ve Patri, R. (2024). "Barriers to blockchain-enabled drug recycling: A TISM-MICMAC approach" [Blokzincir Destekli İlaç Geri Dönüşümüne Yönelik Engeller: TISM-MICMAC Yaklaşımı]. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 41, 101737.
- Kanakam, P., Raghu, V. E. ve Shaik, M. H. (2019). "Intramural analysis of blockchain" [Blokzincir Üzerine İçsel Bir Analiz]. *International Journal of Knowledge Based Computer Systems*, 7(1).
- Kane, G. M., Bakker, C. A. ve Balkenende, A. R. (2018). "Towards design strategies for circular medical products" [Döngüsel Tıbbi Ürünler İçin Tasarım Stratejilerine Doğru]. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 38–47.

- Kaptanoğlu, S., Kaplan, K., Aksakal, K., Kaplan, H., Atasoy, N., Kaptanoğlu, M., ve Aranlı, Ş. (2014). Van İli Deprem Öncesi ve Sonrası Tıbbi Atıklar Kontrol Yönetimi. *Akademik Platform*, 3(3), 25–35.
- Karaarslan, E., & Akbaş, M. F. (2017). “Blokzinciri Tabanlı Siber Güvenlik Sistemleri”. *Uluslararası Bilgi Güvenliği Mühendisliği Dergisi*, 3(2), 16–21.
- Kargar, S., Paydar, M. M., & Safaei, A. S. (2020). “A reverse supply chain for medical waste: A case study in Babol healthcare sector” [Tıbbi Atıklar İçin Tersine Tedarik Zinciri: Babol Sağlık Sektöründen Bir Vaka Çalışması]. *Waste Management*, 113, 197–209.
- Kassou, M., Bourekkadi, S., Khouli, S., Slimani, K., Chikri, H., ve Kerkeb, M. L. (2021). "Blockchain-Based Medical And Water Waste Management Conception". In *E3S Web Of Conferences* (234) (p. 070) [Bildiri]. EDP Sciences.
- Kaur, M., Khan, M. Z., Gupta, S., Noorwali, A., Chakraborty, C., ve Pani, S. K. (2021). “MBCP: Performance analysis of large scale mainstream blockchain consensus protocols” [MBCP: Büyük Ölçekli Blokzincir Konsensüs Protokollerinin Performans Analizi]. *IEEE Access*, 9, 80931–80944.
- Kaygusuz, T., Yakar, B., Ataş, O., & Pirinççi, E. (2020). Diş hekimliği fakültesi öğrencilerinin tıbbi atıklar hakkındaki bilgi ve tutumlarının araştırılması. *Firat Tıp Dergisi*, 25(3).
- Kenny, C. ve Priyadarshini, A. (2021). “Review of current healthcare waste management methods and their effect on global health” [Mevcut Sağlık Atığı Yönetim Yöntemlerinin Küresel Sağlık Üzerindeki Etkilerine Dair Bir Derleme]. *Healthcare (Switzerland)*, 9(3).
- Kırbaş, İ. (2018). “Blokzinciri Teknolojisi ve Yakın Gelecekteki Uygulama Alanları”. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 75–82.
- Kishigami, J., Fujimura, S., Watanabe, H., Nakadaira, A., ve Akutsu, A. (2015). "The Blockchain-Based Digital Content Distribution System". In *2015 IEEE 5th International Conference on Big Data And Cloud Computing* (pp. 187–190) [Bildiri]. IEEE: IEEE.Publishing.

- Klangsin, P. ve Harding, A. K. (1998). "Medical waste treatment and disposal methods used by hospitals in Oregon, Washington, and Idaho" [Oregon, Washington ve Idaho'daki Hastanelerde Kullanılan Tıbbi Atık Arıtım ve Bertaraf Yöntemleri]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 48(6), 516–526.
- Klinghoffer, N. B., ve Castaldi, M. J. (2013). "Gasification and Pyrolysis of Municipal Solid Waste (MSW)". In *Waste to Energy Conversion Technology* (pp. 146–172). Woodhead Publishing.
- Koçak, A. (2003). "Yazılım Seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi Yaklaşımı ve Bir Uygulama". *Ege Academic Review*, 3(1), 67–77.
- Koçer, N. N. ve Gözegir, M. (2018). "Elâzığ İli Tıbbi Atık Yönetim Sisteminin Değerlendirilmesi ve Mali Sürdürülebilirlik". *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 1–10.
- Koh, L., Dolgui, A. ve Sarkis, J. (2020). "Blockchain in transport and logistics – Paradigms and transitions" [Ulaşım ve Lojistikte Blokzincir – Paradigmalar ve Geçişler]. *International Journal of Production Research*, 58(7), 2054–2062.
- Kölvart, M. (2016). "Smart Contracts". In T. Kerikmäe ve A. Rull (Eds.), *The Future of Law and ETechnologies* (pp. 133–147). Springer.
- Komilis, D., Fouki, A. ve Papadopoulos, D. (2012). "Hazardous medical waste generation rates of different categories of healthcare facilities" [Farklı Sağlık Kurumu Türlerinde Tehlikeli Tıbbi Atık Oluşum Oranları]. *Waste Management*, 32(7), 1434–1441.
- Konya, P., Uzakgider, M., Yavuz, H., Yağın, T., Aydın, Z. ve Özkan, İ. Y. (2023). "Sağlık Kurumunda Çalışanların Atık Yönetimi Konusunda Bilgi Düzeyi: Bir Üniversite Hastanesi Örneği". *Kocatepe Tıp Dergisi*, 24(4), 407–411.
- Kosba, A., Miller, A., Shi, E., Wen, Z., ve Papamanthou, C. (2016). "Hawk: The Blockchain Model of Cryptography and Privacy-Preserving Smart Contracts". In *2016 IEEE Symposium on Security And Privacy (SP)* (pp. 839–858) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.

- Köseoğlu, M., Toptan, H. ve Altındış, S. (2019). Diş Hekimlerinin Tıbbi Atık Yönetimi Konusundaki Bilgi, Tutum ve Davranışlarının Araştırılması. *Sakarya Tıp Dergisi*, 9(2), 245–252.
- Kshetri, N. (2017). “Can blockchain strengthen the internet of things?” [Blokzincir Nesnelerin İnternetini Güçlendirebilir mi?]. *IT Professional*, 19(4), 68–72.
- Kshetri, N. (2019). “Blockchain and the economics of food safety” [Blokzincir ve Gıda Güvenliği Ekonomisi]. *IT Professional*, 21(3), 63–66.
- Kumar, G. V. S., Reddy, C. R., ve Beena, B. M. (2024). "Revolutionizing Healthcare Waste Management: Leveraging Blockchain for Enhanced Efficiency and Transparency". In *2024 15th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)* (pp. 1–5) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.
- Kumar, M., & Yadav, S. P. (2012). “A novel approach for analyzing fuzzy system reliability using different types of intuitionistic fuzzy failure rates of components” [Bileşenlerin Farklı Türdeki Sezgisel Bulanık Arıza Oranlarını Kullanarak Bulanık Sistem Güvenilirliğinin Analizi İçin Yeni Bir Yaklaşım]. *ISA Transactions*, 51(2), 288–297.
- Kumar, R., Shaikh, B. T., Somrongthong, R. ve Chapman, R. S. (2015). “Practices and challenges of infectious waste management: A qualitative descriptive study from tertiary care hospitals in Pakistan” [Enfekte Atık Yönetimi Uygulamaları ve Zorlukları: Pakistan’da Üçüncü Basamak Hastanelerden Nitel Bir Çalışma]. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 31(4), 795–798.
- Kurucu, Z. N. (2011). *Tıbbi Atık Lojistiği ve İstanbul İlinde İncelemesi*. (Doktora Tezi) İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Le, H. T., Quoc, K. L., Nguyen, T. A., Dang, K. T., Vo, H. K., Luong, H. H. vd. (2022). “Medical-waste chain: A medical waste collection, classification and treatment management by blockchain technology” [Tıbbi Atık Zinciri: Blokzincir Teknolojisi ile Tıbbi Atıkların Toplanması, Sınıflandırılması ve Bertarafı]. *Computers*, 11(7), 113.

- Lee, B. K., Ellenbecker, M. J. ve Ersaso, R. M. (2004). “Alternatives for treatment and disposal cost reduction of regulated medical wastes” [Düzenlenmiş Tıbbi Atıkların Bertaraf ve Arıtım Maliyetlerinin Azaltılmasına Yönelik Alternatifler]. *Waste Management*, 24, 143–151.
- Letho, Z., Yangdon, T., Lhamo, C., Limbu, C. B., Yoezer, S., Jamtsho, T., Chhetri, P. ve Tshering, D. (2021). “Awareness and practice of medical waste management among healthcare providers in National Referral Hospital” [Ulusal Sevk Hastanesi Sağlık Çalışanları Arasında Tıbbi Atık Yönetimi Bilinci ve Uygulaması]. *PLOS ONE*, 16(1), 1–10.
- Lévy, W. S., Stumpf-Wollersheim, J. ve Welp, I. M. (2019). “Disrupting education through blockchain-based education technology?” [Blokzincir Tabanlı Eğitim Teknolojisi ile Eğitimi Dönüştürmek?]. *Beiträge zur Hochschulforschung*, 3, 6–27.
- Li, X., Jiang, P., Chen, T., Luo, X. ve Wen, Q. (2020). “A survey on the security of blockchain systems” [Blokzincir Sistemlerinin Güvenliği Üzerine Bir Derleme]. *Future Generation Computer Systems*, 107, 841–853.
- Liberti, L., Tursi, A., Costantino, N., Ferrara, L. ve Nuzzo, G. (1996). “Optimization of infectious hospital waste management in Italy: Part II. Waste characterization by origin” [İtalya’da Enfekte Hastane Atıklarının Yönetiminde Optimizasyon: Bölüm II. Kaynağa Göre Atık Karakterizasyonu]. *Waste Management and Research*, 14(5), 417–431.
- Lin, I. C. ve Liao, T. C. (2017). “A survey of blockchain security issues and challenges” [Blokzincir Güvenlik Sorunları ve Zorluklarına Dair Bir Derleme]. *International Journal of Network Security*, 19, 653–659.
- Lin, K., Musa, S. N., Lee, H. Y., & Yap, H. J. (2024). “Sustainable location-routing problem for medical waste management using electric vehicles” [Elektrikli Araçlar Kullanılarak Tıbbi Atık Yönetimi İçin Sürdürülebilir Konum-Yönlendirme Problemi]. *Sustainable Cities and Society*, 112, 105598.

- Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A., D'Atri, G. ve Forte, M. (2019). "Blockchain-enabled supply chain: An experimental study" [Blokzincir Destekli Tedarik Zinciri: Deneysel Bir Çalışma]. *Computers & Industrial Engineering*, 136, 57–69.
- Maalouf, A., ve Maalouf, H. (2021). "Impact of COVID-19 pandemic on medical waste management in Lebanon" [COVID-19 Pandemisinin Lübnan'da Tıbbi Atık Yönetimine Etkisi]. *Waste Management and Research*, 39, 56–61.
- Madhu, K., Malti, K., Geeta, S., ve Reema, K. (2017). "Knowledge, awareness and attitude regarding biomedical waste management among medical students in a tertiary health care centre: A cross sectional study" [Bir Üçüncü Basamak Sağlık Kurumundaki Tıp Öğrencileri Arasında Biyomedikal Atık Yönetimine Yönelik Bilgi, Farkındalık ve Tutum]. *Paripex - Indian Journal of Research*, 6(4), 611–614.
- Maina, S. M., Andrew, N. K., ve Caroline, W. N. (2017). *Assessment of Level of Knowledge In Medical Waste Management In Selected Hospitals In Kenya*. Nairobi: Jomo Kenyatta University of Agriculture And Technology, Department Of Agriculture.
- Mainelli, M. (2017). "Blockchain Will Help Us Prove Our Identities in a Digital World". In *Blockchain: The Insights You Need From Harvard Business Review (HBR Insights Series)* (pp. 37–45). Harvard Business Review Press.
- Makarichi, L., Jutidamrongphan, W. ve Techato, K. A. (2018). "The evolution of waste-to-energy incineration: A review" [Atıktan Enerji Üretimi İçin Yakma Sürecinin Evrimi: Bir Derleme]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 812–821.
- Malekahmadi, F., Yunesian, M., Yaghmaeian, K. ve Nadafi, K. (2014). "Analysis of the healthcare waste management status in Tehran hospitals" [Tahran Hastanelerinde Sağlık Kurumu Atık Yönetimi Durumunun Analizi]. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 1–5.
- Mantzaras, G. ve Voudrias, E. A. (2017). "An optimization model for collection, haul, transfer, treatment and disposal of infectious medical waste: Application to a Greek region" [Bulaşıcı Tıbbi Atıkların Toplanması, Taşınması, Aktarılması,

Arıtılması ve Bertarafı İçin Bir Optimizasyon Modeli: Yunan Bölgesi Uygulaması]. *Waste Management*, 69, 518–534.

Manupati, V. K., Ramkumar, M., Baba, V. ve Agarwal, A. (2021). “Selection of the best healthcare waste disposal techniques during and post COVID-19 pandemic era” [COVID-19 Pandemisi Sırasında ve Sonrasında En Uygun Sağlık Atığı Bertaraf Yöntemlerinin Seçimi]. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125175.

Manyele, S. V. (2004). “Effects of improper hospital-waste management on occupational health and safety” [Hatalı Hastane Atık Yönetiminin İş Sağlığı ve Güvenliği Üzerindeki Etkileri]. *African Newsletter on Occupational Health and Safety*, 14(2), 30–33.

Manyele, S. V. ve Lyasenga, T. J. (2010). “Factors Affecting Medical Waste Management in Low-Level Health Facilities in Tanzania” [Tanzanya’daki Düşük Düzeydeki Sağlık Tesislerinde Tıbbi Atık Yönetimini Etkileyen Faktörler]. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4, 304–318.

Marinković, N., Vitale, K., Holcer, N. J., Džakula, A. ve Pavić, T. (2008). “Management of hazardous medical waste in Croatia” [Hırvatistan’da Tehlikeli Tıbbi Atıkların Yönetimi]. *Waste Management*, 28(6), 1049–1056.

Maull, R., Godsiff, P., Mulligan, C., Brown, A. ve Kewell, B. (2017). “Distributed ledger technology: Applications and implications” [Dağıtık Defter Teknolojisi: Uygulamalar ve Sonuçlar]. *Strategic Change*, 26(5), 481–489.

Millard, C. (2018). “Blockchain and law: Incompatible codes?” [Blokzincir ve Hukuk: Uyumsuz Kodlar mı?]. *Computer Law & Security Review*, 34(4), 843–846.

Miller, D., Mockel, P., Myers, G. I., Niforos, M., Ramachandran, V., Rehmann, T., ve Salmon, J. (2019). *Blockchain: Opportunities For Private Enterprises in Emerging Markets* (Report No: 134063). Washington, DC: The World Bank.

Miyazaki, M. ve Une, H. (2005). “Infectious waste management in Japan: A Revised regulation and a management process in medical institutions” [Japonya’da Bulaşıcı Atık Yönetimi: Güncellenmiş Düzenleme ve Sağlık Kurumlarında Yönetim Süreci]. *Waste Management*, 25(6), 616–621.

- Miyazaki, M., Imatoh, T. ve Une, H. (2007). “The treatment of infectious waste arising from home health and medical care services: Present situation in Japan” [Evde Sağlık ve Tıbbi Hizmetlerden Kaynaklanan Bulaşıcı Atıkların Bertarafı: Japonya’daki Güncel Durum]. *Waste Management*, 27, 130–134.
- Mmereki, D., Baldwin, A., Li, B. ve Liu, M. (2017). “Healthcare Waste Management in Botswana: Storage, Collection, Treatment and Disposal System” [Botsvana’da Sağlık Atık Yönetimi: Depolama, Toplama, Arıtma ve Bertaraf Sistemi]. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19(1), 351–365.
- Mohamed Faizal, U., Jayachitra, R., Vijayakumar, P. ve Rajasekar, M. (2021). “Optimization of inbound vehicle routes in the collection of bio-medical wastes” [Biyomedikal Atık Toplama Sürecinde Gelen Araç Rotalarının Optimizasyonu]. *Materials Today: Proceedings*, 45, 692–699.
- Mohamed, L. F. (2009). “Hazardous healthcare waste management in the Kingdom of Bahrain” [Bahreyn Krallığı’nda Tehlikeli Sağlık Atıklarının Yönetimi]. *Waste Management*, 29, 2404–2409.
- Mohamed, N. H., Khan, S. ve Jagtap, S. (2024). “Waste 4.0: Transforming medical waste management through digitalization and automated segregation” [Atık 4.0: Dijitalleşme ve Otomatik Ayırıştırma Yoluyla Tıbbi Atık Yönetiminin Dönüştürülmesi]. *Discover Sustainability*, 5(1), 353.
- Mohtashami, Z., Eshghi, K., & Khedmati, M. (2025). “Review of medical waste management approaches: challenges, innovations, and future research directions with sustainability perspectives” [Tıbbi Atık Yönetimi Yaklaşımlarının Gözden Geçirilmesi: Sürdürülebilirlik Perspektifleriyle Zorluklar, Yenilikler ve Gelecekteki Araştırma Yönleri]. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 1-26.
- Moreira, A. M. M., & Günther, W. M. R. (2013). “Assessment of medical waste management at a primary health-care center in São Paulo, Brazil” [Brezilya São Paulo’da Bir Birinci Basamak Sağlık Merkezinde Tıbbi Atık Yönetiminin Değerlendirilmesi]. *Waste Management*, 33(1), 162–167.

- Moreno, J. D., ve Lomaquiz, S. E. (2020). "Argentina". In J. N. Dewey (Ed.), *Blockchain ve Cryptocurrency Regulation* (pp. 245). Global Legal Group Ltd.
- Mosakheil, J. H. (2018). *Security Threats Classification in Blockchains* (Yüksek Lisans Tezi). Norwegian: Norwegian University of Science and Technology (NTNU).
- Mostafa, G. M. A., Shazly, M. M. ve Sherief, W. I. (2009). "Development of a waste management protocol based on assessment of knowledge and practice of healthcare personnel in surgical departments" [Cerrahi Departmanlardaki Sağlık Personelinin Bilgi ve Uygulamalarının Değerlendirilmesine Dayalı Bir Atık Yönetim Protokolü Geliştirme]. *Waste Management*, 29(1), 430–439.
- Musamih, A., Salah, K., Jayaraman, R., Yaqoob, I., Al-Hammadi, Y. ve Antony, J. (2022). "Blockchain-based solution for COVID-19 vaccine waste reduction" [COVID-19 Aşı Atıklarının Azaltılması İçin Blokzincir Tabanlı Bir Çözüm]. *Journal of Cleaner Production*, 372, 133619.
- Nakamoto, S. (2008). "Blockchain: A peer-to-peer electronic cash system" [Blockchain: Eşler Arası Elektronik Nakit Sistemi]. 4(2)
- N'Zi, K. C., Traoré, Y., Dindji, M. R., Aho, Y. B. ve Bonny, J. S. (2018). "Management des déchets médicaux et risque biologique à l'hôpital universitaire de Cocody, Côte d'Ivoire" [Fildişi Sahili Cocody Üniversite Hastanesi'nde Tıbbi Atık Yönetimi ve Biyolojik Risk]. *Santé Publique*, 30(5), 747–754.
- Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A., ve Goldfeder, S. (2016). *Bitcoin And Cryptocurrency Technologies* (3rd ed.). Princeton: Princeton University Press.
- Nawawi, A., Makarov, I. ve Plastun, A. (2019). "Applications of blockchain technology beyond cryptocurrency" [Blokzincir Teknolojisinin Kripto Para Dışındaki Uygulamaları]. *Finance Research Letters*, 11, 1–6.
- Nelson, J. S., Henderson, D., Jones, G., Roon, M., Zargham, M., Bulkin, A., ve Crowley, C. (2017). *A Blockchain-Based Protocol Stack For Global Commerce and Supply Chains*. Sweetbridge.
- Nemathaga, F., Maringa, S., & Chimuka, L. (2008). "Hospital solid waste management practices in Limpopo Province, South Africa: A case study of two hospitals"

- [Güney Afrika Limpopo Eyaletinde Hastane Katı Atık Yönetimi Uygulamaları: İki Hastane Örneği]. *Waste Management*, 28(7), 1236–1245.
- Nessa, K., Quaiyum, M. A. ve Khuda, B. (2001). *Waste Management in Healthcare Facilities: A Review* [Sağlık Kurumlarında Atık Yönetimi: Bir Derleme]. *Centre For Health and Population Research*, Bangladeş, 144.
- Niforos, M. (2017). *Beyond FinTech: Leveraging Blockchain for More Sustainable and Inclusive Supply Chains*. Washington, DC: International Finance Corporation (IFC).
- Nikolic, D. M., Petrovic, N., Belic, A., Rokvic, M., Radakovic, J. A. ve Tubic, V. (2016). “The fault tree analysis of infectious medical waste management” [Bulaşıcı Tıbbi Atık Yönetiminin Hata Ağacı Analizi]. *Journal of Cleaner Production*, 113, 365–373.
- Niranjanamurthy, M., Nithya, B. N. ve Jagannatha, S. J. C. C. (2019). “Analysis of blockchain technology: Pros, cons and SWOT” [Blokzincir Teknolojisinin Analizi: Artılar, Eksiler ve SWOT]. *Cluster Computing*, 22, 14743–14757.
- Nordgren, A., Weckström, E., Martikainen, M. ve Lehner, O. M. (2019). “Blockchain in the fields of finance and accounting: A disruptive technology or an overhyped phenomenon” [Finans ve Muhasebe Alanlarında Blokzincir: Yıkıcı Bir Teknoloji mi Yoksa Abartılmış Bir Olgu mu]. *ACRN Journal of Finance and Risk Perspectives*, 8(1), 47–58.
- Odonkor, S. T. ve Mahami, T. (2020). “Healthcare waste management in Ghanaian hospitals: Associated public health and environmental challenges” [Gana Hastanelerinde Sağlık Atığı Yönetimi: İlişkili Halk Sağlığı ve Çevresel Zorluklar]. *Waste Management and Research*, 38(8), 831–839.
- Oey, T. (2021). "International Medical Waste Management: Implementing Medical Waste Classification in the United States". In *Medical Waste Management Series*. IntechOpen.
- Okonkwo, C. U., Liyuan, L., Jianbo, G., Wang, T., Meng, C., Qinzong, F., & Yang, C. (2025). “Review on medical waste management in China and Nigeria” [Çin ve

- Nijerya'da Tıbbi Atık Yönetimi Üzerine İnceleme]. *Waste Management & Research*, 43(5), 632-648.
- Oktian, Y. E., Lee, S., ve Lee, B. (2020). "Blockchain-based continued integrity service for IoT big data management: A comprehensive design" [Nesnelerin İnterneti Büyük Veri Yönetimi İçin Blokzincir Tabanlı Sürekli Bütünlük Hizmeti: Kapsamlı Bir Tasarım]. *Sensors*, 20(22), 6485.
- Olabi, A. G., Shehata, N., Obaideen, K., Sayed, E. T., Mahmoud, M., AlMallahi, M. N., & Abdelkareem, M. A. (2024). "COVID-19: medical waste management, impact on sustainable development goals, and bibliometric analysis" [COVID-19: Tıbbi Atık Yönetimi, Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine Etkisi ve Bibliyometrik Analiz]. *Chemical Engineering & Technology*, 47(1), 4-19.
- Osivand, S. ve Abolhasani, H. (2021). "Effect of bitcoin and Ethereum on non-fungible token (NFT)" [Bitcoin ve Ethereum'un Değiştirilemez Token (NFT) Üzerindeki Etkisi]. *IOSR Journal of Business and Management*, 23(9), 49–51.
- Osmani, M., El-Haddadeh, R., Hindi, N., Janssen, M., ve Weerakkody, V. (2020). "Blockchain for next generation services in banking and finance: Cost, benefit, risk and opportunity analysis" [Bankacılık ve Finansta Yeni Nesil Hizmetler İçin Blokzincir: Maliyet, Fayda, Risk ve Fırsat Analizi]. *Journal of Enterprise Information Management*, 34(1), 437–456.
- Oweis, R., Al-Widyan, M. ve Al-Limoon, O. (2005). "Medical waste management in Jordan" [Ürdün'de Tıbbi Atık Yönetimi]. *Waste Management*, 25, 622–625.
- Oyekale, A. S., & Oyekale, T. O. (2017). "Healthcare waste management practices and safety indicators in Nigeria" [Nijerya'da Sağlık Atığı Yönetimi Uygulamaları ve Güvenlik Göstergeleri]. *BMC Public Health*, 17, 1–13.
- Ozdemir, A. I., Erol, I., Ar, I. M., Peker, I., Asgary, A., Medeni, T. D. ve Medeni, I. T. (2021). "The role of blockchain in reducing the impact of barriers to humanitarian supply chain management" [İnsani Yardım Tedarik Zinciri Yönetimindeki Engellerin Etkisinin Azaltılmasında Blokzincirin Rolü]. *The International Journal of Logistics Management*, 32(2), 454–478.

- Özbek, A. ve Eren, T. (2012). “Üçüncü Parti Lojistik (3PL) Firmanın Analitik Hiyerarşi Süreciyle (AHS) Belirlenmesi”. *International Journal of Engineering Research and Development*, 4(2), 46–54.
- Özdemir, M. (2019). *Ankara İli Çankaya İlçesinde Tıbbi Atık Yönetiminin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Aksaray: Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özel, Ş., Tozlu, G., Ercan, N., Tatar, Z., Türkeri, İ., Ünkoç, E. ve Üstün, Y. E. (2018). “Bir Kadın Doğum Hastanesindeki Tıbbi Atık Yönetim ve Maliyet Analizi”. *Jinekoloji-Obstetrik ve Neonatoloji Tıp Dergisi*, 15(1), 21–23.
- Pazaitis, A., De Filippi, P. ve Kostakis, V. (2017). “Blockchain and value systems in the sharing economy: The illustrative case of Backfeed” [Paylaşım Ekonomisinde Blokzincir ve Değer Sistemleri: Backfeed Örneği]. *Technological Forecasting and Social Change*, 125, 105–115.
- Peker, I., Ar, I. M., Erol, I. ve Searcy, C. (2023). “Leveraging blockchain in response to a pandemic through disaster risk management: An IF-MCDM framework” [Afet Risk Yönetimi Yoluyla Pandemiye Yanıtta Blokzincir Kullanımı: Sezgisel Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Çerçevesi]. *Operations Management Research*, 16(2), 642–667.
- Peng, J., Wu, X., Wang, R., Li, C., Zhang, Q. ve Wei, D. (2020). “Medical waste management practice during the 2019–2020 novel coronavirus pandemic: Experience in a general hospital” [2019–2020 Yeni Koronavirüs Salgını Sırasında Tıbbi Atık Yönetimi Uygulaması: Genel Bir Hastane Deneyimi]. *American Journal of Infection Control*, 48(8), 918–921.
- Pepin, J., Chakra, C. N. A., Pepin, E., Nault, V. ve Valiquete, L. (2014). “Evolution of the global burden of viral infections from unsafe medical injections, 2000–2010” [Güvensiz Tıbbi Enjeksiyonlardan Kaynaklanan Viral Enfeksiyonların Küresel Yükünün Evrimi, 2000–2010]. *PLOS ONE*, 9(6), e99677.
- Perumal, S., Aljefri, A. H., ve Alsaifi, R. H. (2021). "Analyzing the Interactions Among the Barriers For Safe and Effective Medical Waste Management". In *2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 302–307) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.

- Pieper, U., Hayter, A., ve Montgomery, M. (2017). *Safe Management Of Wastes From Health-Care Activities: A Summary* (Report No: WHO/FWC/WSH/17.05). Geneva: World Health Organization.
- Poon, J., & Dryja, T. (2016). *The bitcoin lightning network: scalable off-chain instant payments*.
- Pournader, M., Shi, Y., Seuring, S., & Koh, S. L. (2020). "Blockchain applications in supply chains, transport and logistics: A systematic review of the literature" [Tedarik Zincirleri, Ulaştırma ve Lojistikte Blokzincir Uygulamaları: Literatüre Dayalı Sistematiik Bir Derleme]. *International Journal of Production Research*, 58(7), 2063–2081.
- Provenance. (2015). *Blockchain: The Solution For Transparency in Product Supply Chains*. Provenance.
- Prüss, A., Giroult, E., ve Rushbrook, P. (1999). *Safe Management Of Wastes From Health-Care Activities*. Geneva: World Health Organization.
- Prüss-Ustün, A., Rapiti, E., ve Hutin, Y. (2005). "Estimation of the global burden of disease attributable to contaminated sharps injuries among health-care workers" [Sağlık Çalışanlarında Kirli Delici-Kesici Yaralanmalar Nedeniyle Oluşan Küresel Hastalık Yükünün Tahmini]. *American Journal of Industrial Medicine*, 48(6), 482–490.
- Purnomo, C. W., Kurniawan, W. ve Aziz, M. (2021). "Technological review on thermochemical conversion of COVID-19-related medical wastes" [COVID-19 Kaynaklı Tıbbi Atıkların Termokimyasal Dönüşümüne Yönelik Teknolojik Bir Derleme]. *Resources, Conservation, and Recycling*, 167, 105429.
- Qdais, H. A., Rabi, A. ve Abdulla, F. (2007). "Characteristics of the medical waste generated at the Jordanian hospitals" [Ürdün Hastanelerinde Oluşan Tıbbi Atıkların Özellikleri]. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 9, 147–152.
- Quintais, J. P., Bodo, B., Giannopoulou, A. ve Ferrari, V. (2019). "Blockchain and the law: A critical evaluation" [Blokzincir ve Hukuk: Eleştirel Bir Değerlendirme].
- Rahman, M. M., Bodrud-Doza, M., Griffiths, M. D. ve Mamun, M. A. (2020). "Biomedical waste amid COVID-19: Perspectives from Bangladesh" [COVID-19

- Sürecinde Biyomedikal Atık: Bangladeş Perspektifi]. *The Lancet Global Health*, 8(10), e1262.
- Rahulamathavan, Y., Phan, R. C. W., Rajarajan, M., Misra, S., ve Kondo, A. (2017). "Privacy-Preserving Blockchain-Based IoT Ecosystem Using Attribute-Based Encryption". In *2017 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)* (pp. 1–6) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.
- Rajan, R., Robin, D. T., ve Vandanani, M. (2017). *Biomedical Waste Management In Ayurveda Hospitals – Current Practices And Future Perspectives*. Amritapuri: Amrita University, Department Of Swasthavritta, School of Ayurveda.
- Ramteke, S., ve Sahu, B. (2020). "Novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: Considerations for the biomedical waste sector in India" [Yeni Koronavirüs Hastalığı 2019 (COVID-19) Pandemisi: Hindistan’da Biyomedikal Atık Sektörü İçin Değerlendirmeler]. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2, 100029.
- Rao, D., Dhakshaini, M. R., Kurthukoti, A. ve Doddawad, V. G. (2018). "Biomedical waste management: A study on assessment of knowledge, attitude and practices among health care professionals in a tertiary care teaching hospital" [Biyomedikal Atık Yönetimi: Üçüncü Basamak Öğretim Hastanesindeki Sağlık Profesyonellerinin Bilgi, Tutum ve Uygulamalarının Değerlendirilmesi]. *Biomed Pharmacology Journal*, 11(3).
- Ratta, P., Kaur, A., Sharma, S., Shabaz, M. ve Dhiman, G. (2021). "Application of blockchain and internet of things in healthcare and medical sector: Applications, challenges, and future perspectives" [Sağlık ve Tıp Sektöründe Blokzincir ve Nesnelerin İnterneti Uygulamaları: Uygulamalar, Zorluklar ve Gelecek Perspektifleri]. *Journal of Food Quality*, 2021(1), 7608296.
- Rauchs, M., Glidden, A., Gordon, B., Pieters, G. C., Recanatini, M., Rostand, F., ... ve Zhang, B. Z. (2018). *Distributed Ledger Technology Systems: A Conceptual Framework*. SSRN.
- Rejeb, A., Keogh, J. G., & Treiblmaier, H. (2019). "Leveraging the internet of things and blockchain technology in supply chain management" [Tedarik Zinciri

Yönetiminde Nesnelerin İnterneti ve Blokzincir Teknolojisinden Yararlanmak]. *Future Internet*, 11(7), 161.

Ribeiro, P., Neves, A. C. ve Mol, M. (2020). "Quantitative estimation of healthcare wastes generated by Brazilian hospitals: A literature review" [Brezilya Hastanelerinde Oluşan Sağlık Atıklarının Nicel Tahmini: Bir Literatür Taraması]. *Environmental Engineering and Management Journal*, 19(7), 1143–1156.

Ribeiro, S. L., ve Nakamura, E. T. (2019). "Context-Based Blockchain Platform Definition And Analysis Methodology". In *Advances In Cyber Security: First International Conference, ACeS 2019* (pp. 74–89) [Bildiri]. Springer: Penang, Malaysia.

Rodríguez-Robles, D., García-González, J., Juan-Valdés, A., Morán-del Pozo, J. M. ve Guerra-Romero, M. I. (2015). "Overview regarding construction and demolition waste in Spain" [İspanya'da İnşaat ve Yıkım Atıklarına Genel Bakış]. *Environmental Technology*, 36(23), 3060–3070.

Ruoyan, G., Chushi, K., Lingzhong, X., Xingzhou, W., Yufei, Z., Huijuan, L. vd. (2009). "Hospital medical waste management in Shandong Province, China" [Çin'in Shandong Eyaletinde Hastane Tıbbi Atık Yönetimi]. *Waste Management Research*, 27(4), 336–342.

Saaty, T. L. (1977). "A scaling method for priorities in hierarchical structures" [Hiyerarşik Yapılarda Önceliklendirme İçin Bir Ölçekleme Yöntemi]. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281.

Salimitari, M., Chatterjee, M. ve Fallah, Y. P. (2020). "A survey on consensus methods in blockchain for resource-constrained IoT networks" [Kaynak Kısıtlı IoT Ağlarında Blokzincir Konsensüs Yöntemlerine Yönelik Bir Derleme]. *Internet of Things*, 11, 100212.

Salmon, J., ve Myers, G. (2019). "Blockchain and Associated Legal Issues for Emerging Markets". In D. Miller et al. (Eds.), *Blockchain: Opportunities for Private Enterprises in Emerging Markets* (pp. 66–75). International Finance Corporation (World Bank Group).

- Sambare, S. S., Khandait, K., Kolage, K., Kolambe, K., ve Nimbalkar, T. (2023). "Literature Review On Waste Management Using Blockchain". In *Proceedings Of International Conference On Data Science And Applications: ICDSA 2022 (1)* (pp. 495–510) [Bildiri]. Springer Nature: Singapore.
- Sapirshtein, A., Sompolinsky, Y., ve Zohar, A. (2016). "Optimal Selfish Mining Strategies In Bitcoin". In *International Conference On Financial Cryptography And Data Security* (pp. 515–532) [Bildiri]. Springer: Berlin, Heidelberg.
- Sarıtaç, D. (2014). *Hastanelerde İş Sağlığı Ve Güvenliği Hizmetlerinin Yönetimi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Sarkar, S., Haque, M. A. ve Khan, T. A. (2006). "Hospital waste management in Sylhet city" [Sylhet Şehrinde Hastane Atık Yönetimi]. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1(2), 32–40.
- Sartaj, M. ve Arabgol, R. (2015). "Assessment of healthcare waste management practices and associated problems in Isfahan Province (Iran)" [İsfahan Eyaletinde (İran) Sağlık Atığı Yönetimi Uygulamaları ve İlgili Sorunların Değerlendirilmesi]. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17, 99–106.
- Sawalem, M., Selic, E. ve Herbell, J. D. (2009). "Hospital waste management in Libya: A case study" [Libya'da Hastane Atık Yönetimi: Bir Vaka Çalışması]. *Waste Management*, 29, 1370–1375.
- Schep, B., Godlieb, C., ve Röell, W. (2019). "Netherlands". In J. Dewey (Ed.), *Blockchain ve Cryptocurrency Regulation* (pp. 395). Global Legal Group Ltd.
- Shampe, R. A., Elzahaf, R. A., Al-Jaghibir, M. T. A. E. ve Battah, A. (2020). "Trablus/Libya'daki Dış Kliniklerinde Tıbbi Atık Yönetimi". *Libya Tıp Bilimleri Dergisi*, 4(4), 174.
- Shang, H. Y. ve Jia, H. Q. (2002). "Present situation and disposal of medical wastes in China" [Çin'de Tıbbi Atıkların Mevcut Durumu ve Bertarafı]. *Journal of Environmental Pollution and Control*, 24, 1001–3685.
- Shareefdeen, Z. M. (2012). "Medical waste management and control" [Tıbbi Atık Yönetimi ve Kontrolü]. *Journal of Environmental Protection*, 3(12), 1625–1628.

- Sharma, K., ve Jain, D. (2019). "Consensus Algorithms in Blockchain Technology: A Survey". In *2019 10th International Conference On Computing, Communication And Networking Technologies (ICCCNT)* (pp. 1–7) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.
- Sharma, M., & Joshi, S. (2021). "Barriers to blockchain adoption in health-care industry: An Indian perspective" [Sağlık Sektöründe Blokzincir Benimsenmesine Yönelik Engeller: Hindistan Perspektifi]. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*, 14(1), 134–169.
- Sharma, V., Jamwal, A., Agrawal, R., ve Pratap, S. (2024). "A review on digital transformation in healthcare waste management: Applications, research trends and implications" [Sağlık Atık Yönetiminde Dijital Dönüşüm Üzerine Bir Derleme: Uygulamalar, Araştırma Eğilimleri ve Yansımaları]. *Waste Management ve Research*, 42(4), 587–602.
- Sheel, A. ve Nath, V. (2020). "Antecedents of blockchain technology adoption intentions in the supply chain" [Tedarik Zincirinde Blokzincir Teknolojisinin Benimsenmesine Yönelik Etkenler]. *International Journal of Business Innovation and Research*, 21(4), 564–584.
- Sheldon, M. D. (2018). "Using blockchain to aggregate and share misconduct issues across the accounting profession" [Muhasebe Mesleğinde Usulsüzlük Konularının Toplanması ve Paylaşılması İçin Blokzincir Kullanımı]. *Current Issues in Auditing*, 12(2), A27–A35.
- Shi, L. H. (2009). "A mixed integer linear programming for medical waste reverse logistics network design" [Tıbbi Atık Tersine Lojistik Ağı Tasarımı için Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama]. *International Conference on Management Science and Engineering - 16th Annual Conference Proceedings*, Moskova, 1971–1975.
- Shinee, E., Gombojav, E., Nishimura, A., Hamajima, N. ve Ito, K. (2008). "Healthcare waste management in the capital city of Mongolia" [Moğolistan'ın Başkentinde Sağlık Atığı Yönetimi]. *Waste Management*, 28(2), 435–441.

- Shrestha, R., Bajracharya, R., Shrestha, A. P. ve Nam, S. Y. (2020). “A new type of blockchain for secure message exchange in VANET” [VANET’te Güvenli Mesajlaşma için Yeni Bir Blokzincir Türü]. *Digital Communications and Networks*, 6(2), 177–186.
- Singh, M. ve Kim, S. (2018). “Branch based blockchain technology in intelligent vehicle” [Akıllı Araçlarda Dal Yapılı Blokzincir Teknolojisi]. *Computer Networks*, 145, 219–231.
- Singh, N., Tang, Y., Zhang, Z. ve Zheng, C. (2020). “COVID-19 waste management: Effective and successful measures in Wuhan, China” [COVID-19 Atık Yönetimi: Çin Wuhan’daki Etkili ve Başarılı Önlemler]. *Resources, Conservation & Recycling*, 163, 105071.
- Singh, P. K., Singh, R., Nandi, S. K., ve Nandi, S. (2019). "Managing Smart Home Appliances With Proof Of Authority And Blockchain". In *Proceedings of The 19th International Conference on Innovations For Community Services (I4CS)* (pp. 1–10) [Bildiri]. Springer: Springer Publishing.
- Singhal, B., Dhameja, G., ve Panda, P. S. (2018). "How Blockchain Works". In *Beginning Blockchain: A Beginner's Guide to Building Blockchain Solutions* (pp. 31–148). Apress.
- Sløgedal, T. S. S., & Starling, R. E. (2020). *A Story of separation: Exploring systems of household waste, looking for opportunities for regenerative change*. Master's thesis, OsloMet-storbyuniversitetet. Institutt for produktdesign.
- Sobiecka, E., Kołaciński, Z., Rincón, J. M. ve Olejnik, T. P. (2019). “Coloured sintered glass-ceramics from hospital incineration fly ash” [Hastane Yakma Uçucu Küllerinden Renkli Sinterlenmiş Cam-Seramikler]. *Materials Letters*, 252, 35–37.
- Somani, V. ve Trivedi, M. C. (2019). “A review on blockchain in cloud computing healthcare data security” [Bulut Bilişimde Sağlık Verisi Güvenliği için Blokzincir Üzerine Bir Derleme]. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 11, 55–59.
- Song, G., Lu, Y., Feng, H., Lin, H. ve Zheng, Y. (2022). “An implementation framework of blockchain-based hazardous waste transfer management system” [Blokzincir

- Tabanlı Tehlikeli Atık Transfer Yönetim Sistemi için Bir Uygulama Çerçevesi]. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(24), 36147–36160.
- Song, Q., Li, H. ve Zeng, X. (2015). “Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy” [Sıfır Atık Stratejisi ile Katı Atık Artışının Azaltılması]. *Journal of Cleaner Production*, 104, 199–210.
- Stanojević, K., Radovanović, G., Makajić-Nikolić, D., Savić, G., Simeunović, B. ve Petrović, N. (2021). “Selection of the optimal medical waste incineration facility location: A challenge of medical waste risk management” [Tıbbi Atık Yakma Tesisi Yerinin Seçimi: Tıbbi Atık Risk Yönetiminde Bir Zorluk]. *Vojnosanitetski Pregled*, (00), 72–72.
- Su, E. C. ve Chen, Y. T. (2018). “Policy or income to affect the generation of medical wastes: An application of environmental Kuznets curve by using Taiwan as an example” [Tıbbi Atık Oluşumunu Etkileyen Politika mı Gelir mi?: Tayvan Örneği ile Çevresel Kuznets Eğrisi Uygulaması]. *Journal of Cleaner Production*, 188, 489–496.
- Su, G., Ong, H. C., Ibrahim, S., Fattah, I. M. R., Mofijur, M., ve Chong, C. T. (2021). “Valorisation of medical waste through pyrolysis for a cleaner environment: Progress and challenges” [Daha Temiz Bir Çevre İçin Piroliz Yoluyla Tıbbi Atıkların Değerlendirilmesi: Gelişmeler ve Zorluklar]. *Environmental Pollution*, 279, 116924.
- Subramanian, P. M. (2000). “Plastics recycling and waste management in the US” [ABD’de Plastik Geri Dönüşümü ve Atık Yönetimi]. *Resources, Conservation and Recycling*, 28(3–4), 253–263.
- Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a new economy* (1st ed.). O’Reilly Media, Inc.
- Şahin, H. G. (2017). *Hastane Çalışanlarının Tıbbi Atıklar Konusunda (Toplanması, Taşınması, Muhafazası) Bilgi Düzeylerinin İncelenmesi: İzmir İli Urla Devlet Hastanesi Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

- Şahin, H. G., Yiğit, P. ve Özçelik, M. (2024). “Hastane çalışanlarının tıbbi atıklar konusundaki bilgi düzeylerinin incelenmesi: İzmir ili Urla Devlet Hastanesi örneği”. *İstanbul Esenyurt Üniversitesi İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 105–119.
- Şanlıdağ, T. ve Akçalı, S. (2009). “Sterilizasyon, dezenfeksiyon ve hastane atıkları”. *Sağlıkta Birikim Dergisi*, 4, 65–76.
- Taghipour, H. ve Mosaferi, M. (2009). “Characterization of medical waste from hospitals in Tabriz, Iran” [İran Tahran’daki Hastanelerden Kaynaklı Tıbbi Atıkların Özellikleri]. *Science of the Total Environment*, 407, 1527–1535.
- Tahir, M., Habaebi, M. H., Dabbagh, M., Mughees, A., Ahad, A., ve Ahmed, K. I. (2020). “A review on application of blockchain in 5G and beyond networks: Taxonomy, field trials, challenges and opportunities” [5G ve Sonrası Ağlarda Blokzincir Uygulamaları Üzerine Bir Derleme: Sınıflandırma, Alan Denemeleri, Zorluklar ve Fırsatlar]. *IEEE Access*, 8, 156377–156415.
- Tapscott, D. ve Tapscott, A. (2017). “How blockchain will change organizations” [Blokzincir Kurumları Nasıl Değiştirecek]. *MIT Sloan Management Review*, 58(2), 10.
- Tasca, P. ve Tessone, C. J. (2019). “A taxonomy of blockchain technologies: Principles of identification and classification” [Blokzincir Teknolojilerinin Sınıflandırılması: Tanımlama ve Sınıflama İlkeleri]. *Ledger*, 4.
- Temel, E. (2021). *Aksaray İlinde Tıbbi Atık Yönetiminin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Aksaray: Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Terekli, G., Özkan, O. ve Bayın, G. (2013). “Çevre dostu hastaneler: Hastaneden yeşil hastaneye”. *Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 12(2), 37–54.
- Teymourian, T., Teymoorian, T., Kowsari, E. ve Ramakrishna, S. (2021). “Challenges, strategies, and recommendations for the huge surge in plastic and medical waste during the global COVID-19 pandemic with circular economy approach” [Küresel COVID-19 Pandemisinde Artan Plastik ve Tıbbi Atıklar İçin Döngüsel Ekonomi Yaklaşımıyla Zorluklar, Stratejiler ve Öneriler]. *Materials Circular Economy*, 3(1).

- Thakker, U., Patel, R., Tanwar, S., Kumar, N. ve Song, H. (2021). "Blockchain for diamond industry: Opportunities and challenges" [Elmas Endüstrisi İçin Blokzincir: Fırsatlar ve Zorluklar]. *IEEE Internet of Things Journal*, 8, 8747–8773.
- Thakur, V. (2021). "Framework for PESTEL dimensions of sustainable healthcare waste management: Learnings from COVID-19 outbreak" [Sürdürülebilir Sağlık Atığı Yönetimi İçin PESTEL Boyutlarına Dayalı Bir Çerçeve: COVID-19 Salgınından Öğrenilenler]. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125562.
- Tian, F. (2016). "An Agri-Food Supply Chain Traceability System For China Based On RFID ve Blockchain Technology". In *2016 13th International Conference On Service Systems And Service Management (ICSSSM)* (pp. 1–6) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.
- Torkayesh, A. E., Deveci, M., Torkayesh, S. E. ve Tirkolaee, E. B. (2021). "Analyzing failures in adoption of smart technologies for medical waste management systems: A type-2 neutrosophic-based approach" [Tıbbi Atık Yönetim Sistemlerinde Akıllı Teknolojilerin Benimsenmesindeki Başarısızlıkların Analizi: Tip-2 Nötrifik Tabanlı Bir Yaklaşım]. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–14.
- Tosh, D. K., Shetty, S., Liang, X., Kamhoua, C., ve Njilla, L. (2018). "Consensus Protocols For Blockchain-Based Data Provenance: Challenges And Opportunities". In *2017 IEEE 8th Annual Ubiquitous Computing, Electronics And Mobile Communication Conference (UEMCON)* (pp. 469–474) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.
- Treleaven, P., Brown, R. G. ve Yang, D. (2017). "Blockchain technology in finance" [Finansta Blokzincir Teknolojisi]. *Computer*, 50(9), 14–17.
- Triet, M. N., Khanh, H. V., Huong, H. L., Khiem, H. G., Phuc, T. N., NTK, N. ve Anh, T. N. (2023). "Leveraging blockchain, smart contracts, and NFTs for streamlining medical waste management: An examination of the Vietnamese healthcare sector" [Tıbbi Atık Yönetiminin Kolaylaştırılmasında Blokzincir, Akıllı Sözleşmeler ve NFT'lerin Kullanımı: Vietnam Sağlık Sektörü İncelemesi]. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(8).

- Tsakona, M., Anagnostopoulou, E. ve Gidarakos, E. (2007). "Hospital waste management and toxicity evaluation: A case study" [Hastane Atık Yönetimi ve Toksikite Değerlendirmesi: Bir Vaka Çalışması]. *Waste Management*, 27, 912–920.
- Tudor, T. L., Marsh, C. L., Butler, S., Van Horn, J. A. ve Jenkin, L. E. T. (2008). "Realising resource efficiency in the management of healthcare waste from the Cornwall National Health Service (NHS) in the UK" [İngiltere'de Cornwall Ulusal Sağlık Hizmetleri (NHS) Kurumundaki Sağlık Atıklarının Yönetiminde Kaynak Verimliliğinin Gerçekleştirilmesi]. *Waste Management*, 28(7), 1209–1218.
- Tufail, M. ve Khalid, S. (2008). "Heavy metal pollution from medical waste incineration at Islamabad and Rawalpindi, Pakistan" [Pakistan, İslamabad ve Ravalpindi'deki Tıbbi Atık Yakımından Kaynaklanan Ağır Metal Kirliliği]. *Microchemical Journal*, 90(1), 77–81.
- Tunagür, T., Pehlivan, Ö. ve Alkoy, S. (2018). "Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde tıbbi atık yönetiminin değerlendirilmesi". *Abant Medical Journal*, 7(3), 81–88.
- Tunçsiper, B. (1997). *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Katı Atıklarının İncelenmesi Ve Uygun Bertaraf Yönteminin Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Sivas: Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Turan, N., Aydın, G. Ö., Kaya, H., Aştı, T. A., Aksel, G. ve Yılmaz, A. (2019). "Hemşirelik Öğrencilerinin Tıbbi Atık Yönetimine İlişkin Bilgi Düzeyleri". *Ordu Üniversitesi Hemşirelik Çalışmaları Dergisi*, 2(1), 11–21.
- Tutar, D. Y. (2004). *Tıbbi Atık Yönetimi İçin Yeni Bir Yaklaşım ve Ankara Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Ulutaşdemir, N., Şişman, S. ve Arman, Ö. (2020). "Tıbbi Atık Yönetiminde Sağlık Çalışanlarının Rolü: Bir Devlet Hastanesi Örneği". *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(Ek), 170–182.
- Underwood, S. (2016). "Blockchain beyond bitcoin" [Bitcoin Ötesinde Blokzincir]. *Communications of the ACM*, 59(11), 15–17.
- Urquhart, A. (2016). "The inefficiency of Bitcoin" [Bitcoin'in Etkin Olmaması]. *Economics Letters*, 148, 80–82.

- Uysal, F., ve Arslankaya, S. (2011). "Tekirdağ İli'nde Tıbbi Atık Yönetimi". In 1. *Ulusal Katı Atık Kongresi (UKAK)* (pp. 9–17) [Bildiri]. İzmir: Kongre Düzenleme Kurulu.
- Uysal, Ü. (2004). "Hastane atıkları" [Hastane Atıkları]. *Hastane Enfeksiyonları Dergisi*, 8, 122–126.
- Üçüncü, O. ve Yazıcı, E. (2009). "Trabzon İlinde Tıbbi Atık Yönetimi". *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 27(1), 49–59.
- Ünal, E., Duygulu, F., ve Bolat, E. Z. (1998). *İmar Terimleri* (Kentsel Hizmetler Dizisi: 3). Ankara: Türkiye ve Ortadoğu Amme İdaresi Enstitüsü, Yerel Yönetimler Araştırma ve Eğitim Merkezi.
- Valizadeh, J., Hafezalkotob, A., Seyed Alizadeh, S. M., ve Mozafari, P. (2021). "Hazardous infectious waste collection and government aid distribution during COVID-19: A robust mathematical leader–follower model approach" [COVID-19 Sürecinde Tehlikeli Bulaşıcı Atıkların Toplanması ve Devlet Yardımının Dağıtımı: Güçlü Bir Matematiksel Lider-Takipçi Modeli Yaklaşımı]. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102814.
- Van Boerdonk, P. J. M., Krikke, H. R. ve Lambrechts, W. (2021). "New business models in circular economy: A multiple case study into touch points creating customer values in health care" [Döngüsel Ekonomide Yeni İş Modelleri: Sağlıkta Değer Yaratın Etkileşim Noktaları Üzerine Birden Fazla Vaka Çalışması]. *Journal of Cleaner Production*, 282, 125375.
- Velmurugadass, P., Dhanasekaran, S., Anand, S. S. ve Vasudevan, V. (2021). "Enhancing blockchain security in cloud computing with IoT environment using ECIES and cryptography hash algorithm" [IoT Ortamında ECIES ve Kriptografik Özetleme Algoritması ile Bulut Bilişimde Blokzincir Güvenliğinin Artırılması]. *Materials Today: Proceedings*, 37, 2653–2659.
- Verma, A. K. ve Garg, M. A. (2010). "Blockchain: An analysis on next-generation internet" [Blokzincir: Yeni Nesil İnternet Üzerine Bir Analiz]. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 429–432.

- Viriyasitavat, W. ve Hoonsopon, D. (2019). "Blockchain characteristics and consensus in modern business processes" [Modern İş Süreçlerinde Blokzincir Özellikleri ve Uzlaş]. *Journal of Industrial Information Integration*, 13, 32–39.
- Visvanathan, C. (2006). *Healthcare Waste Management in South Asia*. Thailand: Asian Institute of Technology.
- Voudrias, E. (2016). "Technology selection for infectious medical waste treatment using the analytic hierarchy process" [AHP ile Enfeksiyöz Tıbbi Atık Arıtma Teknolojisinin Seçimi]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66(7), 663–672.
- Voudrias, E. A. (2018). "Healthcare waste management from the point of view of circular economy" [Döngüsel Ekonomi Perspektifinden Sağlık Atıklarının Yönetimi]. *Waste Management*, 75, 1–2.
- Wamba, S. F., Queiroz, M. M., Wu, L. ve Sivarajah, U. (2020). "Big data analytics-enabled sensing capability and organizational outcomes: Assessing the mediating effects of business analytics culture" [Büyük Veri Analitiği Tabanlı Algılama Yeteneği ve Kurumsal Sonuçlar: İş Analitiği Kültürünün Aracılık Etkisinin Değerlendirilmesi]. *Annals of Operations Research*, 1–20.
- Wang, B. ve Li, Z. (2021). "Healthchain: A privacy protection system for medical data based on blockchain" [Healthchain: Blokzincir Tabanlı Tıbbi Veriler İçin Gizlilik Koruma Sistemi]. *Future Internet*, 13(10), 247.
- Wang, C., Ma, Y. ve Meng, F. (2020). "Monitoring method of internet of things for classified recovery of medical waste" [Tıbbi Atıkların Sınıflandırılmış Geri Kazanımı İçin Nesnelerin İnterneti Tabanlı İzleme Yöntemi]. *Journal of Physics: Conference Series*, 1646(1).
- Wang, H., Zheng, L., Xue, Q. ve Li, X. (2022). "Research on medical waste supervision model and implementation method based on blockchain" [Blokzincir Tabanlı Tıbbi Atık Denetim Modeli ve Uygulama Yöntemi Üzerine Bir Araştırma]. *Security and Communication Networks*, 2022(1), 5630960.

- Wang, Y. M. ve Elhag, T. M. (2006). "On the normalization of interval and fuzzy weights" [Aralık ve Bulanık Ağırlıkların Normalize Edilmesi Üzerine]. *Fuzzy Sets and Systems*, 157(18), 2456–2471.
- Windfeld, E. S. ve Brooks, M. S. L. (2015). "Medical waste management – A review" [Tıbbi Atık Yönetimi – Derleme]. *Journal of Environmental Management*, 163, 98–108.
- Wright, A. ve De Filippi, P. (2015). "Decentralized blockchain technology and the rise of lex cryptographia" [Merkeziyetsiz Blokzincir Teknolojisi ve Lex Cryptographia'nın Yükselişi]. *SSRN Electronic Journal*.
- Xiao, F. (2018). "A novel multi-criteria decision making method for assessing healthcare waste treatment technologies based on D numbers" [D Sayılarına Dayalı Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Sağlık Atığı Arıtma Teknolojilerinin Değerlendirilmesi]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 71, 216–225.
- Xu, L., Dong, K., Zhang, Y. ve Li, H. (2020). "Comparison and analysis of several medical waste treatment technologies" [Bazı Tıbbi Atık Arıtma Teknolojilerinin Karşılaştırılması ve Analizi]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 615(1), 012031. IOP Publishing.
- Xu, Z. ve Liao, H. (2014). "Intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process" [Sezgisel Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(4).
- Yang, C., Peijun, L., Lupi, C., Yangzhao, S., Diandou, X., Qian, F. ve Shasha, F. (2009). "Sustainable management measures for healthcare waste in China" [Çin'de Sağlık Atıklarının Sürdürülebilir Yönetimi İçin Önlemler]. *Waste Management*, 29, 1994–2004.
- Yang, R., Wakefield, R., Lyu, S., Jayasuriya, S., Han, F., Yi, X. ve Chen, S. (2020). "Public and private blockchain in construction business process and information integration" [İnşaat Sektöründe Kamu ve Özel Blokzincir Uygulamaları ile Süreç ve Bilgi Entegrasyonu]. *Automation in Construction*, 118, 103276.

- Yazgan, M., Kalaycı, N., Kayhan, C. B. ve Tuna, E. (2014). "Turgutlu İlçe Devlet Hastanesi tıbbi atık yönetimi" [Turgutlu İlçe Devlet Hastanesi Tıbbi Atık Yönetimi]. *Sağlıkta Performans ve Kalite Dergisi*, 7(1), 1–20.
- Yıldırım, H. (2018). "Açık ve Uzaktan Öğrenmede Blokzincir Teknolojisinin Kullanımı". *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 4(3), 142–153.
- Yiannas, F. (2018). "A new era of food transparency powered by blockchain" [Blokzincir Destekli Gıda Şeffaflığında Yeni Bir Dönem]. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 12(1–2), 46–56.
- Yingngam, B., Khumsikiew, J., Netthong, R., ve Intamat, S. (2025). "Biomedical Waste Management in Hospitals: Current Practices and Future Perspectives". In *Hospital Waste Management and Toxicity Evaluation* (pp. 1–34). IGI Global Scientific Publishing.
- Yli-Huomo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S. ve Smolander, K. (2016). "Where is current research on blockchain technology?—a systematic review" [Blokzincir Teknolojisi Üzerine Güncel Araştırmalar Nerede?—Sistematik Bir Derleme]. *PloS One*, 11(10), e0163477.
- Yong, Z., Gang, X., Guanxing, W., Tao, Z.ve Dawei, J. (2009). "Medical waste management in China: a case study of Nanjing" [Çin’de Tıbbi Atık Yönetimi: Nanjing Örneği]. *Waste Management*, 29(4), 1376-1382.
- Yoon, C. W., Kim, M. J., Park, Y. S., Jeon, T. W.ve Lee, M. Y. (2022). "A review of medical waste management systems in the Republic of Korea for hospital and medical waste generated from the COVID-19 pandemic" [COVID-19 Pandemisi Kaynaklı Hastane ve Tıbbi Atıklar İçin Güney Kore’deki Tıbbi Atık Yönetim Sistemlerine Dair Bir Derleme]. *Sustainability*, 14(6), 3678.
- Yousefi, S. ve Mohamadpour Tosarkani, B. (2022). "An analytical approach for evaluating the impact of blockchain technology on sustainable supply chain performance" [Blokzincir Teknolojisinin Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Performansına Etkisinin Değerlendirilmesine Yönelik Analitik Bir Yaklaşım]. *International Journal of Production Economics*, 246, 108429.

- Yousuf, S., ve Svetinovic, D. (2019). "Blockchain Technology In Supply Chain Management: Preliminary Study". *In 2019 Sixth International Conference On Internet Of Things: Systems, Management And Security (IOTSMS)* (pp. 537–538) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.
- Yu, Y., Li, Y., Tian, J. ve Liu, J. (2018). "Blockchain-based solutions to security and privacy issues in the internet of things" [Nesnelerin İnterneti'ndeki Güvenlik ve Gizlilik Sorunlarına Blokzincir Tabanlı Çözümler]. *IEEE Wireless Communications*, 25(6), 12-18.
- Yusof, H., Munir, M. F. M. B., Zolkaply, Z., Jing, C. L., Hao, C. Y., Ying, D. S. ... ve Leong, T. K. (2018). "Behavioral intention to adopt blockchain technology: viewpoint of the banking institutions in Malaysia" [Blokzincir Teknolojisini Benimsemeye Yönelik Davranışsal Niyet: Malezya'daki Bankacılık Kuruluşlarının Bakış Açısı]. *International Journal of Advanced Scientific Research and Management*, 3(10), 274-279.
- Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy sets" [Bulanık Kümeler]. *Information and Control*, 8(3), 338–353.
- Zhang, J., Tan, R., Su, C., ve Si, W. (2020). "Design and application of a personal credit information sharing platform based on consortium blockchain" [Konsorsiyum Blokzincirine Dayalı Kişisel Kredi Bilgisi Paylaşım Platformunun Tasarımı ve Uygulaması]. *Journal of Information Security and Applications*, 55, 102659.
- Zhang, R., Xue, R. ve Liu, L. (2019). "Security and privacy on blockchain" [Blokzincirde Güvenlik ve Gizlilik]. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 52(3), 1-34.
- Zhao, H., Liu, H., Wei, G., Wang, H., Zhu, Y., Zhang, R. ve Yang, Y. (2021). "Comparative life cycle assessment of emergency disposal scenarios for medical waste during the COVID-19 pandemic in China" [Çin'de COVID-19 Pandemisi Sırasında Tıbbi Atıkların Acil Bertaraf Senaryolarına Yönelik Karşılaştırmalı Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi]. *Waste Management*, 126, 388-399.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X. ve Wang, H. (2018). "Blockchain challenges and opportunities: a survey" [Blokzincir Zorlukları ve Fırsatları: Bir Derleme]. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352-375.

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., ve Wang, H. (2017). "An Overview Of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, And Future Trends". In *2017 IEEE International Congress On Big Data (BigData Congress)* (pp. 557–564) [Bildiri]. IEEE: IEEE Publishing.

Zhu, H. ve Zhou, Z. Z. (2016). "Analysis and outlook of applications of blockchain technology to equity crowdfunding in China" [Çin'deki Hisse Temelli Kitlesel Fonlamada Blokzincir Teknolojisinin Uygulamalarına Yönelik Analiz ve Beklentiler]. *Financial Innovation*, 2, 1-11.

Zimmermann, A. ve Szyca, R. (2011). "Medical waste management in Poland: the legal issues" [Polonya'da Tıbbi Atık Yönetimi: Hukuki Meseleler]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(4), 1113-1118.

İNTERNET KAYNAKLARI

İnternet Sitesi 1: Deniz Haber. Erişim Tarihi: 17 Haziran 2025.
<https://www.denizhaber.net/kozlu-sahilindeki-tibbi-atiklar-tehlike-saciyor-haber-88231.htm>

İnternet Sitesi 2: Kamusal Market. Erişim Tarihi: 06 Şubat 2025.
<https://www.kamusalmarket.com/Urunler/Tibbi-Atik-Toplama-Kiyafeti-291.html>

İnternet Sitesi 3: Anadolu Ajansı (AA). Erişim Tarihi: 12 Aralık 2024.
<https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/buyuksehirlerde-tibbi-atik-yakma-tesisi-zorunlulugu-/300771>

İnternet Sitesi 4: Chemya. Erişim Tarihi: 12 Aralık 2024.
<https://www.chemya.com.tr/sivi-tibbi-atik-notralizasyon-sistemleri/>

T.C. Resmi Gazete. (2017, Ocak 25). *Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*. Sayı: 29959. Başbakanlık Basımevi, Ankara.
<https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/yonetmelik/7.5.23273.pdf> (Mevzuat / Yönetmelik)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Sefa ÇELİK
Doğum Yeri ve Tarihi	
Eğitim Durumu	
Lisans Öğrenimi	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Y. Lisans Öğrenimi	Atatürk Üniversitesi, İşletme Anabilim Dalı, Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller	İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri	
İş Deneyimi	
Stajlar	
Projeler	
Çalıştığı Kurumlar	
İletişim	
E-Posta Adresi	
Tarih	