

**TIBBİ ATIK YÖNETİMİNDE SWOT ANALİZİ VE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR
VERME TEKNİKLERİ İLE ÇÖZÜM ÖNERİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Tolgahan AKKURT

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Aysun ÖZKAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2022

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Tolgahan AKKURT, TIBBİ ATIK YÖNETİMİNDE SWOT ANALİZİ VE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE ÇÖZÜM ÖNERİLERİNİN GELİşTİRİLMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Prof. Dr. Aysun ÖZKAN

ÖZET

TIBBİ ATIK YÖNETİMİNDE SWOT ANALİZİ VE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE ÇÖZÜM ÖNERİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Tolgahan AKKURT

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2022

Danışman: Prof. Dr. Aysun ÖZKAN

Tıbbi atıklar, içerdikleri yüksek riskler nedeniyle dikkatle yönetilmesi gereken atık türlerindedir. Tıbbi atık yönetiminin mevcut durumunu ortaya koyarak, tıbbi atık profiline en uygun arıtım/bertaraf yöntemini belirlemeyi amaçlayan bu çalışmanın bulgularında tıbbi atık yönetimi açısından önemli bilgiler elde edilmiştir. Tıbbi atık yönetimi kapsamında belirlenen yöntemler (Yakma, Mikrodalga Işınlama, Sterilizasyon ve Kimyasal Dezenfeksiyon), seçilen kriterlere göre (Yatırım ve İşletme Maliyeti, İşlem Sonrası Hacimsel Azalma, Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı ile Enerji Geri Kazanımı) SWOT analizine tabi tutulmuş ve mevcut durum tüm yönleriyle ortaya konulmuştur. Bu noktada, birçok alandaki problemlerin çözümünde belirli kriterlerin yardımıyla en uygun alternatifin seçiminin yapılabildiği Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri (MCDM)'nin kullanımı mümkündür. Belirlenen kriterler Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve CRITIC metotları ile ağırlıklandırılmıştır. Her bir ağırlıklandırma metodundan elde edilen sonuçlarla ayrı ayrı AHP, COPRAS ve MULTIMOORA metodu kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Kullanılan tüm ağırlıklandırma yöntemleri ile yapılan AHP, COPRAS ve MULTIMOORA sonuçlarında öncelikli olarak yakma ve takiben mikrodalga ışınlama alternatifleri belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: AHP, COPRAS, CRITIC, MULTIMOORA, SWOT, Tıbbi Atık Yönetimi.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF SOLUTIONS TO MEDICAL WASTE MANAGEMENT WITH SWOT ANALYSIS AND MULTI-CRITERIA DECISION MAKING TECHNIQUES

Tolgahan AKKURT

Department of Environmental Engineering

Programme in Environmental Sciences

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2022

Supervisor: Prof. Dr. Aysun ÖZKAN

Medical wastes should be carefully managed due to their high environmental risks. This study, which aims to determine the most appropriate treatment/disposal method for medical waste by revealing the current state, is resulted in significant data in terms of medical waste management. The methods determined within the scope of medical waste management (Incineration, Microwave Irradiation, Sterilization and Chemical Disinfection) were subjected to SWOT analysis according to the selected criteria (Investment and Operational Cost, Volumetric Reduction after the Process, Energy Recovery through Greenhouse Gas Emission) and current situation is examined in all its aspects. At this point, it is possible to use Multi-Criteria Decision Making Techniques (MCDM), in which the most suitable alternative can be selected with the help of certain criteria in problem solving in many fields. The determined criteria were weighted with the Analytical Hierarchy Process (AHP) and CRITIC methods. With the results obtained from each weighting method, evaluations were made using the AHP, COPRAS and MULTIMOORA methods separately. In the AHP, COPRAS and MULTIMOORA results obtained with all the weighting methods used, incineration alternative was determined as priority followed by microwave irradiation alternative.

Keywords: AHP, CRITIC, COPRAS, MULTIMOORA, SWOT, Medical Waste Management.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her adımında her türlü yardım ve fedakârlığı sağlayan danışman hocam Prof. Dr. Aysun ÖZKAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez savunma jürimde olmayı kabul ederek çalışmaya destek olan Prof. Dr. Gülbin ERDEN ve Doç. Dr. Zerrin GÜNKAYA'ya;

Hayatım boyunca bana her türlü desteği veren, her zaman bana güvenen, sonsuz fedakarlığa sahip canım aileme ve değerli eşim Tuçe AKKURT'a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmam boyunca benden yardım ve desteğini esirgemeyen dostum Murat Can Burak YILDIZ'a teşekkür ederim.

Tolgahan AKKURT

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Tolgahan AKKURT

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TIBBİ ATIK YÖNETİMİ	3
2.1. Tıbbi Atıkların Kaynakları	4
2.2. Tıbbi Atıklardan Kaynaklanan Tehlikeler	7
2.2.1. Biyolojik Tehlikeler	7
2.2.2. Kimyasal Tehlikeler	9
2.2.3. Fiziksel Tehlikeler	10
2.3. Tıbbi Atık Yönetim Süreci	11
2.3.1. Atıkların Ayrıştırılması ve Toplanması	14
2.3.2. Tıbbi Atıkların Geçici Depolanması	15
2.3.3. Tıbbi Atıkların Taşınması	17
2.3.4 Tıbbi Atıkların Arıtımı ve Bertaraf Yöntemleri	18
2.3.4.1 Sterilizasyon	18
2.3.4.2 Mikrodalga Işınlama	20
2.3.4.3 Kimyasal Dezenfeksiyon	22
2.3.4.4 Enkapsülasyon	23

2.3.4.5 Yakma.....	23
3. COVID-19 PANDEMİSİNDE TIBBİ ATIK YÖNETİMİ	26
3.1. Türkiye'de Tıbbi Atığın Mevcut Durumu	26
3.2. Pandemi Döneminde Türkiye'nin Tıbbi Atık Yönetim Süreci ve Uygulamaları	27
4. KONUSYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	30
5. METODOLOJİ.....	36
5.1. SWOT Analizi	38
5.2. Alternatiflerin Belirlenmesi	42
5.3. Kriterlerin Belirlenmesi.....	44
5.4. Ağırlıklandırma Yöntemleri	45
5.4.1. CRITIC Yöntemi	46
5.4.2. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Yöntemi	47
5.5. Kullanılan Değerlendirme Yöntemleri.....	50
5.5.1. COPRAS Yöntemi	50
5.5.2. MULTIMOORA Yöntemi	52
5.5.2.1 MOORA Oran Metodu	53
5.5.2.2 MOORA Referans Nokta Yaklaşımı	53
5.5.2.3 MOORA Tam Çarpım Formu	54
6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	55
6.1. Kriter Ağırlıklandırma Sonuçları	55
6.1.1. CRITIC Yöntemi Sonuçları	55
6.1.2. AHP yöntemi sonuçları	56
6.2. Alternatiflerin Değerlendirme Sonuçları.....	57
6.2.1. AHP Yöntemi Sonuçları	57
6.2.2. COPRAS Yöntemi Sonuçları	58
6.2.3. MULTIMOORA Yöntemi Sonuçları.....	60
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	70
KAYNAKÇA.....	73
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Hastane atıklarının bölümlere göre içeriği (%).....	5
Tablo 2.2. Hastanelerde kullanılan tehlikeli kimyasal atık türleri	7
Tablo 2.3. Atık Yönetimi Yönetmeliği'ne göre tıbbi atık kodları ve tehlike durumu	13
Tablo 3.1. Tıbbi atık miktarının yıllara göre değişimi	26
Tablo 3.2. 2010-2020 yılları arasında tıbbi atıklara uygulanan işlemler	27
Tablo 5.1. SWOT analizi	38
Tablo 5.2. Kullanılan kriterler ve açıklamaları	44
Tablo 5.3. Alternatiflerin maliyetleri	44
Tablo 5.4. Krşlaştırma ölçeği.....	48
Tablo 5.5. Krşlaştırma matrislerinin boyutlarına göre RI değerleri.....	50
Tablo 6.1. Karar Matrisi.....	55
Tablo 6.2. CRITIC yöntemi için normalize karar matrisi.....	55
Tablo 6.3. İlişki katsayısı matrisi	56
Tablo 6.4. σ_j ve c_j değerleri	56
Tablo 6.5. w_j değerleri	56
Tablo 6.6. AHP'den elde edilen ağırlıklandırma sonuçları.....	57
Tablo 6.7. AHP sonuçları.....	57
Tablo 6.8. Normalize edilmiş karar matrisi	58
Tablo 6.9. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi.....	58
Tablo 6.10. CRITIC ağırlıklandırmasına göre S_j^+ , S_j^- , Q_i ve N_i Değerleri.....	59
Tablo 6.11. AHP çevreci yaklaşım ağırlıklandırmasına göre S_j^+ , S_j^- , Q_i ve N_i Değerleri	59
Tablo 6.12. AHP yatırımcı yaklaşım ağırlıklandırmasına göre S_j^+ , S_j^- , Q_i ve N_i Değerleri	60
Tablo 6.13. Normalize Edilmiş Karar Matrisi	60
Tablo 6.14. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi ve Oran Metodu.....	61
Tablo 6.15. Referans Noktaları	61
Tablo 6.16. Referans Noktası Matrisi	61

Tablo 6.17. Tam Çarpım Matrisi.....	62
Tablo 6.18. CRITIC ağırlıklandırma yöntemine göre MULTIMOORA Sonuç Tablosu.....	62
Tablo 6.19. Kriter Ağırlık Tablosu	63
Tablo 6.20. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi ve Oran Metodu.....	63
Tablo 6.21. Referans Noktaları	63
Tablo 6.22. Referans Noktası Matrisi	64
Tablo 6.23. Tam Çarpım Matrisi.....	64
Tablo 6.24. MULTIMOORA Sonuç Tablosu	65
Tablo 6.25. Kriter Ağırlık Tablosu	65
Tablo 6.26. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi ve Oran Metodu.....	65
Tablo 6.27. Referans Noktaları	66
Tablo 6.28. Referans Noktası Matrisi	66
Tablo 6.29. Tam Çarpım Matrisi.....	67
Tablo 6.30. MULTIMOORA Sonuç Tablosu	67
Tablo 6.31. Yöntemlere Göre Karşılaştırma Tablosu	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Tıbbi atıkların bileşimi	3
Şekil 2.2. Enfekte tıbbi atığın kaynakları	5
Şekil 2.3. Tıbbi atık çalışanlarını risk altında bırakan fiziksel tehlikeler	11
Şekil 2.4. Tıbbi atık yönetimi	14
Şekil 2.5. Türlerine göre tıbbi atık toplama kapları.....	15
Şekil 2.6. Tıbbi atık konteynırı ve geçici depo	17
Şekil 2.7. Tıbbi atık taşıma aracı, personel kıyafeti ve yardımcı malzemeler.....	18
Şekil 2.8. Vakum öncesi otoklavın basitleştirilmiş şeması	20
Şekil 2.9. Kesikli ve yarı sürekli mikrodalga teknolojilerinin basitleştirilmiş şeması.....	21
Şekil 2.10. Yakma fırınlarının basit akış şeması	24
Şekil 3.1. Pandemi döneminde çevreye yayılan tıbbi atıklar	28
Şekil 3.2. Bursa- Osmangazi belediyesinin pandemi döneminde üretilen tıbbi atıklara özel taşıma aracı	29
Şekil 3.3. Halkı bilgilendirmeye yönelik tıbbi atık önlemleri	29
Şekil 5.1. Tez çalışmasında kullanılan metodoloji	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process)
ANP	: Analitik Serim Süreci (Analytic Network Process)
AYİY	: Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik
AYY	: Atık Yönetimi Yönetmeliği
Bar	: Basınç
°C	: Santigrad Derece
CE	: Conformance Européenne (Avrupa'ya Uygunluk)
CH ₂ OCH ₂	: Etilen oksit
CI	: Tutarlılık İndeksi (Consistency Index)
cm	: Santimetre
CR	: Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio)
CRITIC	: Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriter Önemi (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation)
COPRAS	: Kompleks Oransal Değerlendirme (Complex Proportional Assessment)
ÇNKV	: Çok Nitelikli Karar Verme
COVID-19	: Koronavirüs
EGK	: Enerji Geri Kazanımı
ELECTREE	: Eleme ve Gerçeği İfade Eden Seçim (Elimination and Choice Translating Reality English)
EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
ESGY	: Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı
GZFT	: Güçlü, Zayıf, Fırsat ve Tehdit
HBV	: Hepatit B Virüsü
HCV	: Hepatit C Virüsü
HCHO	: Formaldehit
HDV	: Hepatit D Virüsü
HEPA	: Son Derece Verimli Partikül Filtresi (High Efficiency Particulate Airfilter)

HIV	: İnsan Bağışıklık Yetmezliği Virüsü (Human Immunodeficiency Virus)
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu (International Organization for Standardization)
İSHA	: İşlem Sonrası Hacimsel Azalma
kg	: Kilogram
kg/sa	: Kilogram/saat
kw	: Kilowatt
kwh ⁻¹	: Kilowatt/saat
m ³	: Metreküp
MCDA	: Çok Kriterli Karar Analizi (Multiple-Criteria Decision Analysis)
MCDM	: Çok Kriterli Karar Verme (Multiple-Criteria Decision Making)
MHz	: Megahertz
MULTIMOORA	: Oran Analizi ile Çok Amaçlı Optimizasyon (The Multi-Objective Optimization By Ratio Analysis)
NaOCl	: Sodyumhipoklorit
Pa	: Paskal
RI	: Rassal İndeks (Random Index)
TAKY	: Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
TOK	: Toplam Organik Karbon
TOPSIS	: İdeal Çözüme Benzerlikle Tercih Düzeni Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to İdeal Solutions)
tonh ⁻¹	: ton/saat
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
RI	: Rassal İndeks (Random Index)
SKHKK	: Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
SWOT	: Strenghts (Güçlü), Weaknesses (Zayıf), Opportunities (Fırsat), Threats (Tehdit)
VIKOR	: Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje)
YİM	: Yatırım ve İşletme Maliyeti
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Artan nüfus, toplumsal refah düzeylerinde artış, kentleşme, sanayileşme gibi etmenlere bağlı olarak insanların sağlık hizmeti talebinde artış olmuştur. Bununla birlikte, hastane gibi sağlık kuruluşlarının tıbbi atık miktarları da artmıştır (Aydemir, 2017). Laboratuvarlar, araştırma kuruluşları ve sağlık kuruluşlarının ürettiği atıklar ile diyaliz, enjeksiyon gibi işlemler nedeniyle evde üretilen tıbbi bakım uygulamalarının atıkları toplamda üretilen tıbbi atıkları meydana getirir. Tıbbi atık denildiğinde akla ilk olarak hastane, aile sağlığı merkezleri gibi sağlık kuruluşları gelse de bu kuruluşların ürettikleri yalnızca toplu ve birleşik tıbbi atıklardır. Evde üretilen veya diğer kuruluşlarca üretilen tıbbi atıklar ise dağınık ve küçük miktarlardadır. Yine de toplam tıbbi atık miktarı söz konusu olduğunda tüm ülkedeki az veya çok, toplu veya dağınık tüm atık üreticileri dikkate alınmalıdır (Tunagür vd., 2018). Sağlık kuruluşlarının ürettiği atıkların %85 kadarı tehlikesiz ve genel nitelikli atıklardır. Bu özellikteki atıklar evsel ve/veya kentsel atık yönetim sistemleriyle yok edilebilmekte veya dönüştürülebilmektedir. Ancak sağlık kuruluşlarının ürettiği atıkların %10 kadarı patolojik, kesici ve enfekte atıklardan meydana gelmektedir. Bu tür atıklar ise kentsel veya evsel atık sistemlerince bertaraf edilemeyen nitelik taşımaktadır. Sağlık kuruluşlarının geriye kalan %5 atık üretimi ise radyoaktif ve kimyasal niteliktedir (http-2, 2020).

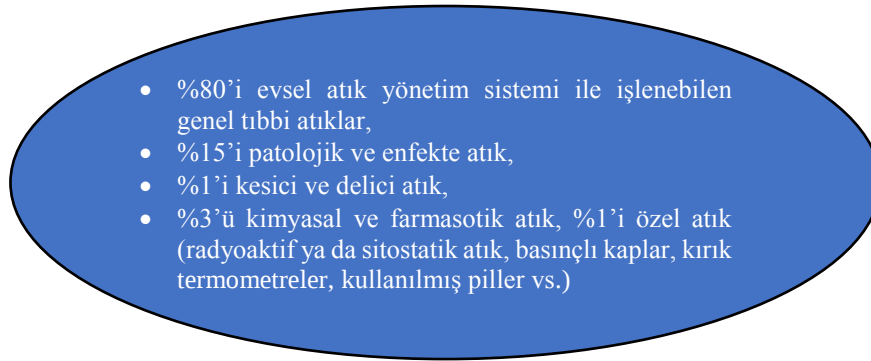
Sağlık hizmetleri doğası gereği özel teknoloji ve organizasyon yanında özel ekipman ve gereçlere ihtiyaç duyar. Verilen sağlık hizmetinin türü ve çeşitliliğine göre mekanlar, aletler, prosedürler değişir ve atık içeriği ve atık üretme kapasitesi de değişir. Tıbbi atıklar, verilen sağlık hizmetlerinin doğası gereği ortaya çıkan yan etkiler gibi değerlendirilebilir. Bu bağlamda tıbbi atıkların “ayrıştırılması, taşınması, depolanması, nihai olarak zararsız hale getirilmesi” süreçleri yani tıbbi atık yönetimi meydana gelir. Tıbbi atıklar, nitelikleri gereği özel yaklaşım ve yöntemlerle bertaraf edilmektedir (Yavuz, 2015). Anlaşıldığı üzere sağlık kuruluşlarının insan sağlığına yönelik amaçlarını gerçekleştirirken tehlikeli atıklar üretmesi kaçınılmazdır. Tıbbi atıklar ise insan sağlığı açısından son derece riskli ve tehlikelidir. Yaralanma ve yüksek enfeksiyon riski taşıyan bu atıklar, güvenli ve güvenilir bir dizi yöntemle yönetilmelidir. Uygun olmayan tıbbi atık bertaraf yöntemleri, insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etki ve sonuçlar yaratır. Bu bağlamda tıbbi atık yönetimi kritik önem taşır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Güvenli Tıbbi Atık Yönetimi Kılavuzu, 2013).

Tıbbi atıkların yaydığı tehlikeli ve taşıdığı yüksek risklere bağılı olarak çözümün odak noktasında tıbbi atık bertaraf yöntemleri ve dolayısıyla tıbbi atık yönetimi durmaktadır. Gelişen teknoloji, sağıık hizmetlerine olan ihtiyaç ve talebin yoğun biçimde artması tıbbi atık miktarını yükseltirken bertaraf yöntemleri ve tıbbi atık yönetimine de yeni çözüm önerileri getirmelidir. Bu bağlamda ise tıbbi atık yönetiminin etkinliğı ve işlevselliğı ne düzeydedir sorusu sorulmalıdır. Bu bağlamda bilimsel araştırmaların tıbbi atık yönetimine mercek tutarak bu sistemin etkililiğini, etkinliğini ve performansını ortaya koymaları gerekir. Tıbbi atık yönetimi ve bertaraf yöntemlerinin etkililik, etkinlik ve performans düzeylerinin belirlenmesi ise ilk etapta bu faktörlerin artı ve eksilerinin analiz edilmesini gerekli kılar. Tıbbi atık yönetiminin artı ve eksi yönleri nelerdir, kullandığı bertaraf yöntemlerinin olumlu ve olumsuz tarafları nelerdir, tıbbi atık yönetiminin kullandığı süreçler ve yöntemlerle yakaladığı fırsatlar ve yarattığı tehditler nelerdir? Tüm bu sorular cevaplandığında tıbbi atık yönetiminin mevcut durumu enine boyuna belirlenmiş olmakla birlikte davranış biçimleri, hizmet ettiği amaçlar, gerçekleştirdikleri ve gerçekleştiremedikleri açık biçimde ortaya konmuş olur.

Bu noktalardan hareketle bu çalışmanın amacı, tıbbi atık yönetimini SWOT analizine tabi tutarak artı ve eksi yönleri ile yarattığı fırsat ve tehditleri belirlemek ve bu bulgular üzerinden çok ölçütlü karar verme tekniklerini kullanarak mevcut yönetim süreçleri, prosedürler ve yöntemlere yönelik çözüm önerileri sunmaktır. SWOT analizinin tüm olumlu ve olumsuz yönler ile yaratılan fırsat ve tehditleri detaylarıyla ortaya koyan niteliğinden faydalanılarak mevcut tıbbi atık yönetiminin durumunun tespit edilmesi amaçlanmıştır. Durum tespiti yapıldıktan sonra ise çok ölçütlü karar verme teknikleri ile çözüm önerileri geliştirilmiştir.

2. TIBBİ ATIK YÖNETİMİ

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne (TAKY, 2017) göre atık: “Üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyaldir”. Bu yönetmelikte tıbbi atık ise “enfeksiyon yapıcı atıklar, patolojik atıklar ve kesici-delici atıklar” olmak üzere üç kapsamda tanımlanmıştır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tıbbi atıkları “kullanılmış iğneler ve şırıngalar ile kirli pansumanlar, vücut parçaları, teşhis örnekleri, kan ve kimyasallar, ilaçlar, tıbbi cihazlar ve radyoaktif materyaller dahil olmak üzere sağlık hizmetleri faaliyetleri tarafından üretilen atıklar” şeklinde tanımlamıştır ve “enfeksiyöz atık, patolojik atık, kesici delici atık, kimyasal atık, farmasötik atık, genotoksik atık, radyoaktif atık ve tehlikeli olmayan ya da genel atık” olmak üzere gruplamıştır (WHO, 2014). ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) “Hastaneler, doktor ofisleri, diş hekimliği uygulamaları, kan bankaları ve veteriner hastaneleri/klinikleri, tıbbi araştırma tesisleri ve laboratuvarları gibi sağlık tesislerinde üretilen atıkların bir kısmı” olarak nitelendirmiştir. Genel olarak tıbbi atıklar, kan, vücut sıvıları veya diğer potansiyel olarak enfeksiyöz maddeler tarafından kirletilebilecek sağlık atıklarıdır” şeklinde tıbbi atığı tanımlamıştır (http-3, 2021). WHO’nun gelişmiş ülkelerde yaptığı çalışmalar sonucu elde ettiği tıbbi atık bileşimi Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Tıbbi atıkların bileşimi (Ulutaş ve Dede, 2014)

Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde tıbbi atıklar, Bölüm 18'de (İnsan ve Hayvan Sağlığı ve/veya bu konulardaki Araştırmalardan Kaynaklanan Atıklar) listelenmiştir. Bu listede, kesici atıklar, vücut parçaları ve organlar, enfeksiyöz atıklar, tehlikeli kimyasallar ve ilaçlar ve amalgam atıkları yer almaktadır (AYY, 2015).

Hastanelerde yaygın olarak kullanılan tehlikeli kimyasallar; sıklıkla “halojenik ve halojenik olmayan kimyasallar, ağır metal içeren sulu çözeltiler, toksik ürün içeren

otoanalizör atıkları, asitler, bazlar ve fotoğrafik kimyasallar” olup, farklı işlem ve tedavilerde kullanılmaktadır. Bu kimyasallar insan ile temas ettiğinde çeşitli kalıcı olumsuz etkiler bıraktığı gibi ölümcül de olabilmektedirler. Bununla birlikte bahsi geçen kimyasallar doğa ve canlı yaşamı açısından da ölümcül tehlike taşımaktadırlar. Bu nedenle tehlikeli atık sınıfında yer alan tıbbi atıkların doğru biçimde toplanması, depolanması, taşınması ve bertaraf edilmesi oldukça önemlidir (Ulutaş ve Dede, 2014).

2.1. Tıbbi Atıkların Kaynakları

Tıbbi atıkları yoğun olarak üreten kaynaklar genellikle sağlık hizmeti veren kuruluşlardır. Bu kuruluşların ürettiği her atık ise kesinlikle tıbbi atık sınıfına girmemektedir. Sağlık kuruluşlarının genel atık profilini tehlikeli olmayan atıklar oluşturur ve bunlar da temizlik hizmetleri, idari birim, mutfak gibi birimler tarafından üretilir. Sağlık kuruluşları tarafından üretilen atıkların yalnızca %10-15 kadarı tehlikeli atık sınıfına girmektedir (Aktaş, 2014). Hastanelerde üretilen her tıbbi atık ölümcül düzeyde sağlık riski taşımamaktadır. Hastanelerin birimlerinin faaliyet ve işlevlerine göre ürettikleri tıbbi atıkların miktarları ve nitelikleri değişiklik gösterir. Örneğin kan ve kan ürünleri üreten laboratuvar gibi birimlerin tehdidi daha yüksek iken, bulaş riskini görece daha az barındıran birimlerin tıbbi atık riskleri daha düşüktür. Hastane atıklarının birimlere göre içeriği Tablo 2.1’de verilmiştir. Bu atıklar içerisinde en tehlikeli olanlar acil servis, yoğun bakım, ameliyathane, hasta servisi gibi birimlerde üretilen atıklardır. Enjeksiyon iğneleri, sargı bezleri gibi ürünlerin kullanılmış atıkları yüksek düzeyde bulaş riski taşımaktadır. Bu bağlamda tıbbi atık yönetim sürecinde özellikle hastanelerin bölümlerine göre tıbbi atık müdahalesinin olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Tıbbi atıkları oluşturan atıkların türlerine kısaca değinmek tıbbi atık yönetimini kritik etmek açısından önemli olacaktır.

Enfekte Atıklar: Enfeksiyon ve bulaş riski taşıyarak yeterli konsantrasyonda veya miktarda patojenler (bakteri, virüs, parazit veya mantar) içerdiğinden hastalığa neden olan atıklardır. Söz konusu atıklar; kan veya diğer vücut sıvıları ile kontamine olmuş atıkları, laboratuvar çalışmasından elde edilen bulaşıcı ajanların kültürleri ve stokları ile izolasyon koşullarında enfekte hastalardan kaynaklanan atıkları içermektedir (WHO, 2014). Enfeksiyon yapıcı atık TAKY’e göre ise, enfeksiyon yapıcı etkenleri taşıdığı bilinen veya taşınması muhtemel; başta kan ve kan ürünleri olmak üzere her türlü vücut sıvısı, insan dokuları, organları, anatomik parçaları, otopsi materyali, plasenta, fetus ve diğer patolojik materyali, bu tür materyal ile bulaşmış eldiven, örtü, çarşaf, bandaj, flaster, tamponlar,

eküvyon ve benzeri atıkları, karantina altındaki hastaların vücut çıkartılarını, bakteri ve virüs tutucu hava filtrelerini, enfeksiyon yapıcı ajanların laboratuvar kültürlerini ve kültür stoklarını, enfekte hayvanlara ve çıkartılarına temas etmiş her türlü malzemeyi, veterinerlik hizmetlerinden kaynaklanan atıkları ifade etmektedir (TAKY, 2017). Şekil 2.2’de bu atıkların üretildiği birimler ve bu atığı oluşturan malzemeler görülmektedir.

Tablo 2.1. Hastane atıklarının bölümlere göre içeriği (%) (Dündar, 2010)

Bölüm	Kağıt (%)	Plastik (%)	Patolojik (%)	Yiyecek (%)	Cam (%)	Metal (%)
Ameliyathane	60	30	10	-	-	-
Acil	60	35	5	-	-	-
Yoğun Bakım	60	35	5	-	-	-
Diyaliz	10	85	5	-	-	-
Laboratuvar	35	30	25	-	10	-
Eczane	50	30	-	-	20	-
Hemşire Odası	45	35	-	5	15	-
Hasta Servisi	60	35	-	5	-	-
Araştırma	40	-	30	-	-	20
Alet	-	90	-	-	-	10
Yazı İşleri	100	-	-	-	-	-
Kafeterya	20	20	-	30	-	-

- Laboratuvar kültürleri ve malzemeler.
- Kan ve kan ürünlerine bulaşmış olan her türlü ürün veya malzemeler.
- Bulaşıcı hastalığa yakalanmış olan hastaların her türlü kan, dışkı veya kullandıkları eşyalar.
- Diyaliz hastalarının, tedavi aşamasında meydana getirdikleri cihaz atıkları ile buna bağlı olarak cihazlarda kullanılan sarf malzemeler ve tedavi aşamasında kullanılan malzemeler.
- Hayvan laboratuvarları ya da veteriner kliniklerinde bulunan hayvanlara ait her türlü kan ve kan ürünlerine bulaşmış olan malzemeler ile hastalığı olan canlılara temas etmiş olan her

Şekil 2.2. Enfekte tıbbi atığın kaynakları (Gönüllü vd. 1996; WHO 2014)

Patolojik Atıklar: Patolojik atıklar, bulaşıcı hastalıkları olan hastalarda ameliyat ve otopsilerden kaynaklanan dokular, organlar, vücut parçaları, kan, vücut sıvıları ve diğer atıklardan oluşur. Aynı zamanda insan fetüslerini ve enfekte olmuş hayvan leşlerini de içerir. Patolojik atık, tıbbi bir prosedür sırasında çıkarılan veya tıbbi araştırma sırasında üretilen sağlıklı vücut parçalarını içerebilir (WHO, 2014). Patolojik atık TAKY’ e göre ise, cerrahi girişim, otopsi, anatomi veya patoloji çalışması sonucu ortaya çıkan dokuları, organları, vücut parçalarını, vücut sıvılarını ve fetüsü ifade etmektedir (TAKY, 2017).

Farmasötik ve Genotoksik Atıklar: Farmasötik atıklar, son kullanma tarihi geçmiş, kullanılmamış, dökülmüş ve kontamine olmuş farmasötik ürünleri, reçeteli ve tescilli ilaçları, aşıları ve artık gerekli olmayan ve kimyasal veya biyolojik yapıları nedeniyle dikkatli bir şekilde atılması gereken serumları içerir. Genotoksik atıklar ise, son derece tehlikelidir ve mutajenik, teratojenik veya kanserojen özelliklere sahip olabilir (WHO, 2014).

Kimyasal Atıklar: Katı, sıvı veya gaz şeklinde bulunabilen bu tıbbi atıklar, üretim veya üretim süreçleri dahilinde ortaya çıkar ve kullanılan ürünlerin atılan kısımlarından oluşur. Sağlık hizmetlerinden kaynaklanan kimyasal atıklar, zehirli, aşındırıcı, yanıcı, reaktif ya da oksitleyici özelliklerinden en az birine sahipse tehlikeli kabul edilir. Sağlık merkezlerinde ve hastanelerde en yaygın olarak kullanılan ve atıklarda bulunma olasılığı en yüksek olan tehlikeli kimyasal türlerinden biri formaldehittir (WHO 2014; Dündar 2010). Her türlü tuz ve şeker grubu gibi kimyasal özellikte atık olup tehlikeli olmayan kimyasal atıklar da mevcuttur. Kimyasal atık çerçevesinde olan tehlikeli atıklardan bazıları ise “aletlerin temizlenmesi ile cerrahi müdahalelerde kullanılan alet ve cihazların dezenfeksiyon işlemlerinde kullanılan birçok maddeler olup genel olarak hastanelerde hızlı dezenfeksiyon açısından kullanılması zorunlu olan malzemelerdir” (Aykut, 2014). Hastanelerde kullanılan tehlikeli kimyasal atık türleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Radyoaktif Atıklar: Radyoaktif atıklar, radyonüklidlerle kirlenmiş malzemeler olup organ görüntüleme ve tümör lokalizasyonu gibi işlemler ve çeşitli araştırma ve tedavi uygulamaları sonucunda üretilirler (WHO,2014).

Tehlikeli Olmayan veya Genel Atık: Herhangi bir biyolojik, kimyasal, radyoaktif veya fiziksel tehlike oluşturmeyen atıklardır. Sağlık tesislerinden çıkan atıkların önemli bir kısmı (yaklaşık % 85) tehlikesiz atıktır ve genellikle kentsel katı atık özellikleriyle benzer özellik göstermektedir. Hastanelerden kaynaklanan tehlikesiz atıkların yarısından

fazlası kağıt, karton ve plastik atıklar, geri kalanı ise gıda, metal, cam, tekstil ve ahşaptan oluşmaktadır (WHO, 2014).

Tablo 2.2. Hastanelerde kullanılan tehlikeli kimyasal atık türleri (Tenikler, 2007)

Formaldehitler	Fotografik Kimyasallar	Çözücüler	Organik Kimyasallar	İnorganik Kimyasallar
Bu kimyasallar sağlık kurumlarında kullanılan cihazlar ile cerrahi işlemler sonrasında steril olma özelliğini kaybetmiş olan aletlerin dezenfeksiyonunda kullanılmaktadır. Formaldehitlerin diğer bir kullanım alanı ise sıvı halde bulunan atıkların zararlı etkilerini ortadan kaldırılması amacıyla kullanılmasıdır.	Bu tür kimyasallar sağlık kuruluşlarının Radyoloji bölümlerinde kullanılmakta olup, X ışını ile işlem gören her türlü cihazlara ait atıkları içermektedir. Günümüzde teknolojik ilerlemeler neticesinde kuru sistem çalışan cihazlar kullanılmaya başlasa da halen sıvı formdaki kimyasalların kullanıldığı görülmektedir. Bu cihazlarda kullanılan diğer bir kimyasal ise asetik asitlerdir.	Çözücü grupları genel olarak hastanelerin patoloji laboratuvarlarında kullanılan kimyasal malzemeleri içermektedir. Bu tür malzemeler, dokular üzerinde yapılan işlemler sırasında kullanılmaktadır. Bunların çözücü gruplarına bakıldığında ise; kloroformlar, trikloretilenler, metilen klorikler ile aseton, metilen, tolüen gibi kimyasalları içermektedir.	Organik Kimyasallar sağlık kuruluşlarında yer ve yüzey temizliğinde kullanılan dezenfektan özellikli malzemelerdir. Fenol bazlı kimyasallar ile atölye ve çamaşırhanelerde kullanılan etilen bileşikleri bu grup içerisinde yer almaktadır.	İnorganik kimyasallar asit ve bazlardan oluşur. Bunlar sülfürik asitler, hidroklorik asitler, nitrik asitler, sodyum hidroksit ve amonyak çözeltilerinin bulunduğu kimyasal gruplarıdır.

2.2. Tıbbi Atıklardan Kaynaklanan Tehlikeler

Tıbbi atıklar insan sağlığı ve canlı yaşamını az veya çok tehdit eden uçucu/radyoaktif tehlikeli kimyasallar ile hastalık bulaş riski taşıyan mikroorganizmalar bulundurlar. Tıbbi atıklar diğer atıklardan ayrıştırılmadığı ve tıbbi atık yönetimi olması gerektiği gibi yapılmadığı takdirde bu atıklar, ölüme kadar varabilen büyük sağlık riskleri taşırlar. (Koçak vd., 2016). Tıbbi atıkların neden olabileceği tehlikeleri biyolojik, kimyasal ve fiziksel olarak sınıflandırmak mümkündür.

2.2.1. Biyolojik Tehlikeler

Tıbbi atıklar; hepatit B, hepatit C, bağışıklık eksikliği sendromu, tüberküloz, kızamık, akut gizemli zatürre, mantar, menenjit, şarbon, streptokok enfeksiyonları olmak üzere birçok hastalığa, göz enfeksiyonlarına, kansere, solunum sistemi rahatsızlıklarına

neden olur (Ertaş ve Güden, 2019). Tıbbi atıkların taşıdığı virüs ve bakteriler insan sağlığını olduğu kadar tüm canlı yaşamını ve ekosistemi de tehdit eder. Bu nedenle tıbbi atıkların biyolojik riskleri denildiğinde akla yalnızca insan sağlığına biyolojik yönden zarar veren tıbbi atık riskleri gelmemelidir (Tabasi ve Marthandan, 2013). Tıbbi atıklar kontrollü ve düzenli bertaraf edilmediğinde böcekler, kemirgenler, haşereler ve diğer hastalık vektörleri için üreme ortamı olur. Olması gerekenden fazla üreyen zararlı haşereler, böcekler ve kemirgenler hem insan sağlığını hem de ekosistem dengesini tehlikeye sokar. Bununla birlikte tıbbi atıkların depolanma alanları korunaklı olmazsa kediler, köpekler, vahşi hayvanlar ve zehirli sürünenlerin yaşam alanlarına dönüşmeye başlar. Tüm ekolojik bozukluk ve aksamalar iklimsel koşullarla birleştiğinde tüm canlı yaşamı olumsuz etkilenir ve riskin büyüklüğüne göre türlü tehditler ortaya çıkar. Ayrıca hala özellikle vahşi depolama sahalarından atık ayırımı yapan insanlar vardır ve bu kişilerin tıbbi atıkla teması mümkün olmakta ve türlü enfeksiyonlar, hastalıklar kapmaktadırlar. Üstelik tıbbi atıklardan bulaşan türlü bakteri, virüs ve enfeksiyonlar böbrek, dokular, sinir sistemi, karaciğer gibi çok ve çeşitli organ ve uzvu zararlı etkileyebilmektedir (Manyele ve Lyasenga, 2010). Tıbbi atıkların biyolojik açıdan sebep oldukları zararlı etkileri şöyle sınıflamak mümkündür (WHO, 2014):

- ✓ Solunum yolu semptomları ve hastalıkları,
- ✓ Kanser,
- ✓ Üremeye yönelik etkiler (özellikle doğumsal anomaliler).

İnsan sağlığını biyolojik açıdan tehdit eden tıbbi atık ajanları “kan ya da kanla bulaşmış vücut sıvıları ile temas, solunum/damlacık yolu ve mikroorganizma ile direkt temas” sonucu insan vücuduna bulaşmaktadır. Genel olarak yaralanma, doku bütünlüğünün bozulması sonucu bölgeye tıbbi atığın temas etmesi, kan veya vücut sıvılarının direkt açık dokuya nüfuz etmesi gibi direkt temaslarla tıbbi atıklardaki biyolojik etkiler insan vücuduna girmektedirler. Sağlık çalışanları işleri gereği sürekli farklı insanların kan ve vücut sıvılarıyla temas halindedirler (Turan vd., 2019). Özellikle hemşireler, hekimler, laboratuvar çalışanları, diş hekimleri, temizlik personeli ve yardımcı sağlık personeli tıbbi atıkların biyolojik tehlikeleriyle karşılaşma olasılığı yüksek olan gruptur. Kan yoluyla bulaş riski oldukça olumsuz ve yüksek etkilere sahiptir çünkü otuza yakın mikroorganizma kan yoluyla insan vücuduna girerek enfeksiyona neden olabilmektedir. HBV, HDV, HCV ve HIV en sık rastlanan tıbbi atıkların olumsuz biyolojik etkileridir (Ergin vd., 2017).

2.2.2. Kimyasal Tehlikeler

Tıbbi atıkların kimyasal nitelikte olan türleri solunum başta olmak üzere cilt teması ve sindirim yoluyla insan vücuduna girer. Serum setleri, enjektörler, ilaç şişeleri gibi tıbbi atıklardan temas veya solunum yoluyla insan vücuduna giren maddeler, toksik ve kanserojen etkiler meydana getirirler. Bu tür bir yolla insan vücuduna giren kimyasal tıbbi atıklar, kalıtsal yapı üzerinde ciddi hasarlara neden olabilir. Diğer yandan yanıcı, korozyif veya reaktif kimyasal atıkların yakılması göz, deri ve dokularda kalıcı hasarlara neden olabilmektedir (Güneş ve Ertürk, 2009).

Kimyasal tıbbi atıkların insan vücuduyla teması, solunması, reaktif açıdan maruz kalınması biyolojik ve fiziksel zararlardan farklı olarak mutasyon, genital bozukluklar, kısırlık, astım, nörolojik hastalıklar, hormonal kanserler gibi vücudun kimyasını bozan etkilere neden olmaktadır. Kimyasal risklere en çok sağlık personeli maruz kalmaktadır. Özellikle kanser tedavisiyle ilgilenen sağlık çalışanları radyasyon gibi etkilerin yanı sıra çeşitli kanser ilaçlarıyla temas etmektedirler. Bahsi geçen etkilere maruz kalan insanlarda deri döküntüsü, kısırlık, doğumsal anomaliler, lösemi ve çeşitli kanser türleri görülebilmektedir. Kimyasal riskler nedeniyle ortaya çıkan sağlık sorunları, kişinin bu kimyasal atığa ne derece maruz kaldığı ve atığın ne derece zehirli olduğuyla doğrudan ilintilidir. Sağlık çalışanları bu ilaçların olumsuz etkilerine “hava, çalışma ortamındaki yüzeyler, elbiseler, medikal cihazlar, hasta idrarı veya dışkısı vasıtasıyla” maruz kalmaktadır (Devebakan, 2007). Kimyasal tıbbi atıklar en çok bakteriler, virüsler ve mantarsal tehlikeler, radyasyon araçlarıyla insan sağlığını tehdit etmektedirler. Sağlık kurumları sıklıkla ve yoğun biçimde alkol, etilen oksit, izopropil sodyum hipoklorür, gluteraldehit vb. kullanmaktadırlar. Bu maddeler kimyasal tıbbi atıkları meydana getirmektedir. Kimyasal tıbbi atıkların neden olduğu sağlık sorunları şöyle sıralanabilir (Sarıtaç, 2014):

- ✓ Santral, periferik veya otonomik sinir sistemindeki hasarlar
- ✓ Zayıflamış distal kas refleksleri
- ✓ Damar sklerozu şeklinde beyin, kalp ve böbrek kanlanmasını etkileyen
- ✓ Damar hasarları
- ✓ Psikozlar
- ✓ Depresif türde olan ruh hali değişimleri
- ✓ Emosyonel değişkenlik
- ✓ Sürekli kilo kaybı

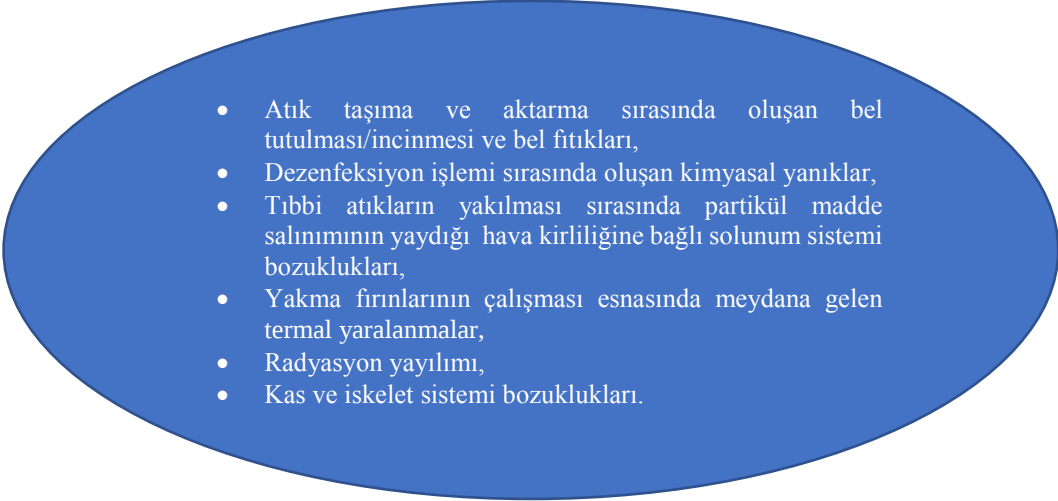
- ✓ Devamlı iştah kaybı
- ✓ Erken göz bozulmaları
- ✓ Nörit
- ✓ Parkinson gibi meslek hastalıkları görülmektedir.

Görüldüğü gibi tıbbi atıkların kimyasal anlamda yaydığı tehlike ve taşıdığı riskler insan sağlığı açısından oldukça zararlıdır. Gerek insan sağlığı gerek canlı yaşamı ve gerekse ekolojik denge açısından tıbbi atıkların kimyasal etkileri dikkatle takip edilmeli, mümkün olan en az tehlikede kimyasalların sağlık kuruluşlarında kullanılmasına özen gösterilmeli ve gerekli işlevlerde kullanılmak üzere daha zararsız kimyasalların bulunması için araştırma çalışmalarına önem verilmelidir.

2.2.3. Fiziksel Tehlikeler

Tıbbi atıkların fiziksel tehlikeleri genellikle tıbbi atık personeli için söz konusudur. Tıbbi atıkların geçici depolanması, taşınması ve bertaraf edilmesi aşamalarından herhangi birinde görev alan personeller yüksek risk altındadır. Tıbbi atık öncelikli olarak temas olasılığı en çok grup olan sağlık çalışanları ve tıbbi atık süreçlerinde yer alan çalışanları tehdit etmektedir. Sağlık personeli ve tıbbi atık çalışanları dışında kamudan bir insan açısından tıbbi atığın fiziksel tehlikeleri herhangi bir biçimde temas halinde kesici-delici maddelerin fiziksel yaralaması ile gerçekleşir. Bu gibi durumlarda insan sağlığını tehdit eden unsur ise fiziksel yaralanmadan kaynaklı değil, fiziksel yaralanma sonucu insan vücuduna karışabilecek maddelerin biyolojik, kimyasal bir risk oluşturmasından kaynaklanır. Örneğin tıbbi atığa bir biçimde temas eden bir insan yanlışlıkla enjeksiyon iğnesinin üstüne basabilir. Bu temas sonucu fiziksel olarak yaralanma düzeyi oldukça düşüktür. Ancak temas ettiği enjeksiyon iğnesi bir hastanın kanıyla temas etmiştir ve bakteri, virüs, enfeksiyon taşıma olasılığı yüksektir. Böyle bir durumda iğneye fiziksel olarak temas eden insanın fiziksel yaralanması düşük olur fakat biyolojik açıdan büyük bir zararla karşılaşabilir (Yazgan vd., 2014).

Tıbbi atıkla ilgili çalışanları risk altında bırakan fiziksel tehlikeler Şekil 2.3'te verilmiştir. En yüksekten en düşüğe doğru tıbbi atıkların fiziksel tehlikelerinden etkilenme riski bulunan gruplar şöyledir: doktor ve hemşireler başta olmak üzere tüm hastane personeli, herhangi bir sağlık kuruluşunda ya da evde tedavi gören hastalar/ziyaretçileri, çamaşırhane, atık toplama ve taşıma gibi sağlık kuruluşlarının destek birimlerinde çalışanlar, atık sterilizasyon/bertaraf tesislerindeki çalışanlar, atık toplayıcıları, sokak hayvanları (Durmuşcan, 2019).

- 
- Atık taşıma ve aktarma sırasında oluşan bel tutulması/incinmesi ve bel fıtıkları,
 - Dezenfeksiyon işlemi sırasında oluşan kimyasal yanıklar,
 - Tıbbi atıkların yakılması sırasında partikül madde salınımının yaydığı hava kirliliğine bağlı solunum sistemi bozuklukları,
 - Yakma fırınlarının çalışması esnasında meydana gelen termal yaralanmalar,
 - Radyasyon yayılımı,
 - Kas ve iskelet sistemi bozuklukları.

Şekil 2.3. Tıbbi atık çalışanlarını risk altında bırakan fiziksel tehlikeler (Gündüzalp ve Güven, 2016)

2.3. Tıbbi Atık Yönetim Süreci

Tıbbi atıkların ilk defa sınıflandırılması, Resources Conservation and Recovery Act (Kaynak Muhafaza ve Geri Dönüşüm Yasası) ile 1976 yılında gerçekleşmiştir. Tıbbi atıkların niteliklerine göre sınıflandırılması oldukça önemlidir çünkü bu sınıflamaya bağlı olarak tıbbi atıkların bertarafı ya da geri dönüşümüne karar verilmektedir. Bu düzenleme tıbbi atık yönetimi için yalnızca ilk adım niteliği taşır çünkü bu yasayla yapılan sınıflama oldukça yetersiz kalmıştır. Bu yasanın önemi tıbbi atıkların sınıflandırılması fikrini ortaya atmış olmasıdır. Bu yasanın ardından 23 Mayıs 1988 tarihinde New Jersey’de, 6-7 Temmuz 1988 tarihinde ise Long Island’da sahilde enjektör ve ilaç şişeleri bulunmuş ve bu durum tüm Amerika’da sarsıcı etkiler yaratmıştır. Böylece tıbbi atık yönetimine ilişkin mevzuatlar oluşmaya başlamış ve 1988’de Tıbbi Atık İzleme Yasası çıkarılmıştır. Ardından 22 Haziran 1989’da “EPA Kuralları” uygulamaya konulmuş ve gerek ABD gerekse dünya için tıbbi atık yönetiminin mevzuatına yönelik önemli gelişmeler kaydedilmiştir.

Türkiye’de tıbbi atıkların yönetimi konusunda ilk yasal düzenlemeler 11.08.1983 tarih ve 2872 sayılı Çevre Kanunu ve bu kanuna istinaden yayımlanan 20.05.1993 tarih ve 21586 sayılı Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY) ile başlamıştır. Sonrasında ise bu yasal düzenlemeler, 2007-2015 Avrupa Birliği Uyum Süreci kapsamında bir dizi eklerle donatılmıştır. Tıbbi atık yönetiminin uluslararası mevzuat ile uyumlu hale gelmesi Türkiye’de tıbbi atık süreçlerinin kolay ilerlemesini sağlamıştır. Sonrasında 25.01.2017 tarih ve 29959 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren TAKY ile mevzuat hükümleri Atık Çerçeve Direktifine uygun olacak şekilde yeniden düzenlenmiştir.

Tıbbi atık yönetimi, atıkların kaynağında ayrıştırılması, toplanması, geçici depolara aktarılması, geri kazandırılması veya bertaraf edilmesi ve bu süreçlerin kontrolü ile çevre sağlığının korunması süreçlerini kapsayan bir işlemler bütünüdür (Topan, 2017). Atık yönetimi, mevcut kaynaklardan mümkün olan en yüksek verimlilikle faydalanılmasını ve atık miktarının en aza indirilmesini sağlar. Tıbbi atık yönetimi de benzer biçimde sağlık hizmetleri işlerinde kullanılması zorunlu olan zararlı atık üreten maddelerin en az miktarda kullanılmasını, mevcut tıbbi atıkların doğa ve insan yaşamına zarar vermesini engellemeyi amaçlar. Tıbbi atıklar diğer atıklara nazaran çok fazla tehlike barındırır ve tıbbi atık yönetimi zorunlu bir yönetsel süreçtir (Eskitürk, 2002).

Türkiye'de tıbbi atık yönetimini düzenleyen temel mevzuat “Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” hükümleridir. Yönetmeliğe göre tıbbi atık yönetimi şu genel ilkelere tabidir:

- ✓ Tıbbi atıkların çevreye ve insan sağlığına zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı olarak alıcı ortama verilmesi yasaktır.
- ✓ Tıbbi atıkların, tehlikeli, tehlikesiz, belediye veya ambalaj atıkları gibi diğer atıklar ile karıştırılmaması esastır.
- ✓ Tıbbi atıkların, kaynağında diğer atıklardan ayrı olarak toplanması, geçici depolanması, taşınması ve bertarafı esastır.
- ✓ Tıbbi atıkların yönetiminden sorumlu kişi, kurum/kuruluşlar, bu atıkların çevre ve insan sağlığına olabilecek zararlı etkilerinin azaltılması için gerekli tedbirleri almakla yükümlüdürler.
- ✓ Sağlık kuruluşları, atıklarının toplanması, taşınması, sterilizasyonu ve bertarafı için gerekli harcamaları karşılamakla yükümlüdür.
- ✓ Sağlık kuruluşları ile bu atıkların toplanması, taşınması ve bertarafından sorumlu belediyelerin ya da belediyelerin yetkilerini devrettiği firmaların, tıbbi atık yönetimi faaliyetlerini yerine getiren ilgili personelini periyodik olarak eğitimden ve sağlık kontrolünden geçirmesi ve tıbbi atık yönetimi kapsamındaki faaliyetlerin bu personel tarafından yapılması esastır.
- ✓ Tıbbi atıkların oluştukları yere en yakın ve en uygun tıbbi atık işleme tesisinde uygun yöntem ve teknolojiler kullanılarak işlenmesi esastır.

TAKY; “tıbbi atıklar ile bu atıkların kaynağında ayrı toplanması, geçici depolanması, taşınması ve bertaraf edilmesine” ilişkin temel esasları ve süreçleri düzenlemektedir. Bu yönetmeliğe göre kaynağında ayrıştırma ve geçici depolama atık

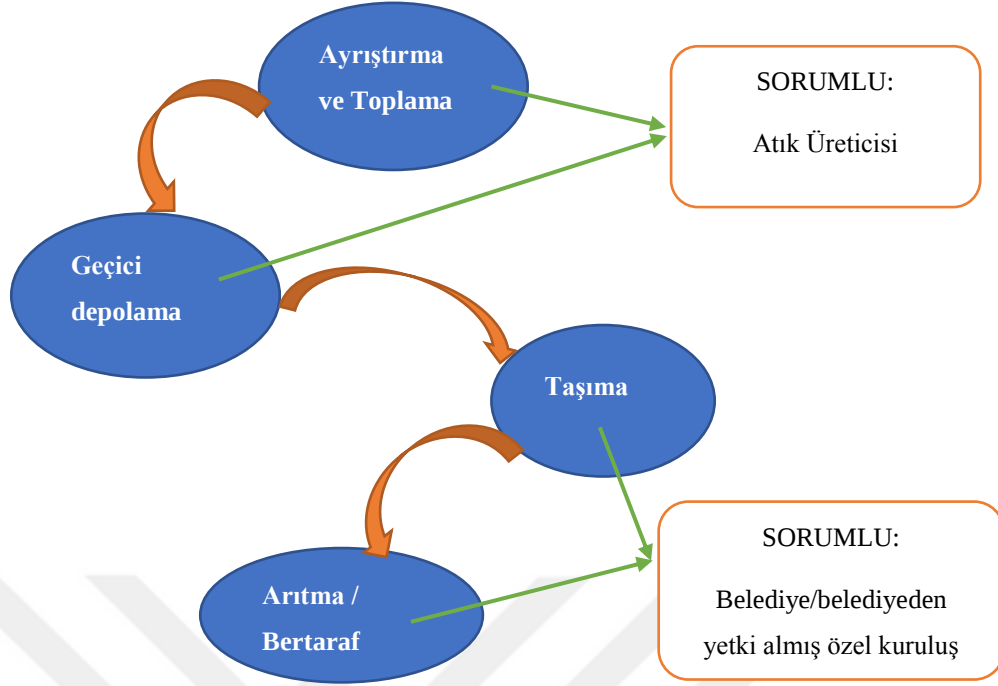
üreten kurumların sorumluluğudur. Tıbbi atıkların geçici atık depolarından alınarak toplanması, taşınması, arıtımı ve bertaraf işlemlerinde ise belediyeler yetkili ve sorumludur. Tıbbi atıklar, Atık Yönetimi Yönetmeliği'ne göre Tablo 2.3'deki şekilde sınıflandırılmaktadır.

Tablo 2.3. Atık Yönetimi Yönetmeliği'ne göre tıbbi atık kodları ve tehlike durumu

Atık Kodu	Atık Açıklaması	Tehlike Durumu*
1801	<i>İnsanlarda Doğum, Teşhis, Tedavi ya da Hastalık Önleme Çalışmalarından Kaynaklanan Atıklar</i>	
18 01 01	Kesiciler (18 01 03 hariç)	
18 01 02	Kan torbaları ve kan yedekleri dahil vücut parçaları ve organları (18 01 03 hariç)	
18 01 03	Enfeksiyonu önlemek amacı ile toplanmaları ve bertarafı özel işleme tabi olan atıklar	A
18 01 04	Enfeksiyonu önlemek amacı ile toplanmaları ve bertarafı özel işleme tabi olmayan atıklar (örneğin sargılar, vücut alçıları, tek kullanımlık giysiler, alt bezleri)	
18 01 06	Tehlikeli maddeler içeren ya da tehlikeli maddelerden oluşan kimyasallar	M
18 01 07	18 01 06 dışındaki kimyasallar	
18 01 08*	Sitotoksik ve sitostatik ilaçlar	A
18 01 09	18 01 08 dışındaki ilaçlar	
18 01 10*	Diş tedavisinden kaynaklanan amalgam atıkları	A
1802	<i>Hayvanlarla İlgili Araştırma, Teşhis, Tedavi ya da Hastalık Önleme Çalışmalarından Kaynaklanan Atıklar</i>	
18 02 01	Kesiciler (18 02 02 hariç)	
18 02 02	Enfeksiyonu önlemek amacı ile toplanmaları ve bertarafı özel işleme tabi olan atıklar	A
18 02 03	Enfeksiyonu önlemek amacı ile toplanmaları ve bertarafı özel işleme tabi olmayan atıklar	
18 02 05	Tehlikeli maddeler içeren ya da tehlikeli maddelerden oluşan kimyasallar	M
18 01 07	18 01 06 dışındaki kimyasallar	
18 01 08*	Sitotoksik ve sitostatik ilaçlar	A

*A: Kesinlikle tehlikeli atık; M: Muallaklı atık

Türkiye'de tıbbi atık yönetim sürecinin ilk adımı TAKY kapsamında düzenlendiği gibi atıkların kaynağında ayrıştırılması ve geçici depolanmasıdır. Yönetmelik, tıbbi atıkları ayrıştırma ve toplama aracı gelene kadar geçici depolama işlevini tıbbi atığı üreten kuruluşlara vermiştir (TAKY, 2017). Şekil 2.4'te TAKY (2017) tarafından ön görülen tıbbi atık yönetim adımları görülmektedir. Ayrıştırma ve toplama, geçici depolama, taşıma ve arıtım/bertaraf etme olmak üzere dört adımdan oluşmaktadır.



Şekil 2.4. Tıbbi atık yönetimi (Tıbbi Atık Kontrolü Yönetmeliği'nden uyarlanmıştır, 2017)

2.3.1. Atıkların Ayrıştırılması ve Toplanması

Tıbbi atıkların üretildikleri kaynaklarda detaylı biçimde nasıl toplanması ve ayrıştırılması gerektiği TAKY kapsamında açıklanmıştır. TAKY 10. Madde kapsamında; tıbbi malzemeye erişimi olan ve kullanan tüm personel (doktor, hemşire, ebe, laborant vb.) tıbbi atığı diğer atıklara karıştırmadan ayrı olarak biriktirir. Bu esnada kullanılan toplama ekipmanı ise atığın niteliğine uygun seçilmeli ve atık üretilen noktaya yakın bir konumda bulunmalıdır. Hiçbir gerekçeyle dayanılarak tıbbi atıklar diğer atıklarla (belediye atıkları, ambalaj atıkları, tehlikeli atıklar vb.) karıştırılmazlar. Tıbbi atık toplama işlemi sırasında kullanılan ambalajlar Şekil 2.5'te verilmiştir.



Patalojik Tıbbi Atık Kabı	
Kesici-Delici Atık Kovası	

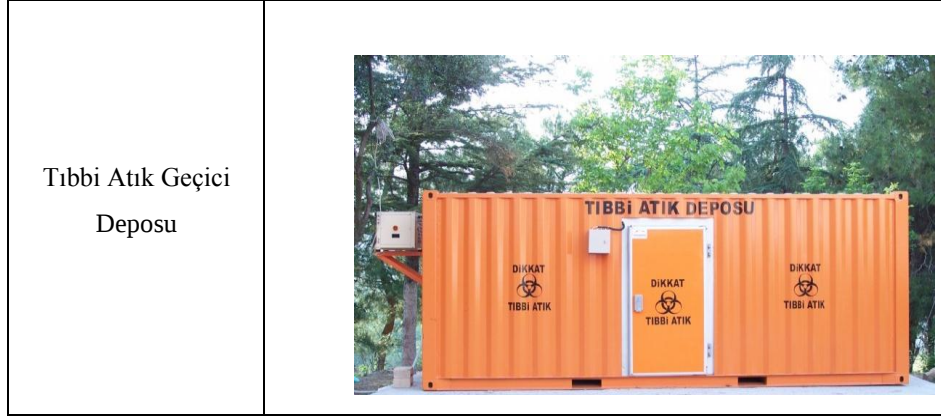
Şekil 2.5. Türlerine göre tıbbi atık toplama kapları (TAKY, 2017)

2.3.2. Tıbbi Atıkların Geçici Depolanması

Tıbbi atıkların üretildikleri kaynaklarda TAKY kapsamında belirlenen toplama kapları ile atığı üreten kuruluşlarca toplanan tıbbi atıklar, geçici depolama alanlarına nakledilirler. TAKY 12, 13 ve 14. maddeler doğrultusunda, sağlık kuruluşunda geçici depolanacak tıbbi atıklar, 48 saatten fazla olmamak üzere tıbbi atık geçici deposu veya konteynerinde bekletilebilir. Tıbbi atık geçici deposu içindeki sıcaklığın +4°C olması ve kapasitenin uygun olması koşuluyla bekleme süresi bir haftaya kadar uzatılabilir. Günlük 50 kg'den fazla tıbbi atık üretilmesi durumunda tıbbi atık geçici deposu tesis edilir, 50 kg'ye kadar tıbbi atık üretilmesi durumunda tıbbi atık konteyneri bulundurulur. Tıbbi atık geçici depoları; en az iki günlük atığı alabilecek hacimde, sağlam ve geçirimsiz olmalı, dezenfeksiyonu kolay bir malzeme ile kaplanmalı ve yeterli aydınlatma ekipmanına sahip olmalıdır. Deponun kapısı turuncu renkli ve daima temiz olmalı, üzerinde görülebilecek şekilde ve siyah renkli “Uluslararası Biyotehlike” amblemi ile siyah renkli “DİKKAT! TIBBİ ATIK” ibaresi bulunmalıdır. Depo, yoğun insan ve hasta trafiğinin olduğu yerler ile gıda depolama, hazırlama ve satış yerlerinin yakınlıklarına kurulmamalı, kapısı daima kapalı ve kilitli tutulmalı ve tıbbi atıkların geçici depolanması dışında başka maksatla kullanılmamalıdır. Tıbbi atık konteyneri ise; hacmi en az 0.8 m³, paslanmaz metal, plastik veya benzeri malzemeden yapılmış, tekerlekli, kapaklı, kapakları kilitlenebilir olmalı, keskin kenarlar ve dik köşeler içermemeli, dış yüzeyleri

turuncu renkli olmalıdır. Üzerlerinde görülebilecek büyüklükte ve siyah renkli “Uluslararası Biyotehlike” amblemi ile siyah renkli “DİKKAT! TIBBİ ATIK” ibaresi bulunmalı ve en az iki günlük tıbbi atığını alabilecek sayıda olmalıdır. Doğrudan güneş almayan, yoğun insan ve hasta trafiğinin olduğu yerler ile gıda depolama, hazırlama ve satış yerlerinden uzağa yerleştirilmeli ve tıbbi atıkların geçici depolanması dışında başka maksatla kullanılmamalıdır (TAKY,2017). Kullanılan konteyner ve depo görselleri Şekil 2.6’da verilmiştir.

Tıbbi Atık Konteyneri	
Tıbbi Atık Konteyneri	



Şekil 2.6. *Tıbbi atık konteynırı ve geçici depo (TAKY, 2017)*

2.3.3. Tıbbi Atıkların Taşınması

Tıbbi atıkları taşıyan araçların nitelik ve donanımları kadar görsel açıdan da yönetmeliğe uygun olması gerekir. TAKY'nin 15'inci maddesi doğrultusunda, tıbbi atıkların güvenli bir şekilde, etrafa yayılmadan ve sızıntı suları akıtılmadan tıbbi atık işleme tesisine taşınması zorunlu olup, tıbbi atıkların taşınmasında aktarma istasyonları kullanılmamalıdır. Tıbbi atık taşıma araçlarının dış yüzeylerinin turuncu renkli olması, sağ, sol ve arka yüzeylerinde görülebilecek uygun büyüklükte ve siyah renkli “Uluslararası Biyotehlike” amblemi ile siyah renkli “DİKKAT! TIBBİ ATIK” ibaresinin bulunması zorunludur. Bununla birlikte taşıma araçları tıbbi atıkların boşaltılmasını müteakip temizlenir ve dezenfekte edilir. Tıbbi atıkların toplanması ve taşınması için kullanılan araçlar başka işlerde veya diğer atıkların taşınmasında kullanılamaz. Tıbbi atıkların konulduğu torbaların patlaması veya başka bir nedenle etrafa yayılması durumunda ortamın derhal temizlenmesi ve dezenfekte edilmesi zorunlu olup tıbbi atıkların taşınması ve toplanması özel ekipmanla yapılmalıdır (TAKY, 2017). Tıbbi atık taşıma aracı örneği ve kişisel donanımlar Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Tıbbi atık taşıma aracı, personel kıyafeti ve yardımcı malzemeler (TAKY, 2017)

2.3.4 Tıbbi Atıkların Arıtımı ve Bertaraf Yöntemleri

Tıbbi atık yönetiminin ulaşmaya çalıştığı en nihai amaç tıbbi atığın insana, doğaya ve çevreye zarar vermeden en az maliyetle yok edilmesidir. Bu noktada tıbbi atığı an aza indirme eğilimi benimsenmiş olsa da, mevcut durumda tıbbi atıkların ciddi miktarda olduğu ve bunların zararsız hale getirilmesi gerektiği açıktır. Bu bölümde, tıbbi atıkların arıtımı ve bertarafı için kullanılan yöntemlere yer verilmiştir.

2.3.4.1 Sterilizasyon

Sterilizasyon; buhar, basınç ve/veya sıcaklık kullanılarak enfekte halde bulunan atıkların zararsız hale getirilmesi işlemidir (Doğanyigit, 2020). Bakteri sporları dâhil her türlü mikrobiyal yaşamın fiziksel, kimyasal, mekanik metotlar veya radyasyon yoluyla tamamen yok edilmesini veya bu mikroorganizmaların seviyesinin en az % 99,9999 oranında azaltılmasını ifade eder (TAKY, 2017).

Tıbbi atıkların önemli bir kısmı kesici, delici ve enfekte atıklardan oluşmaktadır. Sterilizasyon yöntemi özellikle bu tıbbi atıkların sterilize edilerek zararsız hale getirilmesi konusunda çok işlevsel bir yöntemdir. Sterilizasyon yöntemi, tam olarak tıbbi atık imha veya bertaraf etme yöntemi değildir. Çünkü sterilizasyon yönteminde kesici, delici,

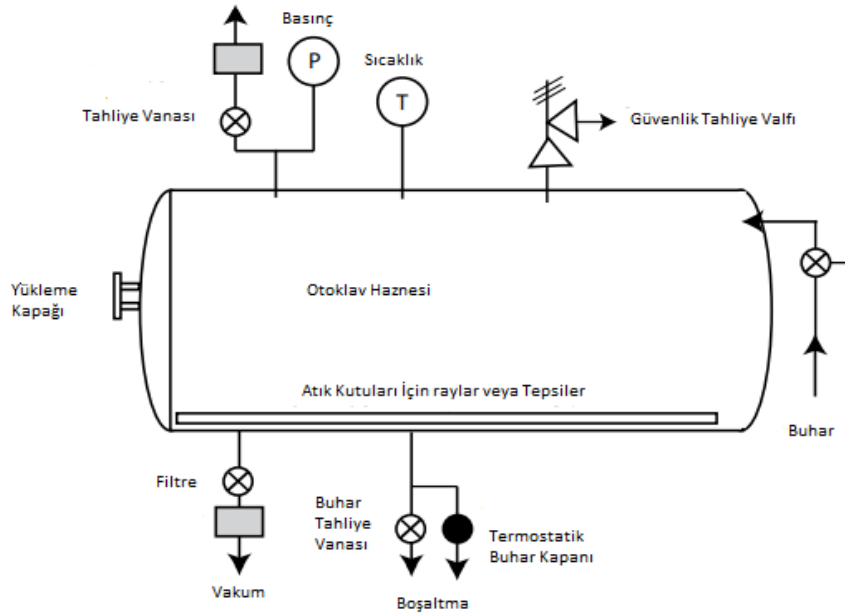
enfekte tıbbi atıklar toplanır, ayrıştırılır, tıbbi atık yönetimindeki tüm aşamalardan geçerek sterilizasyon merkezine gelirler. Buhar, basınç, ısı gibi yöntemlerle sterilizasyona tabi tutulurlar. Sterilizasyon işlemi tıbbi atığı değil tıbbi atığın canlı yaşamı ve sağlığı açısından taşıdığı riskleri ortadan kaldırır. Sterilizasyon işlemine tabi tutulan tıbbi atıklar “tehlikeli atık” olma niteliğinden çıkarak evsel atığa dönüşürler. Böylece sterilizasyona tabi tutulan tıbbi atıklar evsel atıklarla birlikte depolanabilir ve imha edilebilir hale getirilmektedir (Zeren, 2004).

Sterilizasyon yöntemi, tıbbi atık yükünü önemli ölçüde azaltması bakımından işlevsel bir yöntemdir. Ancak yüksek düzeyde ısı, basınç ve buhar kullanılması sebebiyle tesislerin çok dikkatli çalıştırılması gerekmektedir. Bu tesislerin, CE, ISO gibi standartlara tabi tutularak mekanik güvenlikleri sağlanmaktadır. Mekanik güvenliğe önemli bir ek olarak ise bu tesislerde atık parçalama sistemi ve geçici atık deposu bulundurma zorunluğu mevcuttur (Günay ve Dursun, 2020). Parçalama ünitesi sterilizasyon bölümünün sonunda veya önünde yer alır. Atık parçalama ünitesinin sterilizasyon ünitesinden önce kullanılması durumunda, işlem sonunda bu ünite de sterilizasyon işlemine tabi tutulur. Sterilizasyondan önce vakumlama işleminden kaynaklı gazlar hepafiltre veya benzeri bir sistemden geçirilmeden atmosfere salınamaz. Sterilizasyon işlemi sırasında ve sonrasında hava ve su ortamında hiçbir kontaminasyon ve toksisite olmayacak şekilde tedbir alınır, atık su ve gazların ilgili mevzuat çerçevesinde deşarjı sağlanır (TAKY, 2017).

Sterilizasyonda kullanılan otoklavlar, kuru ısı veya buhar ilavesiyle enfeksiyöz atıkların işlendiği sistemlerdir. Sistemler genellikle 121-163°C arasındaki sıcaklıklarda çalışır. Bir otoklavın içindeki basınç minimum 121°C'de 2-5 bar arasında olup, otoklav çok küçük ve basit olabileceği gibi büyük ve karmaşık, tek çeperli veya çift çeperli, tek kapılı veya çift kapılı, buhar jeneratörlü ve ön vakumlu olabilmektedir. Tıbbi atık sterilizasyonunda kullanılan otoklavlar kapasite olarak 50 kg/saat ile 3000 kg/saat arasında değişebilmektedir. Operatörlerin hızlı eğitilmesi kullanımını kolaylaştırmakta, sistem maliyetlerinin düşük olması, montajının kolay olması ekonomik hale getirmekte, proseslerin tam otomatik olması ve atık parçalama ve sterilizasyon işlemlerinin kapalı sistemde gerçekleşmesi güvenli olmasını, tehlikeli emisyonların ve radyasyon tehlikesinin olmaması çevre ile dost teknoloji olmasını sağlamakta olup, bu hususlar buhar ile sterilizasyon işleminin tıbbi atık bertarafında tercih edilmesine neden olmuştur (Delioğlu, 2019). Otoklavlar genellikle; kesici ve delici atık, kültürler, kanla kontamine

olmuş maddeler, cerrahiden ve izolasyon servislerinden kalıntılar, bandajlar, gazlı bez, önlük ve diğer malzemeler ile kimyasal olmayan laboratuvar atıklarını işlemek için kullanılır (Diaz vd., 2005).

Otoklav genelde çelikten yapılan metal bir kaptır. Kap hermetik olarak menteşeli bir kapı (contalı) ile kapatılmıştır ve yüksek sıcaklıklara ve basınçlara dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Buhar ceketini tekneyi çevreler. Buhar ceketini, kabın iç duvarındaki yoğunlaşma miktarını azaltmak ve böylece ısı kaybını azaltmak için tasarıma dahil edilmiştir. Bir otoklavın tipik bir çalışması sırasında, dezenfekte edilecek malzeme üniteye yüklenir ve hava boşaltılır. Hava yalıtım özellikleri nedeniyle kabın iç kısmından uzaklaştırılır. Hava genellikle döngünün başında bir vakum pompası kullanılarak ve buhar enjeksiyonundan önce veya havanın buhardan daha yoğun olmasına güvenerek otoklavdan çıkarılır. Kabın altındaki hava, bir tahliye portu vasıtasıyla çıkarılır (Diaz vd., 2005). Vakum öncesi otoklavın basitleştirilmiş şeması Şekil 2.8’de verilmiştir.



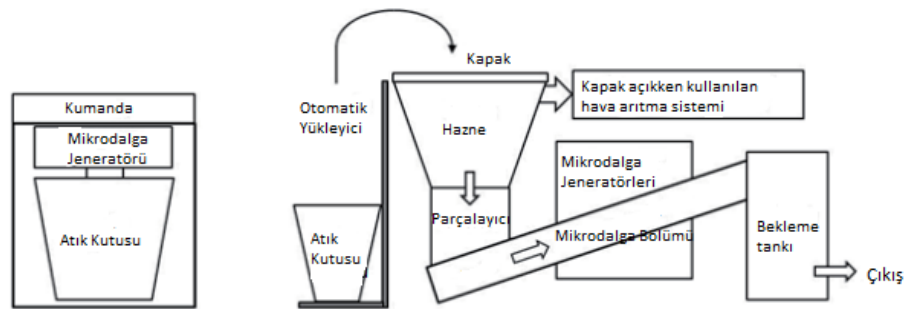
Şekil 2.8. Vakum öncesi otoklavın basitleştirilmiş şeması (WHO,2014)

2.3.4.2 Mikrodalga Işınlama

Ana olarak sterilizasyon yöntemine dayanan mikrodalga ışınlama yöntemi, modern teknolojinin getirdiği yeniliklerle ortaya çıkmış bir tıbbi atık işleme yöntemidir. Mikrodalga teknolojisi, mikrodalga enerjisi ile üretilen nemli ısı ve buharın etkisiyle gerçekleştiği buhar bazlı bir işlemdir. Atıkta bulunan su, mikrodalga enerjisi ile yaklaşık 2450 MHz frekansında ve 12.24 cm dalga boyunda hızla ısıtılır. Mikrodalga işleme sistemleri, mikrodalga enerjisinin mikrodalgaya yönlendirildiği işlem alanı veya

odasından oluşur. Genellikle, her biri yaklaşık 1,2 kW çıkışlı 2 ila 6 magnetron kullanılır. Tipik bir yarı sürekli mikrodalga sistemi, otomatik şarj sistemi, huni, parçalayıcı, konveyör vidası, buhar jeneratörü, mikrodalga jeneratörleri, tahliye vidası, ikincil parçalayıcı ve kumandalardan oluşur. Atık partiküller konveyör vidası vasıtasıyla taşınır ve burada ayrıca buhara maruz bırakılır. Dört veya altı mikrodalga jeneratörü ile 100 °C'ye ısıtılır. Bazı sistemlerde, minimum maruz kalma süresini elde etmek için bekleme tank bölümü bulunur. Büyük ölçekli, yarı sürekli bir mikrodalga ünitesi saatte yaklaşık 250 kg (yılda 3000 ton) işleme kapasitesine sahiptir. Uçucu ve yarı uçucu organik bileşikler, kanser tedavisinde kullanılan atıklar, cıva, diğer tehlikeli kimyasal atıklar ve radyolojik atıklar mikrodalgada işlenmemelidir (WHO, 2014).

Mikrodalga ısınlama yönteminde atıklar öncelikle parçalarına ayrılır. Kullanılan sistemde atıklar çok küçük parçalara kadar parçalanabilmektedirler. Parçalara ayırmanın ardından atık parçaları buharla ısıtılır ve mikrodalga ile temasa geçeceği ısınlama odalarına iletilir. Bu odalar mikrodalga jeneratörleri ile donatılmış özel odalardır. Mikrodalga enerjisi ile atık parçaları üzerindeki sular buharlaşarak dezenfeksiyona neden olur ve 25-30 dakika sonra sterilizasyon gerçekleşir (Akkaya, 2015). Mikrodalga ısınlama yönteminin çalışma prensibi büyük ve yüksek ısılara çıkan bir fırında mikroorganizma yok etmeye benzetilebilir. Devasa fırınlar gibi işlev gören ısınlama odaları ile mikrodalgalar oluşturulur ve atık parçaları zararsız hale getirilir. Ancak sistemin çalışma prensibinden anlaşılacağı üzere yatırım ve bakım maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle gelişmiş ülkelerde daha sıkça ve yoğun kullanılan bir tıbbi atık işleme yöntemidir (Küçük, 2013). Kesikli ve yarı sürekli mikrodalga teknolojilerinin basitleştirilmiş şeması Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Kesikli ve yarı sürekli mikrodalga teknolojilerinin basitleştirilmiş şeması (WHO, 2014)

2.3.4.3 Kimyasal Dezenfeksiyon

Tıbbi atıkların bertaraf edilmesinde kimya bilimi ve kimyasal bileşenlerin kullanımı, son yıllarda oldukça yükselişe geçmiş bir tıbbi atık işleme yöntemidir. Kimyasal dezenfeksiyon, kan, idrar, dışkı veya hastane kanalizasyonu gibi sıvı atıkların bertarafı için en uygun yöntemdir. Katı ve tehlikeli mikrobiyolojik kültürler, kesiciler gibi tıbbi atıklar aşağıda sıralanan kısıtlamalarla kimyasal olarak dezenfeksiyon işlemine tabi tutulurlar:

- Dezenfeksiyon işleminden önce atıkların parçalanması ve öğütülmesi gereklidir.
- Parçalayıcı genellikle işleme zincirindeki en zayıf noktadır ve mekanik arıza veya bozulmaya karşı hassastır.
- Yalnızca iyi eğitilmiş ve yeterli düzeyde korunan personel tarafından kullanılan, güçlü dezenfektanlara ihtiyaç vardır.
- Dezenfeksiyonun verimliliği işletme şartlarına bağlıdır.
- Katı atıkların temas ettiği yüzey dezenfekte edilmelidir.

Kimyasal dezenfeksiyonun hızı ve verimliliği; kullanılan kimyasal türü, kullanılan kimyasal miktarı, dezenfektan ve atık arasındaki temas süresi, dezenfektan ve atık arasındaki yüzeylere nüfuz etme kabiliyetine, atığın organik yükü, çalışma sıcaklığı, nem ve pH'a bağlıdır. Tıbbi atıkların dezenfeksiyonu için kullanılan kimyasal türleri çoğunlukla klor bileşikleri, aldehytler, kireç bazlı tozlar veya çözeltiler, ozon gazı, amonyum tuzları ve fenolik bileşiklerdir (WHO, 2014). Kimyasal dezenfektanlar genellikle; kesici ve delici atıklar, kültürler ve stoklar, kan, sıvı insan ve hayvan atıkları ile kirlenmiş maddeler, cerrahiden ve izolasyon servislerinden çıkan kalıntılar, bandajlar, gazlı bez, keten, önlük ve diğer benzer malzemeler ve kimyasal olmayan laboratuvar atıkları işlemek için kullanılır. İdeal olarak, bir dezenfektan; virüslerin yanı sıra tüm mikroorganizmaları da yok edebilen, yüksek derecede stabilizeye sahip, insanlar veya hayvanlar için toksik olmayan, suda çözünebilen, tatsız, kokusuz ve nispeten ucuz olmalıdır (Diaz vd., 2005). Tıbbi atıkların dezenfeksiyonunda yaygın olarak kullanılan kimyasal maddeler ve bunların etkinlikleri aşağıda verilmiştir.

Sodyumhipoklorit (NaOCl) : Çoğunlukla bütün bakteriler, virüsler ve sporlara karşı etkilidir. Yüksek organik madde (kan vb.) içeren sıvılar için uygun değildir. Atıklar için temas süresi bakteriyolojik testlere göre hesaplanır.

Formaldehit (HCHO): Bütün mikroorganizmalara (bakteri, virüs, sporlu bakteri) karşı etkindir. 80 °C sıcaklıkta buhar ile birlikte kuru atıklara karşı uygulanmaktadır. Temas süresi 45 dakikadır.

Etilen oksit (CH₂OCH₂): Bütün mikroorganizmalara (bakteri, virüs, sporlu bakteri) karşı ekili olup, katı atıkların dezenfeksiyonunda 37 – 55 °C uygulama sıcaklığında ve % 60 – 80 civarında nem şartı sağlanmalıdır. Temas süresi 4–12 saattir.

2.3.4.4 Enkapsülasyon

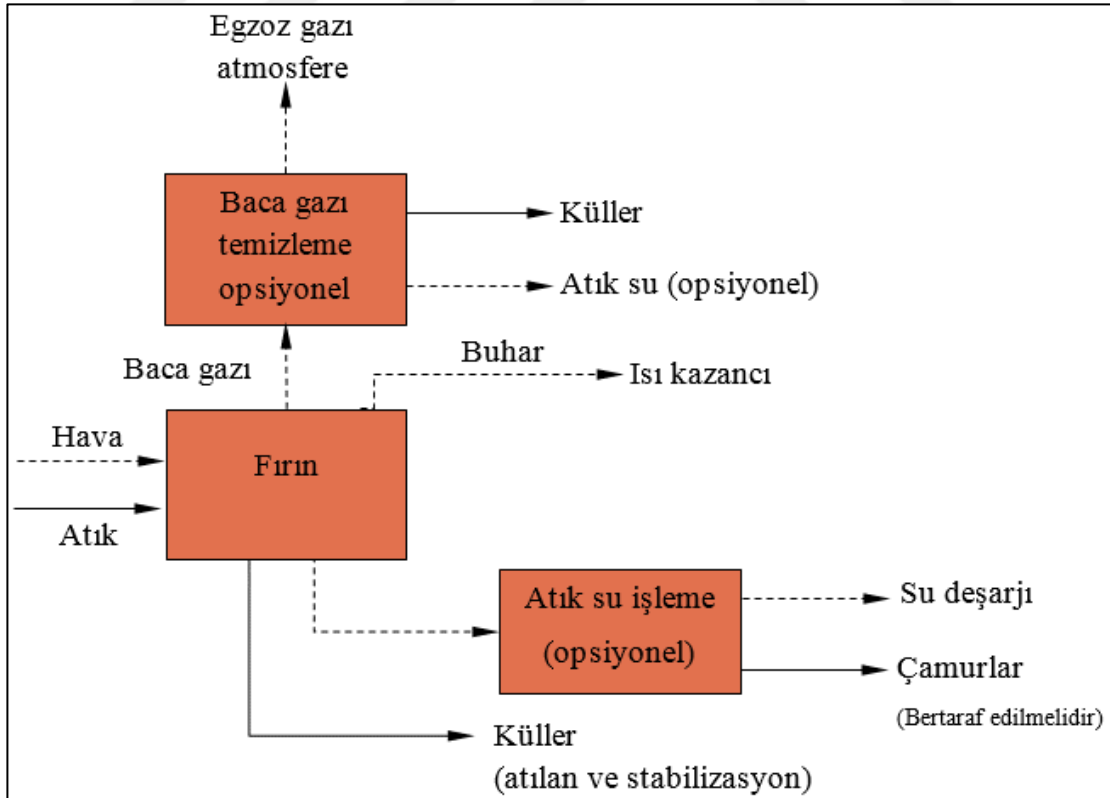
Enkapsülasyon yöntemi tam anlamıyla bir tıbbi atık bertaraf yöntemi sayılmamaktadır. Daha çok farmasötik atıklar, kesiciler ve kimyasal atıklar için yapılan bir ön arıtım yöntemidir. Bu yöntem kesinlikle, enfekte haldeki kesici olmayan atıklar için kullanılamamaktadır. Enkapsülasyon yönteminde ilk olarak atıklar metal veya yoğunluğu yüksek polietilenden yapılan konteynirlara 3/4 kapasiteye denk gelecek şekilde doldurulurlar. Sonra, çeşitli malzemeler kullanılarak bu atıkların üzerleri kaplanır ve atıkların hareket etmemesi için konteynirlar mühürlenir. Üzerine kaplanan malzeme bir tür arıtım etkisi gösterir (Kürük, 2019). Böylece hipodermik iğneler, sivri uçlular gibi tıbbi atıklar, ucuz, uygulaması kolay ve güvenli biçimde ön bir arıtmadan geçerek zararları yok edilir. Uygulamasının kolay olması, ucuz olması ve güvenilir olması gibi koşullar nedeniyle pek çok hastanenin sıklıkla kullandığı bir tıbbi atık işleme yöntemidir (Diaz vd., 2005).

2.3.4.5 Yakma

Küresel düzeyde en yaygın kullanılan tıbbi atık bertaraf etme yöntemlerinden biri yakma işlemidir. Atıkları küllere ve gazlara dönüştüren yüksek sıcaklıkta kuru oksidasyon bertaraf işlemidir (Khan vd., 2019). Yakma işlemi ile yok etme ve zararları giderme yöntemi ağırlıklı olarak yüksek riskli tıbbi atıkların bertarafında kullanılmaktadır. Atıkları küllere ve gazlara dönüştüren yüksek sıcaklıkta kuru oksidasyon atık arıtma işlemidir. Yakma, tıbbi atıkların bertarafında en güvenli yöntem olmakla birlikte, ilk yatırım ve işletme maliyeti oldukça yüksektir. Önceki yıllarda gelişmiş ülkelerde kullanılan en yaygın tıbbi atık bertaraf yöntemi olan yakma teknolojisi, daha sıkı emisyon limitleri ve bu nedenle artan maliyetler nedeniyle gittikçe azalan bir şekilde uygulanmaktadır. Yakmada iki önemli husus sıcaklık (1000-1200°C) ve temas süresidir (Arıkan ve Öztürk, 2016). TAKY'nin 20'nci maddesi doğrultusunda; tıbbi atıklar yakılarak bertaraf edilebilir. Herhangi bir kimyasalla muamele görmüş patolojik atıkların yakılarak bertaraf edilmesi zorunludur. Tıbbi atıkların yakılarak bertaraf

edilmesinde, 6/10/2010 tarihli ve 27721 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik (AYİY) hükümlerine uyulur. Yakma işlemine tabi tutulacak tıbbi atıklar içinde; yüksek düzeyde cıva ve kadmiyum içeren atıklar, gümüş tuzları içeren radyolojik atıklar, ağır metaller içeren ampuller ve basınçlı kaplar bulunamaz. Yakma işlemine tabi tutulacak tıbbi atıklar içinde büyük miktarlarda genotoksik atık mevcutsa, sıcaklığın en az 1100 °C olması zorunludur (TAKY, 2017). Bu teknolojilerin bir dezavantajı, yanma yan ürünlerinin atmosfere salınması ve artık külün oluşmasıdır (WHO, 2014). Tıbbi atıkların yakılmasıyla birlikte dioksinler, furanlar ve cıva gibi istenmeyen toksinler atmosfere salınmaktadır (Windfeld ve Brooks, 2015).

Şekil 2.10’da yakma sistemi basit bir şema ile açıklanmıştır. Fırında yakma bir kuru oksidasyon işlemidir ve yanabilen organik maddeleri yanamayan inorganik maddelere dönüştürür. Yakma yöntemi; atık hacmi ve ağırlığını hızlı biçimde düşürmesi, arıtmanın yapılabilmesi ve sterilizasyonun etki oranının yüksek olması konularında avantajlı iken; işletme ve yatırım maliyetlerinin yüksekliği, atıkların imhasından sonra yeni atıklar üretmeleri ve karbon salınımı yönlerinden ise dezavantajlıdır (Uysal ve Arslankaya, 2001).



Şekil 2.10. Yakma fırınlarının basit akış şeması (Temel, 2021)

Yakma tesisleri cüruf ve taban küllerinin toplam organik karbon (TOK) içeriğinin %3'ten veya tutuşma sırasındaki kaybın materyalin kuru ağırlığının %5'inden az olacağı bir yakma seviyesine ulaşacak şekilde işletilir. Gerekliği takdirde, atıkların ön işleme için uygun teknikler kullanılır. Yakma tesisleri işlemde kaynaklanan gazın, ikinci yanma odasında 1200 °C sıcaklıkta en az iki saniye kalması zorunludur. Yakma tesisinin her bir hattı en az bir yedek brülör ile donatılır. Yanma havasının en son enjeksiyonundan sonra yanma gazlarının sıcaklığı 850 °C veya 1100 °C'nin altına düşerse, bu brülör otomatik olarak devreye girer. İçeriğinde %1'den fazla halojenli organik maddeler bulunan tehlikeli atıklar beraber yakılırsa, sıcaklığın 1100 °C ye yükseltilmesi zorunludur. Yakam ve beraber yakma tesisleri, havaya yapılan emisyonlar zemin seviyesinde Tıbbi atıklar öncelikle ve diğer atık kategorileri ile karıştırılmaksızın otomatik besleme ile doğrudan fırına beslenir (AYİY, 2010).

3. COVID-19 PANDEMİSİNDE TIBBİ ATIK YÖNETİMİ

3.1. Türkiye'de Tıbbi Atığın Mevcut Durumu

Türkiye'de tıbbi atık miktarı, artan nüfus ve sağlık kuruluşu sayısı ile birlikte yıllar içerisinde artan bir eğilim niteliği taşımaktadır. Tablo 3.1’de 2012 ile 2020 yılları arasında Türkiye'nin tıbbi atık miktarı, hastanelerde bulunan toplam yatak sayısı ve Türkiye toplam nüfusu görülmektedir. Tablodaki verilere göre yıllar içerisinde yatak sayısının doğrusal artan bir trend izlediği görülürken, toplam tıbbi atık miktarı ise parabolik eğri izleyerek toplamda artan bir seyir izlemiştir. Sonuç olarak ele alınan 9 yıl içerisinde Türkiye'nin yatak kapasitesine bağlı olarak tıbbi atık miktarının arttığı söylenebilir. Doğrusal olarak artan nüfus miktarına oranla ele alındığında kişi başına düşen yatak sayısı ortalama olarak aynı kalmıştır. Tıbbi atık miktarının yatak kapasitesine göre artmış olması tıbbi atıkların en büyük üretim kaynağı olan hastanelerin işlem kapasitesinin artmasından kaynaklanmıştır. Nüfus, yatak kapasitesi ve tıbbi atık miktarlarının paralel olarak artması sağlık ve bakım hizmetlerinin nüfusa göre yükselişe geçmesinden ve sağlık sektörü kullanım ürünü arttığı olan tıbbi atıkların çoğalmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.1. Tıbbi atık miktarının yıllara göre değişimi ([http-1 2019](#); [http-5 2021](#))

Yıllar	Nüfus	Toplam Hastane Sayısı	Toplam Yatak Sayısı	Tıbbi Atık Miktarı (ton)
2012	75627384	1483	200072	68.929
2013	76667864	1517	202031	71.173
2014	77695904	1528	206836	74.495
2015	78741053	1533	209648	113.857
2016	79814871	1510	217771	81.024
2017	80810525	1518	225863	85.987
2018	81867223	1534	231913	89.454
2019	82886421	1538	237504	90.920
2020	83900373	1534	251182	109.683

Tabloya göre, 2016 yılı itibarıyla tıbbi atık miktarı 80.000 ton düzeylerindeyken benzer artış miktarlarıyla 2020 yılında tıbbi atık miktarı 109.683 ton seviyelerinde artış göstermiştir. Ayrıca, 2020 yılında toplanan tıbbi atık miktarı bir önceki yıla göre %20,6 artış göstermiştir ([http-4, 2021](#)).

Tıbbi atık miktarı, nüfus, hastane ve yatak sayısı gibi göstergelerin yanında yıllara göre tıbbi atık arıtım ve bertaraf yöntemi durumu Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. 2010-2020 yılları arasında tıbbi atıklara uygulanan işlemler (http-4,2021)

Yıllar	Bertaraf Yöntemi (%)		
	Yakma	Sterilizasyon	Gömme (Kireç Uygulanarak)
2010	9	28	63
2012	8	62	29
2014	10	74	16
2016	15,5	84,5	-
2017	12,4	87,6	-
2018	7,7	92,3	-
2019	8,7	91,3	-
2020	9,4	90,6	-

Ele alınan 8 yıllık dönemde yakma, sterilizasyon ve gömme yöntemlerinin Türkiye'de tıbbi atık bertaraf yöntemi olarak kullanıldığı görülmektedir. 2010, 2012, 2014 yıllarında tıbbi atıkların sırayla %63, %29 ve %16'sı kireç uygulanarak gömülmüştür. 2014 yılına kadar çoğu tıbbi atık kireçlenerek gömme yöntemiyle bertaraf edilirken yıllar içerisinde gömme yöntemi tamamen kaldırılmış ve bu yöntemin yükünü büyük ölçüde sterilizasyon yöntemi almıştır. Tabloda gömme yöntemi dışında tüm yöntemlerin yıllar içerisinde kullanım oranlarının arttığı görülmektedir. Türkiye'de üretilen tıbbi atıkların çoğu kesici, delici ve enfekte atıklardır. Sterilizasyon yöntemi ile arıtmaya tabi tutularak evsel atıklarla birlikte bertaraf edilmektedirler. Yıllar itibariyle yakma işlemiyle bertaraf etme yönteminin kullanımı da artmıştır. Sağlık kuruluşlarında 2020 yılında toplanan tıbbi atığın %90,6'sı sterilize edilerek depolama alanlarına, %9,4'ü ise yakma tesislerine gönderilerek bertaraf edilirken; 2019 yılında ise toplanan tıbbi atığın, %91,3'ü sterilize edilerek depolama alanlarına, %8,7'si ise yakma tesislerine gönderilerek bertaraf edilmiştir (http-4, 2021).”

2020 yılında; 109 bin 683 ton tıbbi atığın, %23,7'si İstanbul, %7,8'i Ankara ve %5,8'i İzmir olmak üzere, %37,3'ü bu üç büyükşehirde bulunan sağlık kuruluşlarından toplanmıştır (http-4, 2021).

3.2. Pandemi Döneminde Türkiye'nin Tıbbi Atık Yönetim Süreci ve Uygulamaları

2019 yılının Kasım ayında Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkan koronavirüs, 2020 yılının Mart ayında Türkiye'ye gelmiştir. Türkiye'de ve tüm dünyada yaşam tarzından başlayarak tüm normal ve rutinleri değiştiren bu pandemi, en çok sağlık sektöründe değişime neden olmuştur. Bu dönemde hastaneler aylarca tam doluluk kapasitelerini

geçen yüklerle çalışmış, sağlık personelinde arka arkaya kayıplar yaşanmış ve çalışanlar ağır ve yoğun şartlarda görevlerini sürdürmüşlerdir. Bu dönemde sağlık kuruluşlarının tıbbi atık üretim miktarları artarken, bunun yanı sıra evlerin ve işyerlerinin tıbbi atık üretimi de söz konusu olmuştur. Pandemi dönemi hem sağlık yöneticileri hem de sağlık sektörü açısından oldukça zorlayıcı olmuştur. Bu anlamda tıbbi atık yönetiminin pandemi dönemi uygulamaları ve işleme şekli araştırma konusu açısından oldukça önemlidir.

Pandemi döneminde herkes tarafından tıbbi atık üretilmeye başlanmış ve bilinçsiz ve bilgisizliğe bağlı olarak tıbbi atıklar her yana saçılmıştır (Şekil 3.1). Bu durum, tıbbi atık yönetimini daha ayrıştırma aşamasında devre dışı bırakmıştır. Pandemi döneminde tıbbi atık personelinin toplama noktalarına kadar sistemi oluşturan her bir aşamanın iş yükü ve yoğunluğu artmıştır. Ayrıca binlerce insanın aynı anda tedavi edilmesi gibi durumlar, mevcut tıbbi atık üreticisi kaynakların tıbbi atık miktarını katlayarak artırmıştır. Yetkililer ise aşı ve tedavi seçenekleri ile alınması gereken önlemlere odaklanarak tıbbi atık yönetimini göz ardı etmişlerdir (Yalçın vd., 2020).



Şekil 3.1. *Pandemi döneminde çevreye yayılan tıbbi atıklar*

Pandemi sürecinde mevcut tıbbi atık yönetimini ve olması gereken davranışları pek çok kuruluş kamu yararı sebebiyle benzer içerikler oluşturarak hem halkı eğitmeyi hem de yetkililerin bu konuda dikkatlerini çekmeyi amaçlamışlardır. Kamuya açık pek çok

toplumsal alanda el dezenfektanları, maskeler, sterilize edilen alanlar gibi yöntemlerle pandemi döneminde virüsle mücadele edilmiştir, dolayısıyla farklı atık türlerinin oluşumu da artmıştır. Pandemi döneminde oluşan maske ve eldiven atıklarını toplamak için Belediyeler özel araçlar tahsis etmiştir (Şekil 3.2). Ayrıca, pandemi döneminde kaynağı değişen evlere ve sokaklara inen tıbbi atıklarla baş edebilmek amacıyla sürekli bilinçlendirme ve yönlendirme çalışmaları yapılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Bursa- Osmangazi belediyesinin pandemi döneminde üretilen tıbbi atıklara özel taşıma aracı



Şekil 3.3. Halkı bilgilendirmeye yönelik tıbbi atık önlemleri

4. KONUSYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tezin bu bölümünde tıbbi atık yönetimi ile ilgili çalışmalar ve tezde kullanılan SWOT ve MCDM ile ilgili çalışmalar sunulmuştur.

Durmuşcan (2019), Türkiye’de tıbbi atık sorunları ve çözüm önerilerini L Tipi (5 X 5) Risk Analizi Matrisine göre incelemiştir. Çalışmada, hastane ortamı için örnek risk analizi oluşturularak tıbbi atıklar ile ilgili riskler belirlenmiştir. Araştırma sonucunda ise, tıbbi atıklara maruziyetin en çok sağlık çalışanlarında görüldüğü ve tıbbi atıkların oluşturduğu risklerin, atığın türüne uygun bertaraf yöntemi seçilerek giderilebileceği tespit edilmiştir.

Kürük (2019), yaptığı tez çalışmasında hastanelerde tıbbi atık maliyeti ve tıbbi atığa ilişkin çalışan farkındalığını incelemiştir. Hastaneler tıbbi atıkların en yoğun üretildiği kaynaklar ve gerek tıbbi atıkların kaynağında engellenmesi için olsun gerekse tıbbi atık yönetiminin işlerliğini sağlamak için olsun en önemli konu çalışanın tıbbi atığın taşıdığı risklerin farkında olmasıdır. Yapılan araştırma sonucunda çalışanların tıbbi atık yönetimi ve maliyeti ile ilgili görüşlerinin eğitim düzeyi, meslek ve çalışılan bölüme göre farklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Özkan (2013), yaptığı çalışmada Türkiye'deki sağlık atık yönetiminin mevcut durumunu analiz etmeyi ve farklı karar verme teknikleri kullanarak en uygun bertaraf yöntemini belirlemeyi amaçlamıştır. Yakma, mikrodalgada ısınlama, yerinde sterilizasyon, saha dışı sterilizasyon ve düzenli depolama yöntemleri Analitik Serim Süreci (ANP) ve ELECTRE yöntemleriyle analiz edilmiştir. Bu yöntemlerin faydalarının, maliyetlerinin ve risklerinin kriter olarak alındığı araştırmanın sonucunda tesis dışı sterilizasyon yöntemi en uygun seçenek olarak tespit edilmiştir.

Nabizadeh ve diğerleri tarafından 2018 yılında yapılan bir çalışmada tıbbi atık yönetiminin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada bahse konu hastaneler için atık bertaraf alternatiflerini içeren 6 kriter ve 21 alt kriterden oluşan bir kriter listesi yapılarak bu hastanelere en uygun olacak tıbbi atık bertaraf yöntemi hiyerarşik mesafeye dayalı bulanık çok kriterli karar verme (DBF-MCDM) analiziyle tespit edilmiştir. Yakma, buharla sterilizasyon, kimyasal dezenfeksiyon ve düzenli depolama yöntemlerinin dahil edildiği araştırma sonucuna göre düzenli depolama yöntemi bu hastaneler açısından en uygun tıbbi atık bertaraf yöntemi olarak tespit edilmiştir.

Aung ve diğerleri tarafından 2019 yılında yapılan bir çalışmada, tıbbi atık yönetimi uygulamalarının değerlendirilmesi amacıyla Myanmar'da 8 hastane (özel ve

devlet olmak üzere) seçilmiştir. Myanmar'daki tıbbi atık yönetim sistemlerini değerlendiren entegre bir değerlendirme çerçevesi geliştirmek için iki farklı Çok Kriterli Karar-Analiz (MCDA) tekniğine dayanan bir yaklaşım kullanılmış ve MCDA yaklaşımlarının arasından Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Analitik Ağ Süreci (ANP) uygulanmıştır. Karar vericiler farklı analizlerin sonuçlarını karşılaştırmış ve hastanelerin performansını değerlendirmişlerdir. Yapılan çalışmadan elde edilen bulgular Myanmar'ın atık yönetim sistemindeki eksikliklere ışık tutmuştur.

Xiao (2018) yaptığı araştırmada, Çin'in en büyük şehirlerinden biri olan Şangay'da uygulanan mevcut tıbbi atık işleme teknolojilerini gözden geçirmiştir. Söz konusu araştırmada, tıbbi atık yönetimindeki belirsiz bilgileri modellemek ve temsil etmek için etkili bir matematik aracı olan D sayılarına dayanan yeni bir çok kriterli karar verme yöntemi (MCDM) önerilmiş ve tıbbi atık yönetiminde karşılaşılan sorunlar tartışılmıştır. Yakma, buharla sterilizasyon, mikrodalga ve düzenli depolama yöntemlerinin dahil edildiği araştırma sonucuna göre buhar sterilizasyonu teknolojisinin en uygun maliyetli ve en uygun tıbbi atık işleme yöntemi olduğu tespit edilmiştir.

Assis vd. (2017) tarafından yapılan bir araştırma, sağlık hizmetlerinin katı atık yönetimini değerlendirmek için performans göstergelerini kullanmıştır. SWOT analizinin araştırma yöntemi olarak kullanıldığı çalışmada, çalışanlarla birlikte geliştirilen performans sistemlerinin daha etkin, çalışan açısından daha eğitici ve yardımcı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Putra vd. tarafından 2017 yılında yapılan bir araştırmada, yatarak tedavi hizmeti veren sağlık merkezlerinde tıbbi atık yönetimi stratejilerinin değerlendirilmesi ve analiz edilmesi amaçlanmıştır. Sağlık merkezlerindeki güçlü, zayıf yanlar ile tüm tıbbi atık yönetim sistemi SWOT analizi ile değerlendirilmiştir. Söz konusu analiz ile özellikle yatarak tedavi hizmeti veren merkezlerde tıbbi atık yönetiminin uygulanması mümkün olmakla birlikte, sürekliliğini sağlamak ve kaliteyi korumak için uygun eğitim, iyi planlama, düzenleme ve denetim gerekliliğinin olması tespit edilmiştir.

Shahba vd. (2017) maden atıklarının yönetimi için SWOT analizinde MCDM uygulamasını İran-Sirjan'ın Golgohar demir madeni örnekleminde gerçekleştirmişlerdir. Örnek madenin atık yönetimi analizinde SWOT, FAHP, FTOPSIS olmak üzere üç farklı MCDM tekniği kullanılan araştırmanın sonucunda atık yönetimi örgütlerinde stratejik yönetim biçiminin benimsenmesi gerektiği saptanmıştır. Alternatif ve kıstaslar arasında en iyi sıralama ve tercihi yapmaya elverişli tek yönetim biçimi olarak stratejik yönetim

şekli gösterilmiştir. Bununla birlikte incelenen örnek tesisin fırsat ve güçlü yönlerinin tehdit ve zayıf yönlerden daha üstün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Peng vd. tarafından 2020 yılında yapılan çalışma, 2019-2020 yeni koronavirüs pandemisine yanıt olarak tıbbi atık bertarafı uygulamasını göstermektedir. SARS-CoV-2, yeni keşfedilen, oldukça patojenik ve bulaşıcı bir virüs olmasından dolayı hastanelerdeki salgın riskini azaltmak için COVID-19 ile ilgili tıbbi atık yönetiminin sıkı bir şekilde uygulanması gerektiği tespit edilmiştir.

Sangkham'ın (2020) yaptığı araştırma, Asya'daki COVID-19 pandemisi bağlamında yüz maskesi ve tıbbi atık kullanımını tahmin eden ilk çalışmadır. Bulgular, onaylanmış SARS-CoV-2 vakalarının sayısındaki sürekli artışla birlikte kullanılan yüz maskelerinin ve tıbbi atıkların miktarının arttığını göstermektedir. İlgili makamların, önleme ve kontrolün tüm yönlerine büyük önem vermesi ve pandeminin hastaneler, topluluk konutları ve halka açık alanlarda çevreye yayılma riskini azaltmak için dikkatle düşünülmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Fan vd. tarafından 2021 yılında yapılan çalışma, COVID-19 pandemisine yönelik olarak, Singapur, Şangay ve Çek Cumhuriyeti'nin Brno şehrinin atık miktarında azalma veya artış konusunda değişken bir eğilim olduğunu göstermektedir. Aynı krizle karşı karşıya olmamıza rağmen, her yerdeki durum, zorluklar, önlemler ve etkinlik farklı olabilir. Bu çalışma, krizin iyi yönetilmesi durumunda atık yönetim sisteminin sağlamlığını yeniden yapılandırmak ve geliştirmek için bir fırsat olabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca benzer bir kriz sırasında, krizin daha iyi yönetimine yönelik küresel olarak tercih edilen daha geniş bölgeleri dikkate alan kapsamlı bir değerlendirmeye ihtiyaç vardır.

Zand ve Heir tarafından 2020 yılında yapılan çalışma, COVID-19 salgınının dünyanın en büyük şehirlerinden biri olan Tahran'da kentsel atık yönetimi üzerindeki ön etkileri hakkında bazı önemli endişeleri gündeme getirmektedir. Söz konusu çalışmada, hastane ve hastane dışı kaynaklardan gelen tıbbi atıklar dahil olmak üzere kentsel katı atıkların güvenli bir şekilde ayrılması, kullanılması ve bertarafı ulusal bir öncelik olarak vurgulanmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki bilim topluluklarının COVID-19 salgını sırasında uygun kentsel atık yönetimi stratejileri geliştirmeleri gerektiği tespit edilmiştir.

Manupati vd. tarafından 2021 yılında yapılan bir çalışmada, COVID-19 pandemi dönemi sırasında en iyi tıbbi atık bertaraf yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Önerilen tıbbi atık bertaraf alternatifinin uygulamasını göstermek için Hindistan'ın güney eyaleti Tamil Nadu'dan bir vaka çalışması anlatılmıştır. Söz konusu çalışmada, mevcut literatür taramasına dayalı olarak 10 kriter belirlenmiş ve seçilen kriterler 4 ana boyutta (sosyal, ekonomik, çevresel ve teknik) gruplandırılmıştır. Daha sonra, 9 tıbbi atık bertaraf alternatifini değerlendirmek için Fuzzy VIKOR yöntemini kullanılmıştır. Önerilen metodolojinin sağlamlığını kontrol etmek için, elde edilen sonuçları Fuzzy TOPSIS ile karşılaştırılmış ve sağlam bir ağırlık ve sıralama elde etmek için iki yöntemi hibritleştirilmiştir. Yakma, buharla sterilizasyon, mikrodalga, otoklav, kimyasal dezenfeksiyon, piroliz ve düzenli depolama yöntemlerinin dahil edildiği araştırma sonucuna göre mevcut alternatifler arasında en iyi atık bertaraf tekniğinin yakma olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, çalışma yakmanın en iyi yöntem olduğunu gösterse bile, bu yöntemden kaynaklanan çevresel kaygılar unutulmamalıdır.

Saxena vd. tarafından 2021 yılında yapılan bir çalışmada, Hindistan'ın COVID-19 salgını sırasında tıbbi atık yönetiminin değerlendirilmesi amaçlanmış ve Hindistan'ın mevcut atık yönetim sistemindeki eksiklikleri vurgulanmıştır. Söz konusu çalışma, devlet tarafından kamuya açık raporlardan ve resmî web sitelerinden elde edilen mevcut literatür, haberler ve bilgi raporların doğrultusunda uygulanan ankete dayanmaktadır. Araştırmada, biyomedikal atık üretimindeki ani artışların, yakma fırını kapasitesi kullanımının yüzde 70 veya daha fazla olduğu devletlerde ciddi sıkıntılara yol açtığı vurgulanmaktadır. Ayrıca büyük miktarda kontamine plastiğin yakılmasıyla birlikte yakma fırınlarının verimliliklerinin düştüğü ve plastik yanması sonucunda atmosfere dioksin ve furan gibi zehirli gazlar salındığı için hava kirliliğine sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır. COVID-19 atıklarının güvenli bir şekilde taşınması ve bertarafı için ilgili makamlar tarafından gerekli önlemler hızlı bir şekilde alınmalıdır.

Chen vd. tarafından 2021 yılında yapılan araştırma, Wuhan'ın tıbbi atık yönetim performansının değerlendirilmesini amaçlamıştır. Bu çalışma, tıbbi atık yönetiminin COVID-19 pandemisi kapsamında atık üretimi, depolama, nakliye ve bertaraf dahil olmak üzere mevcut en ayrıntılı verilere dayanarak araştırmıştır. Wuhan tıbbi atık yönetim sistemini; bertaraf kapasitesini artırarak, akıllı yönetimleri kullanarak ve politika düzenlemeleri oluşturarak üç şekilde geliştirmiştir. Sonuçlar, yoğun dönemde günlük tıbbi atık bertarafı talebindeki 5 kat artışa rağmen, pandemi sırasında depolama, nakliye ve bertaraf sektörlerindeki hızlı tepkiler sayesinde tüm tıbbi atıkların 24 saat içinde bertaraf edildiğini göstermektedir.

Ilyas vd. tarafından 2020 yılında yapılan bir araştırmada, koronavirüsün yayılmasını kontrol etmek/önlemek için dezenfeksiyon teknolojilerini ve kullanılan maddelerin etkili stratejileri ve yeniden işleme olanakları dahil olmak üzere COVID atıklarının yönetiminin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. İzolasyon servisleri, kurumsal karantina merkezleri ve ev karantinası, COVID-19'un ortaya çıkmasından bu yana dünya çapında büyük miktarda biyomedikal atık (BMW) üretmektedir. Atık hacmine en çok katkıda bulunan biyomedikal atıklar, kişisel koruyucu ekipman, test kitleri, cerrahi yüz maskeleri ve eldivenlerdir. Virüsler, COVID atıkları üzerinde 7 güne kadar hayatta kalabilmesinden dolayı bu ölümcül hastalığın katlanarak yayılmasına neden olabilir. Bu nedenle COVID atıklarının uygun şekilde bertaraf edilmesi ve çevresel tehlikelerin uygun şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Çalışmada dezenfeksiyon teknolojisi olarak yanma, proliz, mikrodalga, kimyasal dezenfeksiyon, kuru ısı tekniği ile hidrojen peroksit öne çıkarılmış ve söz konusu teknolojilere SWOT analizi yapılmıştır. Sonuç olarak, mikrodalga dezenfeksiyon tekniği geri dönüştürülebilen ve yeniden kullanılabilen KKD'leri ve bezleri sterilize etmesinden dolayı ön plana çıkmıştır. Yakma tekniği ise, yüksek çalışma sıcaklığı (800–1200 °C) nedeniyle güvenilir bir süreç olmakla beraber büyük hacimli COVID atığının üstesinden gelmek için yararlı olduğu tespit edilmiştir. Bu makale, gelecekte benzer pandemileri önlemek/kontrol etmek için strateji geliştirme açısından büyük önem taşımaktadır.

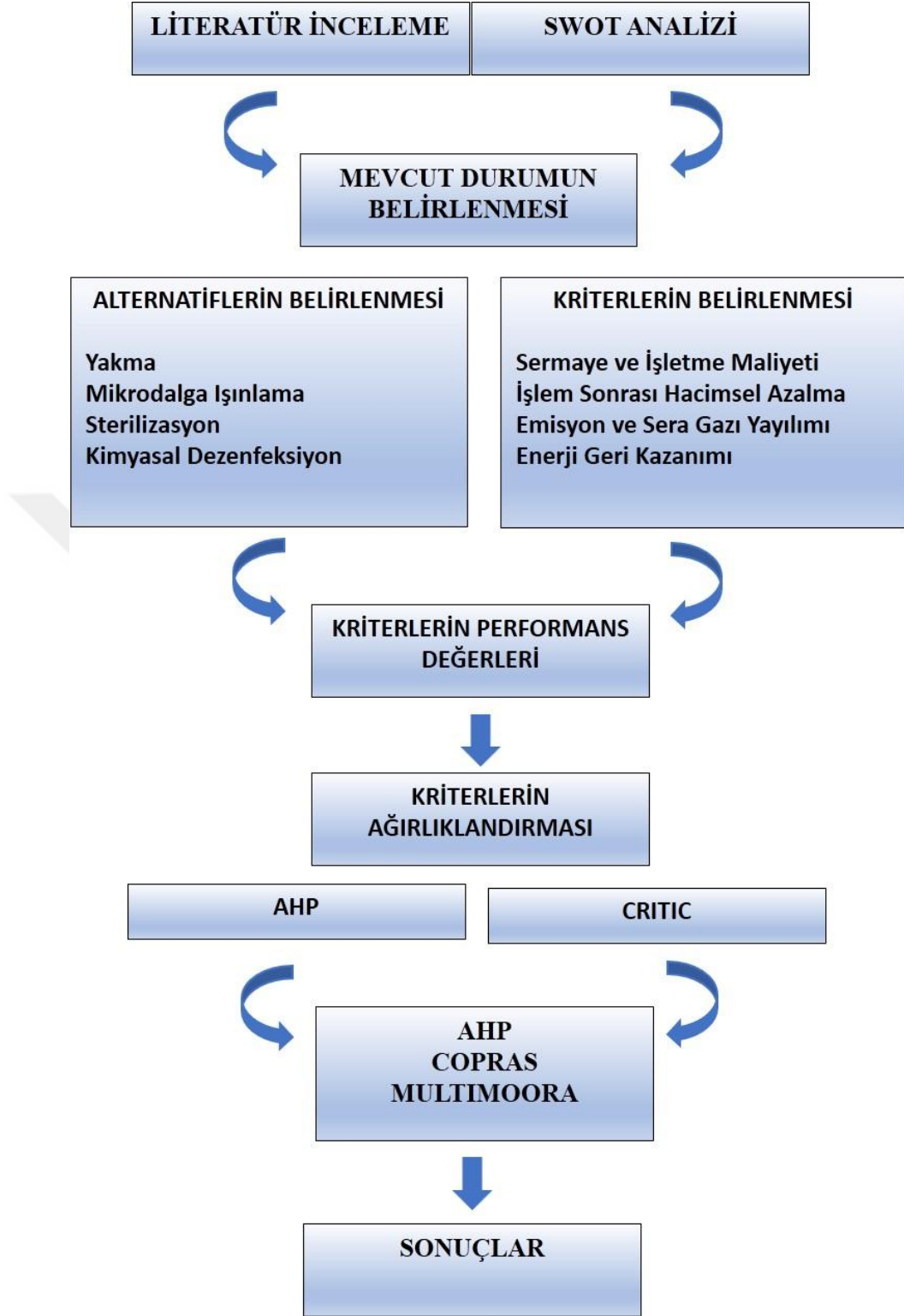
Khan vd. tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada, Asya'nın gelişmekte olan ülkelerinin karşı karşıya olduğu tıbbi atık yönetiminin temel sorunlarını özetlenmektedir. değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Asya'nın gelişmekte olan ülkelerinde nüfus yoğun olup bu ülkeler genellikle tıbbi atık yönetiminde başarısız olmaktadır. Söz konusu ülkelerde yönetmelikler, mevzuat ve politikaların yeni ve uygulamaların birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir. Tehlikeli atıkların güvenli olmayan ve yasa dışı geri dönüşümü insan sağlığı için tehdit oluşturmakta, ayrıca düzenli depolama çoğu zaman açık çöplüklerle karıştırılarak çevreye zarar vermektedir. Toksik gazların emisyonunu önlemek için eski yakma tesislerinin otoklavlara, buhar sterilizasyonu ve nispeten makul yeni piroliz uygulamaları ile değiştirilmesi gerekir. Anılan ülkelerde hem teknolojik açıdan hem de yönetim stratejilerinde ilerlemeye yönelik ciddi bir ihtiyaç olduğu tespit edilmiş olup atık depolama, atık taşıma ve atık bertarafını uygun şekilde yönetmek için gelişmiş ülkelere verimli bir bilgi yönetim sistemi benimsenebilir.

Chisholm vd. tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada, Afrika'daki tıbbi atık yönetiminin sürdürülebilirlik yönleri, gelecek nesiller için sağlık ve çevre koruma amacıyla çözümler sunmak için gözden geçirilmiştir. Afrika nüfusu en hızlı artan orana sahip ikinci kalabalık kıtadır. Yetersiz finanse edilen sağlık sistemleri, eğitim ve tıbbi atıkların ele alınmasına ilişkin politika ve mevzuat konusundaki farkındalık eksikliği, hastanelerde ve sağlık tesislerinde tıbbi atıkların taşınması ve depolanmasında atıkların uygunsuz şekilde işlenmesine yol açmıştır. Yakma, atıkların hacimce %90'a varan azalma ve enerji üretimi nedeniyle genellikle tercih edilen bertaraf yöntemidir. Tıbbi atıkların bertaraf maliyetinin yanı sıra, bu tür atıklar depolanırken ve taşınırken kontaminasyon ve kirlilik gibi faktörler göz önünde bulundurulmalı ve bertaraf için doğru teknolojiye karar verilmelidir. Sonuç olarak, kıtanın birçok bölgesi temiz su kıtlığı, yetersiz eğitim, kısıtlı elektrik kaynakları ve gelişigüzel atık nedeniyle hâlâ ciddi biçimde yoksun olsa da, kıtadaki tüm ülkelere uyacak evrensel bir programın uygulanması, çevreye olumsuz etkiyi önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir.

Windfeld ve Brooks tarafından 2015 yılında yapılan çalışma, ortak kaynaklar, geçerli mevzuat, işleme ve bertaraf yöntemleri dahil olmak üzere tıbbi atık yönetimini incelemektedir. Söz konusu araştırma, atıkların bulaşıcı olarak gereksiz sınıflandırılmasının daha yüksek bertaraf maliyetlerine ve istenmeyen çevresel etkilerde artışa neden olduğunu göstermektedir. Mevcut bertaraf stratejileri, sağlık tesislerinde bertaraf noktasında atıkları ayırmayı, daha sonra bulaşıcı tıbbi atıkları yakma veya otoklavlama ile işlemeyi ve kalan ürünün güvenli bir bertaraf sahasına depolanması için taşımayı içermektedir. Hem yakma hem de otoklav bertaraf yöntemlerinin dezavantajları vardır; yakma sonucunda istenmeyen zararlı emisyonlar açığa çıkar. Otoklavlar ise, her tür atığı işleyemezler. Hükümetler, yakıldığında ihmal edilebilir miktarlarda dioksin veya cıva salan ürünler üretmek için tıbbi ekipman tedarikçileri ile araştırmalara öncelik vermelidir.

5. METODOLOJİ

Çalışmada araştırma yöntemi olarak SWOT ve Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) yöntemi kullanılmıştır. Tıbbi atık yönetimi kapsamında belirlenen yöntemler (Yakma, Mikrodalga Işınlama, Sterilizasyon ve Kimyasal Dezenfeksiyon), seçilen kriterlere göre (Yatırım ve İşletme Maliyeti, İşlem Sonrası Hacimsel Azalma, Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı ile Enerji Geri Kazanımı) SWOT analizine tabi tutulmuş ve mevcut durum tüm yönleriyle ortaya konulmuştur. Tıbbi atık arıtım yöntemlerinin SWOT analizine tabi tutulmasındaki amaç, mevcut sistemin olumlu ve olumsuz yanları ile yarattığı fırsat ve tehditleri ortaya koyarak bir değerlendirmede bulunmaktır. SWOT sonucu ortaya çıkan tablodan alınan veriler ile tıbbi atık yönetimine ilişkin tutarlı ve somut değerlendirmeler yapılmıştır. Daha sonra, tıbbi atıkların yönetimi için en uygun yöntemi belirlemek amacıyla MCDM Yöntemleri kullanılmıştır. Bu kapsamda öncelikle kriterler iki farklı (AHP ve CRITIC) yöntem ile ağırlıklandırılmış ve elde edilen sonuçlarla alternatifler AHP, COPRAS ve MULTIMOORA yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Tıbbi atık yönetiminde MCDM, tıbbi atık yönetim süreci aşamalarında bertaraf yöntemlerinin uygulanması kapsamında SWOT sonucunda ortaya çıkan olumlu ve olumsuz yanlar ve fırsat-tehditleri öncelik sıralamasını belirlemek, bertaraf yöntemlerinin getirdiği faydaları tespit etmek ve en faydalı yöntemi belirlemek, mevzuat ile uygulama arasındaki boşlukların çözümüne yönelik en iyi seçeneği saptamak gibi noktalarda önemli sonuçlar ortaya koymuştur. Çalışmada kullanılan metodoloji Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Tez çalışmasında kullanılan metodoloji

5.1. SWOT Analizi

SWOT, “bir projede ya da bir ticari girişimde kurumun, tekniğin, sürecin, durumun veya kişinin güçlü ve zayıf yönlerini belirlemekte, iç ve dış çevreden kaynaklanan fırsat ve tehditleri saptamak için kullanılan stratejik bir tekniktir” (İçellioğlu, 2014). SWOT analizi çok önceden beri kullanılan bugün artık bir süreç, kişi veya durum için temel kabul edilen kritik yapma yöntemlerinden birisidir. Özellikle karmaşık koşullardan meydana gelen kompleks yapıların yarattığı durumların analizinde çok etkin sonuçlar ortaya koymaktadır. SWOT Analizi 4 adımdan meydana gelmekte olup SWOT, İngilizce’de Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats kelimelerinin baş harflerini temsil etmekte olan kısaltmadır. SWOT yerine İngilizce kelimelerin Türkçe karşılıkları olan Güçlü, Zayıf, Fırsat ve Tehdit kelimelerinin baş harflerinin birleşiminden oluşan GZFT kısaltması kullanılabilmektedir (Bllaca, 2017). Güçlü yönler ile organizasyonun güçlü yönlerini, zayıf yönler ile organizasyonun zayıf yönlerini, fırsatlar ile organizasyon dışında organizasyon için hangi fırsatların var olduğunu ve tehditler ile de organizasyonu gelecekte etkileyebilecek olumsuzluklar vb. konular değerlendirilmektedir. SWOT Analizi, kişi veya organizasyonun ilgili alanlarda güçlü ve zayıf yönlerini tespit etmesine ya da gelecekte bekleyen fırsatları ve tehditleri belirleyip bunlara göre şimdiden aksiyonlar alınmasına imkân sağlamaktadır (Erol, 2019). SWOT Analizi ile, hedeflere ulaşılabilme amacıyla temel iç ve dış faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu analiz, organizasyonun kendi iç durum değerlendirmesi ile organizasyon dışındaki pazar yapısının ve rakiplerin durumunun analiz edilmesine imkân sağlamaktadır (Bllaca, 2017). Bu çalışmada, tıbbi atık yönetimi kapsamında, arıtım yöntemlerinin en idealini bulmak amacıyla belirlenen 4 yöntem (Yakma, Mikrodalga Işınlama, Sterilizasyon ve Kimyasal Dezenfeksiyon), güçlü ve zayıf yönlerinin ile fırsat ve tehditlerin belirlenmesi için stratejik bir teknik olan SWOT analizi yapılmıştır. Tıbbi atığın bertarafı için seçilen 4 yöntemin SWOT analizi yapılarak Yatırım ve İşletme Maliyeti, İşlem Sonrası Hacimsel Azalma, Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı ile Enerji Geri Kazanımı açıdan 4 kriter göz önünde bulundurulmuştur. Bu 4 yöntem için seçilen 4 kritere göre güçlü ve zayıf yönleri ile fırsat ve tehditleri gösteren SWOT analizi Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. SWOT analizi

		Yakma	Mikrodalga ısınlama	Sterilizasyon	Kimyasal Dezenfeksiyon
Güçlü Yönler	Yatırım ve İşletme Maliyeti (YİM)	•Proses sonucu atık hacmi çok azaldığından, işlem sonrası atık/artık arıtım/bertaraf maliyetleri düşer. •Kül ve yanmayan kalıntının son bertarafı için sterilizasyon sağlar.	•Buhar jeneratörüne ihtiyaç bulunmamaktadır. •Sistem tamamen kapalı ve proses tam otomatiktir.	•İşletme ve bertaraf maliyetleri düşük olmakla beraber inşası ve montajı kolay olup, ekonomik bir yöntemdir. •Yatırımın geri dönüş (amortisman) süreleri kısa ve düşük maliyetli sistemlerdir. •Prosesler tam otomatik olup operatörlerinin hızlı eğitimine bağlı olarak kullanımı kolaydır.	•Bazı kimyasal dezenfektanlar nispeten ucuzdur. •Sağlık kuruluşlarından çıkan kan, üre gibi sıvı atıkları veya hastane kanalizasyonunu arıtmak için en verimli yöntemdir. •İyi işletildiğinde yüksek derecede etkili dezenfeksiyon sağlar.
	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma (İSHA)	•Yakma en etkin hacim azaltma yöntemidir. Atığın hacminde %95, kütlesinde %75–80 oranında azalma sağlar.	•İşlem sonrası atığın hacminde büyük oranda azalma olur. Prosesten önce atıklar parçalanıp granül hale getirildiği için hacim %80 azalır.	•İşlem sonrası atığın hacminde büyük oranda azalma olur ve söz konusu işlem büyük tıbbi atık miktarlarına uygulanabilir.	•Parçalayıcı ve öğütücüler atıkları tanınmaz hale getirir. Atık hacminde önemli azalma sağlar
	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı (ESGY)	•Metan emisyonu oluşmamaktadır.	•Söz konusu teknoloji kapsamında herhangi bir emisyon oluşumu olmamakla beraber emisyonla ilgili ek kontrol ve denetim sistemine ihtiyaç yoktur.	•Sterilizasyon işleminde tehlikeli emisyon ve radyasyon oluşmamakla beraber proste kimyasal madde kullanılmamasından dolayı temiz ve çevre ile dost bir yöntem olarak görülmektedir.	•Emisyon oluşumu düşüktür.
	Enerji Geri Kazanımı (EGK)	•Proses sonucu enerji elde edilebilir.			

Tablo 5.1. SWOT analizi (devam)

Zayıf Yönler	Yatırım ve İşletme Maliyeti (YİM)	•Yakma tesisinin yatırım, işletme ve bakım maliyetleri yüksektir. •İleri teknoloji gerektirir, bu nedenle kurulması ve işletilmesi oldukça zordur. •Ek olarak uzman işletme personeli gereklidir. •Tüm atıkların (Heterojen atıklar) tam olarak yakma ile uzaklaştırılmaları zordur. Sulu atıklar, radyoaktif atıklar, klorlanmış atıklar ve basınçlı kaplar için uygun değildir.	•Yatırım, işletme ve bakım maliyetleri yüksektir. •Sistemin işletilmesi zordur. •Proses öncesinde atıkların parçalanması veya öğütülmesi gerekir. •Kuru, çok nemli ve yüksek metal içeren atıklar için uygun değildir.	•Sistem için iyi eğitim almış işletme personeli gereklidir. •Sterilizasyon sonucunda oluşan atıkların nihai bertarafı için başka bir bertaraf yöntemi gerekir. •Patolojik atıklar, kimyasal atıklar, genotoksik/sitotoksik atıklar ile radyolojik atıklar ve basınçlı kapların bertarafı için uygun değildir.	•İşletiminde yüksek derecede kalifiye eleman gereklidir. •Çevre üzerine etkilerin en aza indirilmesi için kullanılan kimyasal malzemenin arıtılması gerekir ki bu da ek maliyet demektir. •Dezenfeksiyondan önce atıkların parçalanması veya öğütülmesi gerekir. •Kullanılan parçalayıcılar çok sık arızalanmaktadır. •Dezenfeksiyon verimi işletme şartlarına bağlıdır. •Kimyasal dezenfeksiyon, yüzey ve duvarlardaki mikroorganizmaları yok etmek için kullanıldığından nihai eliminasyon için başka bir yöntem daha ihtiyaç duyulmaktadır. •Patolojik atıklar için uygun değildir.
	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma (İSHA)				
	Emisyon ve Sera Gazı Yayılmı (ESGY)	•Toksik emisyonlar oluşması nedeniyle hava kirliliğini önleyici tedbirler gerektirir.			
	Enerji Geri Kazanımı (EGK)		•Proses sonucu enerji geri kazanımı söz konusu değildir.	•Proses sonucu enerji geri kazanımı söz konusu değildir.	•Proses sonucu enerji geri kazanımı söz konusu değildir.

Tablo 5.1. SWOT analizi (devam)

Fırsatlar	Yatırım ve İşletme Maliyeti (YİM)	•Enerji fiyatlarının yükselme eğilimi prosesin cazibesini artırmaktadır. •Proses sonucu enerji geri kazanımı söz konusudur.		•Daha az arazi ihtiyacı gerektirir.	
	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma (İSHA)	Atık hacmi azaldığından özellikle atık depolama alanlarının ömrü artar.			
	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı (ESGY)				
	Enerji Geri Kazanımı (EGK)	Yenilenebilir enerji kaynakları açısından fırsat doğurur.			
Tehditler	Yatırım ve İşletme Maliyeti (YİM)	Yakma verimi düşük sıcaklıklarda etkili değildir, sıcaklık kontrolü etkin sağlanmalıdır.			•Geniş güvenlik önlemlerinin alınmasını gerektiren zararlı maddeler kullanılır.
	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma (İSHA)	•Proseste herhangi bir aksaklık olursa, hacimsel azalma düşebilir. •Atıkta inorganik içerik fazla olursa, hacimsel azalma düşer.			

Tablo 5.1. SWOT analizi (devam)

	Emisyon ve Sera Gazı Yayılmı (ESGY)	• Yanma tam zamanlı gerçekleşmezse CO başta olmak üzere birçok havayı kirletici toksik emisyonlar oluşur. Bu sebeple hava kirliliğini önleyici tedbirler gerektirir. • Nihai bir arıtma yöntemi olmadığından proses sonrası cüruf, kül vb. inorganik materyallerin oluşmasına sebep olmaktadır. Proses sonucu oluşan külde ağır metal konsantrasyonu yüksek olabilir. • Yüksek ve tehlikeli emisyonlar nedeniyle çevresel kaygı yaratmaktadır. • Artan iklim değişikliği tehdit oluşturmaktadır.	• Aşırı ısınma ve metal parçalarda meydana gelen kıvılcımlar tahliye sonrası yangına sebebiyet verebilir. • Koku problemiyle karşılaşılabilir.	• Koku problemiyle karşılaşılabilir.	
	Enerji Geri Kazanımı (EGK)				

5.2. Alternatiflerin Belirlenmesi

Bu çalışmada tıbbi atıkların yönetimi için 4 olası alternatif belirlenmiştir.

Yakma (A1): Yakma, atığı artık kül ve gazlara dönüştüren yüksek sıcaklıkta kuru bir oksidasyon işlemidir. Yakma, tıbbi atıkların yönetiminde sıklıkla kullanılmakla birlikte, ilk yatırım ve işletme maliyeti oldukça yüksektir. Yakmada iki önemli husus sıcaklık (1000-1200 °C) ve temas süresidir. Yakma tesisleri cüruf ve taban küllerinin toplam organik karbon (TOK) içeriğinin %3'ten veya tutuşma sırasındaki kaybın materyalin kuru ağırlığının %5'inden az olacağı bir yakma seviyesine ulaşacak şekilde işletilir. Gerekliği takdirde, atıkların ön işlemi için uygun teknikler kullanılır. Yakma tesisleri işlemde kaynaklanan gazın, ikinci yanma odasında 1200 °C sıcaklıkta en az iki saniye kalması zorunludur. Yakma tesisinin her bir hattı en az bir yedek brülör ile donatılır. Yanma havasının en son enjeksiyonundan sonra yanma gazlarının sıcaklığı 850 °C veya 1100 °C'nin altına düşerse, bu brülör otomatik olarak devreye girer. İçeriğinde %1'den fazla halojenli organik maddeler bulunan tehlikeli atıklar beraber yakılırsa, sıcaklığın 1100 °C ye yükseltilmesi zorunludur. Tıbbi atıklar öncelikle ve diğer atık kategorileri ile karıştırılmaksızın otomatik besleme ile doğrudan fırına beslenir (AYİY, 2010).

Mikrodalga Işınlama (A2): Mikrodalgalar, radyo ve kızılötesi dalgalar arasında frekansları olan elektromanyetik dalgalardır. Termal süreci oluşturmak için atığın, ya doğal olarak oluşan nemin bir sonucu olarak ya da buhar ilavesiyle ıslak olması önemlidir. Tıbbi atıkların bertarafında, mikrodalga teknolojisi yakma fırınlarına kıyasla ekonomik olarak rekabetçi olabilir (Hossain vd., 2011). Yükleme cihazı, parçalayıcı, buharlı nemlendirme tankı, ısınlama odası ve mikrodalga jeneratörleri, 250 kg/sa (3000 ton/yıl) kapasiteye sahip mikrodalga ısınlama ekipmanı, atık sıkıştırıcı yaklaşık 0,5 milyon ABD doları maliyetinde olabilmektedir (Özdemir, 2019). Tıbbi atıkların mikrodalga yöntemi ile arıtımında, atık, sırasıyla öğütücüye beslenir, nemlendirilir ve ~20 dakika boyunca ırradyasyona tabi tutulur. Otoklavla sterilizasyonda olduğu gibi, mikrodalga ünitesinden çıkan sterilize olmuş atık, tehlikesiz atık kategorisinde yer alır ve evsel atıklar ile birlikte Belediye Düzenli Depolama Tesisi'nde uzaklaştırılabilir. (Arıkan ve Öztürk, 2016)

Sterilizasyon (A3): Enfekte atıkların sterilizasyon tesisi içerisinde belli bir süre buhar, basınç ve sıcaklığa maruz bırakılarak ihtiva ettikleri enfekte atıkların zararsız hâle getirilmesi işlemine sterilizasyon denir. Sterilizasyon işlemiyle enfeksiyon içeren tıbbi atıklar ve kesici delici atıklar enfeksiyöz içeriğinden arındırılarak depolama alanlarına

gönderilerek bertaraf edilebilirler. Sterilizasyon tesisleri yönetmelikte düzenlenmiş olup, mekanik güvenlik ve sterilizasyon performansı hususlarında uluslararası standartlarda olmalı ve belgelendirilmelidir. Ayrıca sterilizasyon tesislerinde bir geçici atık deposunun bulunması, sistemin atık parçalama mekanizmasının bulunması, işlemin başından sonuna kadar hava ve su ortamında hiçbir kontaminasyon ve toksisite olmaması, miktar, basınç, sıcaklık ve atığın işleme maruz kalma süresi olmak üzere bütün işlemin elektronik olarak kayıt altında tutulması ve sterilizasyon işlemine tabi tutulan enfeksiyöz atıkların zararsız duruma getirilip getirilmediğinin kimyasal ve biyolojik indikatörler yardımıyla test edilmesi gerekmektedir (TAKY, 2017). Sterilizasyon işlemine tabi tutulan tıbbi atıklar “tehlikeli atık” olma niteliğinden çıkarak evsel atığa dönüşürler. Böylece sterilizasyona tabi tutulan tıbbi atıklar evsel atıklarla birlikte depolanabilir ve imha edilebilir hale getirilmektedir (Zeren, 2004). Sterilizasyon sisteminin avantajları olarak sıcaklık transferinin daha etkin ve hızlı olması, hacmin %70 oranında azaltılması, gözenekli ve buharın kolayca penetre olabildiği atıklar ve deliciler için uygunluk, yeterince ön vakum uygulandığı takdirde sistemin etrafında uçucu organik karbon tespit edilmemesi, son vakumlama yaptığı için ayrıca işlenen atığın kurutulmasına gerek olmaması sayılabilir. Dezavantajları ise patolojik atıklar, kimyasal atıklar ve düşük radyoaktifiteli atıkların bertarafı için uygun olmaması, etrafında yeterli hava akımı olmadığı takdirde koku problemi oluşabilmesidir (Akcan, 2012).

Kimyasal Dezenfeksiyon (A4): Kimyasal dezenfektanlar sağlık sektöründe uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Dezenfektanlar, enjeksiyondan önce vücuttaki belirli bir alanın hazırlanmasından çalışma alanlarındaki temizlik yüzeylerine kadar çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır. Kimyasal dezenfektanlar son dönemlerde tıbbi atıklar için de kullanılmaktadır (Özdemir, 2019). Kimyasal dezenfeksiyonda, atık maddelerdeki mikroorganizmaları öldürmek için ozon, aldehytler, klor bileşikleri, amonyum tuzları ve fenolik bileşikler kullanılır (Delioğlu, 2019). Kimyasal dezenfektanlar genellikle; kesici ve delici atıklar, kültürler ve stoklar, kan, sıvı insan ve hayvan atıkları ile kirlenmiş maddeler, cerrahiden ve izolasyon servislerinden çıkan kalıntılar, bandajlar, gazlı bez, keten, önlük ve diğer benzer malzemeler ve kimyasal olmayan laboratuvar atıkları işlemek için kullanılır. İdeal olarak, bir dezenfektan; virüslerin yanı sıra tüm mikroorganizmaları da yok edebilen, yüksek derecede stabiliteye sahip, insanlar veya hayvanlar için toksik olmayan, suda çözünebilen, tatsız, kokusuz ve nispeten ucuz olmalıdır (Diaz vd., 2005).

5.3. Kriterlerin Belirlenmesi

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda 4 kriter tanımlanmış ve belirlenen kriterler ve açıklamaları Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Kullanılan kriterler ve açıklamaları

Kriter No	Kriterin Adı	Birim, Tercih yönü	Açıklamalar
c1	Enerji Geri Kazanımı (EGK)	kW ton ⁻¹ , artan	Aritılan her bir ton için harcanan elektrik enerjisinin azalması, geri kazanımın artması gerekir.
c2	Yatırım ve İşletme Maliyeti (YİM)	\$, azalan	Tüm tesisin araç-gereç, ekipman gibi Yatırım maliyetlerinin düşük, yöntemin ucuz olması gerekir. Tesisin işletmesi için gereken maliyetlerin (enerji, personel, sistem vb.) de düşük olması gerekir.
c3	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı (ESGY)	1-9 puanı, azalan	Karbondiyoksit, metan gazı gibi atmosfer dengesini bozan sera gazı üretiminin minimum olması gerekir.
c4	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma (İSHA)	%, artan	Depolama işlemi açısından beklenen durum, bertaraf sonrası atık hacminin azalmasıdır.

Yatırım ve İşletme Maliyeti (YİM): Bu maliyetler için kullanılan değerler referanslarla Tablo 5.3’de verilmiştir. Bertaraf maliyetleri temel olarak atık bertaraf teknolojisinin türüne bağlıdır. Çünkü büyük-ölçekli teknolojiler, Yatırım maliyetleri, yer bulma, tesis kurma, ekipman ve donanım maliyetleri, işletme maliyetleri, nakliye, yükleme, lisans ve ruhsat işlemlerini içerir (Tavzar, 2014).

Tablo 5.3. Alternatiflerin maliyetleri (Tavzar, 2014)

Alternatif	Kapasite (kg/saat)	Yatırım Maliyeti (US \$*1000)	İşletme Maliyeti (US \$/kg)
Otoklav	23-3.600	30-1.780	0.13-0.36
Kimyasal bertaraf	11-6.800	20-890	0.15-2.2
Mikrodalga	23-410	70-710	0.10-0.42
Yakma (hava kirliliği denetimi yüksek teknolojiye sahip)	250-4.000	120-6.000	0.15-0.30

İşlem Sonrası Hacimsel Azalma (İSHA): Bu kriter, bertaraftan sonra tıbbi atıkların hacmindeki azalmaya dayanmaktadır. Kullanılan değerler A1 için % 95, A2 için % 80, A3 için % 75 ve A4 için % 75 olarak alınmıştır (Özkan, 2013).

Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı (ESGY): Yakma sonucunda, atmosfere birçok zararlı kirletici madde yayılmakta olup, bunlar; karbon monoksit (eksik yanmanın bir sonucu olarak), hidrojen klorür, metaller (örneğin cıva kurşun, arsenik, kadmiyum), dioksinler ve furanlardır. Sterilizasyon sırasında bir dizi uçucu organik bileşiğin düşük seviyelerde salındığı bildirilmiştir. Mikrodalga fırın sistemi üzerinde yapılan hava testlerinin, atık işleme sırasında hiçbir zararlı hava emisyonunun salınmadığını doğrulamış olup, sistemin yüksek verimli bir partikül hava (HEPA) filtresi içerdiği belirtilmiştir (Özkan, 2013). Ayrıca kimyasal dezenfeksiyon sırasında egzoz havası, parçalama sırasında aerosol oluşumuna karşı koruma sağlamak için yüksek verimli partikül filtresinden geçirilir. Atıklar, kimyasal dezenfektanlarla karıştırılarak kapalı bir sistemde ve/veya belirli bir süre negatif basınç altında tutulur. Kimyasal dezenfektan kullanmanın avantajları arasında, düşük etkili konsantrasyon, kararlı performans, hızlı etki ve geniş sterilizasyon spektrumunun yanı sıra kalıntı tehlikelerinin olmadığı belirtilmiştir (İlyas vd., 2020).

Enerji Geri Kazanımı (EGK): Türkiye'deki bir tıbbi atık yakma tesisinde, 1 ton tıbbi atığı bertaraf etmek için 5,22 ton h⁻¹ buhar ve 428 kW h⁻¹ elektrik enerjisi üretilmektedir (Şamat, 2006). Büyük ölçekli mikrodalga sistemleri, bir ila altı mikrodalga jeneratörüne (mıknatıslar) sahip olabilir. Genel olarak, her magnetronun 1,2 kW gücünde bir güç çıkışı vardır (Diaz vd., 2005). Benzer şekilde, sterilizasyon işlemi için buhar kullanılır. Bu nedenle, mikrodalga, sterilizasyon ve kimyasal dezenfeksiyon sistemleri için enerji geri kazanımı olmadığı düşünülmüştür.

5.4. Ağırlıklandırma Yöntemleri

MCDM probleminde kriter ağırlıklandırma işleminin amacı, kriterleri bir değer ile ilişkilendirerek bu kriterlerin karar problemindeki öncelikli önemini belirleyebilmektir. Böylece elde edilen ağırlıklandırılmış sonuçlar karar verilen yöntemde alternatiflerin değerlendirilmesi ve sıralanması için kullanılır. Ağırlıklandırma yöntemleri objektif ve subjektif olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu tez çalışmasında objektif yöntem olarak CRITIC ve sübjektif yöntem olarak AHP yöntemleri kullanılmıştır.

5.4.1. CRITIC Yöntemi

Kriterler arası korelasyon yoluyla kriter önemi yöntemi (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC)), birlikte ele alınan kriterlerin kendi içlerinde öncelikli önemlerinin objektif olarak hesaplandığı ağırlıklandırma şeklidir. Karar matrisinde normalleştirilmiş kriter değerlerinin sütunlara göre standart sapması ve tüm sütun çiftlerinin korelasyon katsayıları kullanılmaktadır (Bulğurcu, 2019).

Bir karar probleminde m adet uygun alternatif kümesi A_i ($i = 1, 2, \dots, m$) ve n adet kriter K_j ($j = 1, 2, \dots, n$) olduğu hipotezinden faydalananak sırasıyla aşağıda belirtilen adımlar takip edilir.

Adım 1: X karar matrisinin düzenlenmesidir Eşitlik (5.1). Bu karar matrisi farklı alternatiflere karşılık gelen kriter değerlerini barındırmaktadır.

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

$i = (1, \dots, m)$ ve $j = (1, \dots, n)$ x_{ij} , i. alternatifin j. kriter değerini ifade etmektedir.

Adım 2: Normalizasyon işleminin yapıldığı adımdır. Eşitlik (5.2) fayda (kazanç) yönlü kriterler için kullanılırken, Eşitlik (5.3) ise, maliyet yönlü kriterlere ait değerlerin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (5.2)$$

$$x_{ij}^* = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (5.3)$$

Burada; $i = (1, \dots, m)$ ve $j = (1, \dots, n)$ ve x_{ij}^* normalize edilmiş kriter değeridir.

Adım 3: Kriterler arasındaki ilişkinin öneminin belirlenmesi için kriterler arasındaki korelasyon katsayıları bu adımda hesaplanmaktadır. Bu aşamada dikkat edilen husus normalize edilen karar matrisindeki kriterlere ait değerlerin normal dağılımının olup olmamasıdır. Bu aşamada Eşitlik (5.4)'de görülen Pearson korelasyon katsayısı denklemi kullanılmaktadır.

$$p_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij}^* - \bar{x}_j)(x_{ik}^* - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij}^* - \bar{x}_j)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ik}^* - \bar{x}_k)^2}} \quad (5.4)$$

Adım 4: Her kriterde bulunan toplam bilginin hesaplandığı aşamadır. C_j bilgi miktarı, normalize edilmiş karar matrisinin sütun değerlerinin standart sapması (σ_j) da kullanılarak hesaplanmaktadır Eşitlik (5.5).

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n 1 - p_{jk} \quad (5.5)$$

Adım 5: Bütün kriterlerin sahip oldukları bilgilerin hesabı gerçekleştirildikten sonra son adım olan bu adımda kriterlere ait nesnel ağırlıklar (w_j) Eşitlik (5.6) ile hesaplanmaktadır.

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n C_k} \quad (5.6)$$

Eşitlik (5.6)'dan anlaşılabacağı gibi en yüksek değerden en düşük değere kadar kriterlerin ağırlıklarının sıralaması yapıldığında ortaya çıkan en yüksek ağırlığa sahip kriter en önemli olacaktır.

5.4.2. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Yöntemi

Her bir insan için aynı karar probleminde, karar kriterlerinin önem düzeyi ve karar seçeneklerinin değerlendirilmesinde yargılar farklılık gösterebilmektedir. Bu tür karar problemlerinin çözümünde analitik hiyerarşi süreci (AHP) daha etkin karar verme imkânı sağlayabilmektedir. AHP kompleks kararlar ile başa çıkmak için yapılandırılmış bir tekniktir. AHP karar vericilerin bir kararma yardımcı olduğu en uygun yöntem ve kişinin kararları organize şekilde yapmaya çalıştığı bir süreçtir. Matematik ve psikolojiye dayanarak AHP, Saaty (1980) tarafından bir model olarak geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir. AHP, karar hiyerarşisinin tanımlanabilmesi durumunda kullanılan, kararı etkileyen faktörler açısından karar noktalarının yüzde dağılımlarını veren bir karar verme ve tahminleme yöntemi olarak açıklanabilir. AHP bir karar hiyerarşisi üzerinde, önceden tanımlanmış bir karşılaştırma skalası kullanılarak gerek kararı etkileyen faktörler ve gerekse bu faktörler açısından karar noktalarının önem değerleri açısından, birebir karşılaştırmalara dayanmaktadır. Sonuçta önem farklılıkları, karar noktaları üzerinde yüzde dağılıma dönüşmektedir. AHP yönteminin algoritmik adımları aşağıda verilmiştir. (Kutlu vd., 2012)

Adım 1: Problem tanımlanır. Karar için gerekli olan ölçütler belirlenerek, ölçüt öncelikleri tespit edilir.

Adım 2: Hiyerarşik yapı oluşturulur. En üstte ulaşılması gereken temel hedef yer alır. Onun altında ise temel ölçütler ve alt ölçütler bulunur. Hiyerarşinin en altında ise alternatifler yer almaktadır. Hiyerarşinin aşama sayısı, problemin karmaşıklığına ve detay derecesine bağlıdır. Hiyerarşi oluşturulurken, aynı düzlemde yer alan seçeneklerin birbirlerinden tamamen bağımsız olduğu kabul edilir.

Adım 3: İkili karşılaştırmalar matrisi oluşturulur. 1 ile 9 arasında değerler alan bir önem derecesi ölçeği kullanılarak, önce temel ölçütler, varsa alt ölçütler ve son olarak tüm ölçütlerin dikkate alınarak ölçütlere göre karar seçeneklerinin karşılaştırıldığı matrisler oluşturulur. Karşılaştırma matrisleri köşegen elemanları 1 olan bir kare matristir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

(5.7)

a_{ij} , i. ölçüt ile j. ölçütün ikili karşılaştırma değeri olup, a_{ji} değeri $1/a_{ij}$ den elde edilir. Bu özelliğe, karşılık olma özelliği denir. a_{ij} değeri, “Ölçüt i değeri bir başka ölçüt j ye göre ne oranda tercih edilmelidir?” sorusunun cevabıdır. Karar seçenekleri her bir ölçüte göre ayrı ayrı karşılaştırılır. Karar matrisleri, Tablo 5.4’de Saaty tarafından önerilmiş olan 1-9 karşılaştırma ölçeği kullanılarak oluşturulur.

Tablo 5.4. Karşılaştırma Ölçeği (Kutlu vd., 2012)

Önemi	Tanım	Açıklama
1	Eşit öneme sahip	Her iki seçenekte eşit değerde öneme sahiptir.
2	Zayıf ya da hafif	
3	Biraz önemli	Bir ölçüt diğerine göre biraz daha önemli sayılmıştır.
4	Makul artı	
5	Fazla önemli	Bir ölçüt diğerine göre çok daha önemli sayılmıştır.
6	Güçlü artı	
7	Çok fazla önemli	Ölçüt diğer ölçüte göre kesinlikle çok daha önemli sayılmıştır.
8	Çok çok güçlü	
9	Son derece önemli	Bir ölçütün diğerine göre son derece önemli olduğu çeşitli bilgilere dayandırılmıştır.

Adım 4: İkili karşılaştırma matrisleri normalize edilir. Matristeki her eleman kendi sütun toplamına bölünerek, normalize edilir. Normalize edilmiş matrisin her bir sütun toplamı 1 olur.

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad , i, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{eşitliği kullanılır.} \quad (5.8)$$

Adım 5: Öncelik vektörü hesaplanır. Normalize edilmiş matrisin her bir satır toplamı, matrisin boyutuna bölünerek ortalaması alınır. Bulunan bu değerler her bir ölçüt için hesaplanan önem ağırlıklarıdır. Bu ağırlıklar, öncelik vektörünü oluşturur.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad , i, j = 1, 2, \dots, n \quad (5.9)$$

eşitliği kullanılır. Böylece, ölçütlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları elde edilir. Öncelikler vektörünün oluşturulması aşamasında dört farklı yol izlenebilir. Bunlar, En Genel Yöntem, Daha İyi Bir Yöntem, İyi Bir Yöntem, En İyi Yöntem başlıkları ile tanımlanabilir. Karşılaştırma matrisleri tutarlı olduğunda bu yöntemlerin dördü de aynı sonucu verecektir.

Adım 6: Tutarlılık oranı hesaplanır. İkili karşılaştırmaların yapılması ve önceliklerinin belirlenmesinin ardından karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı hesaplanır. İkili karşılaştırma yargısı sonucu oluşan bir A matrisinin tutarlı olup olmadığını belirleyebilmek için bir çok yöntemden bir tanesi olan “Tutarlılık İndeksi (Consistency Index-CI)” adı verilen katsayının hesaplanması gerekir. CI katsayısı;

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad \text{eşitliği ile hesaplanır. Burada;} \quad (5.10)$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right) \quad (5.11)$$

$$A \times W = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

$$\bullet \quad d_i = \frac{x_i}{w_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5.13)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (5.14)$$

Tutarlılığı değerlendirebilmek için “Rassal İndeks (Random Index-RI)” değerinin bilinmesi gerekir. n boyutlu karşılaştırma matrisleri için tanımlanan RI değerleri Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5. Karşılaştırma matrislerinin boyutlarına göre RI değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59

CI ve RI değerleri belirlendikten sonra “Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio-CR)” hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5.15)$$

Eşitlik (5.15) ile tanımlı CR’nin 0,10’dan küçük çıkması durumunda karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğuna karar verilir.

Adım 7: Ölçütler için ikili karşılaştırma matrisi oluşturularak, karar seçeneklerinin öncelik vektörü hesaplanır. Bu öncelik vektörü, ölçütler için ağırlık vektörü olarak da tanımlanabilir.

Adım 8: Karar seçenekleri sıralanır. Ölçütler için elde edilen öncelik vektörleri birleştirilerek, tüm öncelikler matrisi elde edilir. Tüm öncelikler matrisi ile karar seçeneklerinin öncelik vektörü çarpılıp toplanarak sonuç vektörü elde edilir. Bu vektörde en yüksek ağırlığa sahip olan karar seçeneği problemin çözümü için tercih edilmesi gereken karar seçeneği olarak belirlenir.

5.5. Kullanılan Değerlendirme Yöntemleri

Çok kriterli karar verme yöntemleri, çelişen somut ve soyut ölçütlere veya niteliklere göre karar seçeneklerinden en iyisini seçmek, seçenekleri sıralamak ya da sınıflandırmak için kullanılan yöntemlerdir. Birçok karar problemi birden çok kriter ve alternatif içermektedir. İnsanlar yaptığı her seçim esnasında alternatiflerin kriterlerine farklı değerler (ağırlıklar) atamaktadır. Birçok alternatif içerisinde en uygun olanın seçilmesi ile ilgili problemler çok kriterli ve çözülmesi zor problemler arasındadır (Arslan, 2018).

MCDM yöntemleri günümüzde birçok çalışmada kullanılmaktadır. Bu çalışmada AHP, COPRAS ve MULTIMOORA değerlendirme yöntemleri tercih edilmiştir.

5.5.1. COPRAS Yöntemi

COPRAS (COmplex PROportional ASsessment) “Kompleks Oransal Değerlendirme” anlamına gelen bu yöntem 1996 yılında, Vilnius Gediminas Teknik Üniversitesi araştırmacılarından olan Zavadskas ve Kaklauskas tarafından geliştirilmiştir. COPRAS yöntemi işlem adımları bakımından SAW yöntemine benzemektedir. SAW

yöntemi işlem adımlarının kısa ve kolay olması bakımından çok nitelikli karar verme (ÇNKV) yöntemleri içerisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. COPRAS yöntemi, karar alternatiflerinin performanslarını yüzdesel olarak ortaya koyabilmesi bakımından diğer ÇKKV yöntemlerinden ayrılmaktadır (Aydın, 2019).

COPRAS yönteminin avantajları şöyle sıralanabilir:

- AHP ve TOPSIS gibi diğer çok kriterli karar verme yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha az hesaplama zamanı gerektiren kullanımı oldukça basit bir yöntemdir.
- Alternatifleri ya da seçenekleri sıralama imkânı sağlar.
- Yöntem hem kalitatif hem de kantitatif kriterleri değerlendirme imkânı sağlar.

COPRAS hem maksimize hem de minimize edilmek istenen kriterlerin her ikisi içinde hesaplama yeteneğine sahiptir. Değerlendirme sürecinde her iki kriterde ayrı ayrı değerlendirilir. Bazı çok kriterli karar verme yöntemleri örneğin SAW gibi negatif değerlerin değerlendirilmesi için dönüşüm gerektirmekte ve bu işlem de karar verici için zaman almakta olup karmaşık bir durum yaratır. COPRAS Yönteminin aşamaları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır. (Aksoy vd., 2015)

Adım 1: Karar Matrisinin (X) Oluşturulması

Yöntemin ilk aşamasında karar vericiler tarafından karar matrisi Eşitlik (5.16)'da yer aldığı üzere i : karar seçeneklerini (alternatifleri), j : ölçütleri göstermek üzere oluşturulmaktadır.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

(5.16)

($i=1,2,3,\dots,m$ $j=1,2,3,\dots,n$)

Adım 2: Karar Matrisinin Normalizasyonu

Karar matrisi Eşitlik (5.17)'de verilen denklem yardımıyla normalize edilerek normalize karar matris $[x_{ij}^*]$ elde edilmektedir.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (i=1,2,3,\dots,m \quad j=1,2,3,\dots,n) \quad (5.17)$$

Adım 3: Normalize Matrisinin Ağırlıklandırılması

Bu işlem adımında Eşitlik (5.18)'de verilen formül yardımıyla bir önceki işlem adımında elde edilen normalize karar matrisinin ilgili sütunlarının kriter ağırlıkları (w_j) ile çarpılması ile ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilmektedir. Bu aşamada kriter ağırlıkları uygulayıcı tarafından farklı yöntemler kullanılarak belirlenebilmektedir.

$$D = [d_{ij}] = x_{ij} * w_j \quad (5.18)$$

Adım 4: Ağırlıklı Normalize İndekslerin Toplanması

COPRAS yönteminin bu aşamasında Si^+ ve Si^- değerleri sırasıyla Eşitlik (5.19) ve Eşitlik (5.20)'de verilen denklemler aracılığıyla hesaplanmaktadır. Bunlardan Si^- değeri minimizasyon yönlü ölçütlere göre hesaplanmakta olup bu değer ne kadar küçük ise amaca ulaşmanın o kadar iyi olduğu durumu ifade etmektedir. Si^+ değeri ise maksimizasyon yönlü ölçütlere göre hesaplanmakta olup bu değer ne kadar yüksek ise amaca ulaşmanın da yüksek olacağını göstermektedir.

$$S_i^+ = \sum_{j=1}^k d_{ij} \quad j=1,2,\dots,n \text{ faydalı kriterler} \quad (5.19)$$

$$S_i^- = \sum_{j=k+1}^n d_{ij} \quad j=k+1,k+2,\dots,n \text{ faydasız kriterler} \quad (5.20)$$

Adım 5: Alternatiflerin Görelî Önem Değerlerinin Hesaplanması

Q_i , alternatiflerin önem derecesini belirtmek üzere Eşitlik (5.21)'de verilen denklem yardımıyla hesaplanmaktadır. Her bir alternatif için hesaplanan Q_i değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralanması sonucunda en yüksek değeri alan alternatif en iyi olarak belirlenmektedir.

$$Q_i = S_{+i} + \frac{S_{-min} \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \sum_{i=1}^m \frac{S_{-min}}{S_{-i}}} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (5.21)$$

Adım 6: Her Bir Alternatifin Performans Derecesinin Belirlenmesi

Her bir alternatifin performans derecesi Eşitlik (5.22)'de verilen denklem ile hesaplanmaktadır. Burada N_i değeri 100 olan alternatifin en iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir.

$$N_i = \left(\frac{Q_i}{Q_{max}} \right) \times 100\% \quad (5.22)$$

5.5.2. MULTIMOORA Yöntemi

MOORA (Multi-objective Optimization By Ratio Analysis) metodu; ilk kez Willem Karel M. Brauers ve Edmundas Kazimieras Zavadskas tarafından bir bütün olarak 2006 yılında "Control and Cybernetics" adlı çalışmaları ile ortaya çıkmıştır. Metodun başlıca öne çıkan üstünlükleri; tüm amaçları dikkate ve değerlendirmeye alması,

alternatifler ve amaçlar arasındaki tüm etkileşimler bölüm bölüm değil, aynı anda göz önüne alması, sübjektif ağırlıklı normalleştirme yerine sübjektif olmayan tarafsız değerler kullanmasıdır (Aksoy vd., 2015). MOORA yöntemi diğer çok kriterli karar verme tekniklerine kıyasla, hesaplama zamanı, basitlik, matematiksel işlemlerin miktarı, güvenilirlik ve analizlerde kullanılan veri türleri açısından daha çok tercih edilen bir yöntemdir (Arslan, 2018).

Literatürde; MOORA-Oran Metodu, MOORA-Referans Noktası Yaklaşımı, MOORA-Önem Katsayısı, MOORA-Tam Çarpım Formu ve MULTIMOORA gibi çeşitli MOORA metotları bulunmaktadır. MULTIMOORA tek başına bir metot olmayıp; diğer MOORA metotları sonucu yapılan sıralamaları en son baskınlıklarına göre değerlendirilerek, son bir değerlendirme yapılmasını sağlamaktadır (Aksoy vd., 2015).

5.5.2.1 MOORA Oran Metodu

Oran metodunda, $i = 1, 2, \dots, m$ alternatif sayısı, $j = 1, 2, \dots, n$ kriter (amaç) sayısı olmak üzere, her bir alternatifin karelerinin toplamının kareköküne kriterler bölünerek normalizasyon işlemi yapılır, bu aşama; (5.23) numaralı eşitlikle gerçekleştirilir.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m x_{kj}^2}} \quad (5.23)$$

x_{ij}^* ; i.alternatifin, j.amaçtaki (kriterdeki) değerinin normalleştirilmiş halidir. $x_{ij}^* \in [0,1]$ dir.

Bu normalizasyon işleminden sonra hazırlanan tabloda amaçların maksimum veya minimum olmasına göre belirlenip toplanırlar ve toplanan maksimum amaç değerlerinden toplanan minimum amaç değeri çıkartılır Yani $j = 1, 2, \dots, g$ maksimize edilecek amaçlar, $j = g+1, g+2, \dots, n$ minimize edilecek amaçlar olmak üzere;

$$y_i^* = \sum_{j=1}^g x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n x_{ij}^* \quad (5.24)$$

şeklinde yazılabilir. y_i^* ; i alternatifinin tüm amaçlara göre normalleştirilmiş değerlendirilmesidir. y_i^* ’lerin sıralanmasıyla MOORA Oran yöntemi tamamlanmaktadır.

5.5.2.2 MOORA Referans Nokta Yaklaşımı

Bu yaklaşımda, oran metoduna ek olarak, her amaç için; amaç maksimizasyon ise maksimum noktalar, minimizasyon ise minimum noktalar olan, maksimal amaç referans

noktaları (r_j 'ler) belirlenir. Belirlenen bu noktalara her x_{ij}^* 'lere olan uzaklıklar bulunmaktadır.

$$r_j - x_{ij}^* \quad (5.25)$$

(5.25) numaralı işlem yardımıyla matris oluşturulur.

Burada; $i=1, 2, \dots, m$ alternatiflerin sayısını,

$j=1, 2, \dots, n$ amaçların (kriterlerin) sayısını,

x_{ij}^* , i. alternatifin j. amaçtaki normalleştirilmiş değerini,

r_j , j. amacın (kriterinin) referans noktasını göstermektedir.

$$\min_i \{ \max_j (|r_j - x_{ij}^*|) \} \quad (5.26)$$

(5.26) numaralı eşitlik; uygulanır ve böylece referans nokta yaklaşım sıralaması yapılır.

5.5.2.3 MOORA Tam Çarpım Formu

MOORA tam çarpım formunda amaçların değerleri ve anlamları, çarpımlar şeklinde ifade edildiğinde; x_{ij} değerleri aşağıdaki (5.27) numaralı eşitlikleri kullanarak normalleştirilir: U_j : j. kriterin kullanılabilirliği olmak üzere;

$$U_j = \frac{A_j}{B_j}, \quad A_j = \prod_{g=1}^t x_{gj}, \quad B_j = \prod_{k=t+1}^n x_{kj} \quad (5.27)$$

Uygulanan MOORA metodlarının sonunda, yapılan sıralamalar toplu bir şekilde değerlendirilir ve bir baskınlık karşılaştırması yapılarak sıralama yapılır.

MULTIMOORA Yöntemi ÇVKV yöntemi olarak diğer AHP, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE ve PROMETHEE yöntemlerinden hesaplama süresi bakımından oldukça avantajlıdır. Aynı şekilde basitlik ve matematiksel işlemler açısından kıyaslandığında da oldukça kolay bir yöntemdir. Bununla birlikte güvenilirlik düzeyi yukarda belirtilen yöntemlere göre de üst seviyededir (Aksoy vd., 2015).

6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde kriter ağırlıklandırma ve alternatiflerin değerlendirilmesi ile ilgili sonuçlar verilmiştir. CRITIC, COPRAS ve MULTIMOORA yöntemleri için belirlenen karar matrisi Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Karar Matrisi

	Enerji Geri Kazanımı (kWton ⁻¹) (c1)	Yatırım ve İşletme Maliyeti (ABD \$*1000) (c2)	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı (1-9 Puan) (c3)	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma (%) (c4)
Yakma (A1)	428	6000	6	95
Mikrodalga Işınlama (A2)	0,1	710	2	80
Sterilizasyon (A3)	0,1	1780	1	75
Kimyasal Dezenfeksiyon (A4)	0,1	890	2	75

6.1. Kriter Ağırlıklandırma Sonuçları

Performans değerleri belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması CRITIC ve AHP teknikleri kullanılarak yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

6.1.1. CRITIC Yöntemi Sonuçları

CRITIC yöntemi kullanılarak yapılan kriter ağırlıklandırma sonuçları aşağıdaki tablolarda aşamalı olarak verilmiştir.

Normalize edilmiş karar matrisinin elde edilmesi: Bu adımda her bir kritere ait değerler normalize edilmiştir. Normalize edilmiş karar matrisi Tablo 6.2’de gösterilmektedir.

Tablo 6.2. CRITIC yöntemi için normalize karar matrisi

	c1	c2	c3	c4
Yön	Artan	Azalan	Azalan	Artan
A1	1	0	0	1
A2	0	1	0,8	0,25
A3	0	0,7977	1	0
A4	0	0,9659	0,8	0

Kriterlere ait ilişki katsayısı (korelasyon) matrisinin belirlenmesi: Bu aşamada kriterler arasındaki ilişkinin gücünü ortaya koymak için kriterler arasındaki korelasyonun katsayıları Tablo 6.3’de gösterilmektedir.

Tablo 6.3. *İlişki katsayısı matrisi*

	c1	c2	c3	c4
A1	1	-0,9820	-0,9771	0,9684
A2	-0,9820	1	0,9200	-0,9215
A3	-0,9771	0,9200	1	-0,9728
A4	0,9684	-0,9215	-0,9728	1

Toplam bilginin (cj) hesaplanması: Bu adımda her bir kriterde bulunan toplam bilgi (cj) ve sütun değerlerinin standart sapması (σ_j) Tablo 6.4’de gösterilmiştir.

Tablo 6.4. *σ_j ve cj değerleri*

σ_j	0,5	0,4690	0,4434	0,47324
cj	1,9953	1,8684	1,7871	1,85789

Kriterlere ait nesnel ağırlıkların (wj) hesaplanması: Kriterlere ait ağırlıklar Tablo 6.5’de verilmiştir.

Tablo 6.5. *wj değerleri*

	c1	c2	c3	c4
wj	0,2657	0,2488	0,2380	0,2474

Bu yöntemde en önemli kriter olarak enerji geri kazanımının ağırlık değerinin (0,2657) olduğu görülmüştür. Bu kriteri sırasıyla yatırım ve işletme maliyeti (0,2488), işlem sonrası hacimsel azalma (0,2474) ve emisyon ve sera gazı yayılımı (0,2380) takip etmektedir.

6.1.2. AHP yöntemi sonuçları

AHP yöntemi uygulanırken iki farklı karar vericinin bakış açısı gözönüne alınmış ve çevreci ve yatırımcı bakış açısı yansıtılmaya çalışılmıştır. İkili karşılaştırmalardan elde edilen sonuçlar Tablo 6.6’da verilmiştir.

Tablo 6.6. AHP'den elde edilen ağırlıklandırma sonuçları

Kriter	Ağırlıklandırma Sonuçları	
	Çevreci Bakış Açısı	Yatırımcı Bakış Açısı
Enerji geri kazanım (c1)	0,1059	0,3008
Yatırım ve işletme maliyeti (c2)	0,0782	0,5254
Emisyon ve sera gazı yayılımı (c3)	0,4797	0,0633
İşlem sonrası hacimsel azalma (c4)	0,3361	0,1103

Çevreci bakış açısına sahip karar verici için en önemli kriterin emisyon ve sera gazı yayılımı ağırlık değerinin (0,4797) olduğu görülmüştür. Bu kriteri sırasıyla işlem sonrası hacimsel azalma (0,3361), enerji geri kazanımı (0,1059) ve yatırım ve işletme maliyeti (0,0782) takip etmektedir. Bu ağırlıklandırma için tutarsızlık oranı (0,0438) bulunmuştur. Yatırımcı bakış açısına sahip karar vericide ise, en önemli kriterin yatırım ve işletme maliyeti ağırlık değerinin (0,5254) olduğu görülmüştür. Bu kriteri sırasıyla enerji geri kazanımı (0,3008), işlem sonrası hacimsel azalma (0,1103) ve emisyon ve sera gazı yayılımı (0,0633) takip etmektedir. Bu ağırlıklandırma için ise tutarsızlık oranı (0,0074) bulunmuştur.

6.2. Alternatiflerin Değerlendirme Sonuçları

Bu çalışmada CRITIC, AHP Çevreci ve AHP Yatırımcı yaklaşımlarından hesaplanan ağırlıklar ile AHP, COPRAS ve MULTIMOORA değerlendirme yöntemleri kullanılarak tıbbi atık yönetiminde en iyi alternatife ulaşmaya çalışılmıştır.

6.2.1. AHP Yöntemi Sonuçları

AHP ile kriter ağırlıklarının belirlenmesinin yanısıra, alternatifler de ikili karşılaştırmalar ile değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalar hem çevreci bakış açısı hem de yatırımcı bakış açısına göre elde edilen ağırlıklar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki değerlendirmeden elde edilen sonuçlar Tablo 6.7'de verilmiştir.

Tablo 6.7. AHP sonuçları

Alternatif	Nihai Karar Matrisi Sonuçları	
	Çevreci Bakış Açısı	Yatırımcı Bakış Açısı
Yakma (A1)	0,2731	0,2845
Mikrodalga Işınlama (A2)	0,2059	0,1265
Sterilizasyon (A3)	0,4076	0,3787
Kimyasal Dezenfeksiyon (A4)	0,1133	0,2101

Çevreci bakış açısına sahip karar verici için, en ideal alternatifin sterilizasyon (0,4076) olduğu belirlenmiştir. Sterilizasyon (0,4076) yöntemini sırasıyla; yakma (0,2731), mikrodalga ışınlama (0,2059) ve kimyasal dezenfeksiyon (0,1133) takip etmektedir.

Yatırımcı bakış açısına sahip karar verici için, en ideal alternatifin sterilizasyon (0,3787) olduğu belirlenmiştir. Sterilizasyon (0,3787) yöntemini sırasıyla; yakma (0,2845), kimyasal dezenfeksiyon (0,2101) ve mikrodalga ışınlama (0,1265) takip etmektedir.

6.2.2. COPRAS Yöntemi Sonuçları

CRITIC ve AHP (Çevreci ve Yatırımcı bakış açısıyla) yöntemlerinde hesaplanan kriter ağırlıkları ile yapılan COPRAS sonuçları Tablo 6.8- 6.12’de verilmiştir.

COPRAS yöntemi ilk olarak karar matrisinin normalize edilme işlemiyle başlamaktadır. Normalize edilmiş karar matrisi Tablo 6.8’de verilmiştir.

Tablo 6.8. *Normalize edilmiş karar matrisi*

Alternatif	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma
Yakma	0,9992	0,6396	0,5454	0,2923
Mikrodalga Işınlama	0,0002	0,0756	0,1818	0,2461
Sterilizasyon	0,0002	0,1897	0,0909	0,2307
Kimyasal Dezenfeksiyon	0,0002	0,0948	0,1818	0,2307

Normalize edilen karar matrisi CRITIC yönteminden elde edilen kriterlerin ağırlık katsayıları (W) ile çarpılarak Tablo 6.9’da ağırlıklandırılmış karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 6.9. *Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi*

Alternatif	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma
Yakma	0,2655	0,1591	0,1298	0,0723
Mikrodalga Işınlama	6,2044E-05	0,0188	0,0432	0,0609
Sterilizasyon	6,2044E-05	0,0472	0,0216	0,0570
Kimyasal Dezenfeksiyon	6,2044E-05	0,0236	0,0432	0,0570

Her bir alternatif için S_j^+ değerleri ve her bir alternatif için S_j^- değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.10’da verilmiştir.

Tablo 6.10. CRITIC ağırlıklandırmasına göre S_j^+ , S_j^- , Q_i ve N_i Değerleri

Alternatif	S_i^+	S_i^-	$1/S_i^-$	Q_i	$\max Q_i$	N_i	Sıralama
Yakma	0,3378	0,2889	3,460	0,3722	0,3722	100	1
Mikrodalga Işınlama	0,0609	0,0621	16,10	0,2208		59,32	2
Sterilizasyon	0,0571	0,0688	14,52	0,2013		54,09	4
Kimyasal Dezenfeksiyon	0,0571	0,0668	14,95	0,2056		55,23	3
Toplam		0,4868	49,03				

COPRAS Yönteminde CRITIC ağırlıklandırmasına göre, en ideal alternatifin yakma (100) olduğu belirlenmiştir. Yakma yöntemini sırasıyla; mikrodalga ışınlama (59,32), kimyasal dezenfeksiyon (55,23) ve sterilizasyon (54,09) takip etmektedir.

AHP Çevreci Yaklaşımında hesaplanan kriter ağırlıkları doğrultusunda COPRAS sonuçları Tablo 6.11’de verilmiştir.

Tablo 6.11. AHP çevreci yaklaşım ağırlıklandırmasına göre S_j^+ , S_j^- , Q_i ve N_i Değerleri

Alternatif	S_i^+	S_i^-	$1/S_i^-$	Q_i	$\max Q_i$	N_i	Sıralama
Yakma	0,2040	0,3117	3,208	0,2471	0,3069	80,50	2
Mikrodalga Işınlama	0,0827	0,0931	10,7353	0,2266		73,85	3
Sterilizasyon	0,0775	0,0584	17,1071	0,3069		100	1
Kimyasal Dezenfeksiyon	0,0775	0,0946	10,5651	0,2192		71,42	4
Toplam		0,5579	41,6157				

COPRAS Yönteminde AHP Çevre Yaklaşımı ağırlıklandırmasına göre, en ideal alternatifin sterilizasyon (100) olduğu belirlenmiştir. Sterilizasyon yöntemini sırasıyla; yakma (80,50), mikrodalga ışınlama (73,85) ve kimyasal dezenfeksiyon (71,42) takip etmektedir.

AHP Yatırımcı Yaklaşımında hesaplanan kriter ağırlıkları doğrultusunda COPRAS sonuçları Tablo 6.12’de verilmiştir.

Tablo 6.12. AHP yatırımcı yaklaşım ağırlıklandırmasına göre S_j^+ , S_j^- , Q_i ve N_i Değerleri

Alternatif	S_i^+	S_i^-	$1/S_i^-$	Q_i	$\max Q_i$	N_i	Sıralama
Yakma	0,3329	0,3706	2,6980	0,3660	0,3660	100	1
Mikrodalga Işınlama	0,0272	0,0512	19,4970	0,2665		72,81	2
Sterilizasyon	0,0255	0,1054	9,4818	0,1419		38,77	4
Kimyasal Dezenfeksiyon	0,0255	0,0613	16,2939	0,2255		61,61	3
Toplam		0,5887	47,9708				

COPRAS Yönteminde AHP Yatırımcı Yaklaşımı ağırlıklandırmasına göre, en ideal alternatifin yakma (100) olduğu belirlenmiştir. Yakma (100) yöntemini sırasıyla; mikrodalga ışınlama (72,81), kimyasal dezenfeksiyon (61,61) ve sterilizasyon (38,77) takip etmektedir.

6.2.3. MULTIMOORA Yöntemi Sonuçları

CRITIC, AHP Çevreci ve AHP Yatırımcı yöntemlerinde hesaplanan kriter ağırlıkları doğrultusunda MULTIMOORA sonuçları Tablo 6.13-6.30'da verilmiştir.

Karar matrisinin normalleştirilme işlemi, sütunlardaki her bir değer, ilgili sütundaki bütün değerlerin kareleri toplamının kareköküne bölünüp tek paydaya indirgenmesiyle bulunmaktadır. Karar Matrisinin Normalizasyonu Tablo 6.13'de verilmiştir.

Tablo 6.13. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Alternatif	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma
Yakma	0,9999	0,9432	0,8944	0,5816
Mikrodalga Işınlama	0,0002	0,1116	0,2981	0,4898
Sterilizasyon	0,0002	0,2798	0,1490	0,4592
Kimyasal Dezenfeksiyon	0,0002	0,1399	0,2981	0,4592

Ağırlıklandırılmış Normalizasyon Matrisi ve Oran Metodu: Normalize edilmiş karar matris değerleri CRITIC yönteminden elde edilen kriterlerin ağırlık katsayıları (W) ile çarpılarak ağırlıklandırılmış karar matrisi Tablo 6.14 oluşturulmuştur. Oran metodu için; bu değerler amaç fonksiyon değerlerine göre toplanır ve bu değerlere göre sıralama yapılır.

Tablo 6.14. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi ve Oran Metodu

Alternatif	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma	$y_j^* = \sum \max X_{ij}^* - \sum \min X_{ij}^*$	Sıralama
Yakma	0,2657	0,2347	0,2128	0,1439	<u>-0,0379</u>	4
Mikrodalga Işınlama	6,20875E-05	0,0277	0,0709	0,1211	<u>0,0225</u>	1
Sterilizasyon	6,20875E-05	0,0696	0,0354	0,1136	<u>0,0085</u>	2
Kimyasal Dezenfeksiyon	6,20875E-05	0,0348	0,0709	0,1136	<u>0,0079</u>	3

Oran Metoduna göre, 1.sırada mikrodalga ışınlama, devamında ise sırasıyla sterilizasyon, kimyasal dezenfeksiyon ve yakma bulunmuştur.

Oran metodunun ardından her amaç için ayrı olarak, Maksimal Amaç Referans Noktaları belirlenir. Bu noktalar amaç fonksiyon değerine göre belirlenmektedir. Belirlenen bu noktalardan, her x_{ij}^* için uzaklık değerleri Tablo 6.15'deki gibi hesaplanmaktadır.

Tablo 6.15. Referans Noktaları

	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma
Referans Noktası	0,2657	0,0277	0,0354	0,1439

Tablo 6.15'deki 'daki gibi belirlenen referans noktaları ile Tablo 6.16'daki Referans Noktası Matrisi oluşturulur.

Tablo 6.16. Referans Noktası Matrisi

Alternatif	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma	Referans Noktası	Sıralama
Yakma	0,0000	0,2069	0,1774	0,0000	0,2069	1
Mikrodalga Işınlama	0,2656	0,0000	0,0354	0,0227	0,2656	2
Sterilizasyon	0,2656	0,0418	0,0000	0,0302	0,2656	2
Kimyasal Dezenfeksiyon	0,2656	0,0070	0,0354	0,0302	0,2656	2

Referans Noktası Metodu'na göre ise 1. sırada yakma, devamında ise 2.sırada mikrodalga ısınlama, sterilizasyon ve kimyasal dezenfeksiyon bulunmuştur.

Tam Çarpım Formu adımımda ise amaçların değerleri ve anlamları, çarpımlar şeklinde ifade edildiğinde; Tablo 6.17'deki değerler elde edilir.

Tablo 6.17. Tam Çarpım Matrisi

Alternatif	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma	Tam Çarpım	Sıralama
Yakma	0,9999	0,9855	0,9737	0,8745	0,9112	1
Mikrodalga Işınlama	0,1083	0,5794	0,7497	0,8381	0,2090	2
Sterilizasyon	0,1083	0,7283	0,6357	0,8248	0,1930	4
Kimyasal Dezenfeksiyon	0,1083	0,6130	0,7497	0,8248	0,1945	3

Tam Çarpım Formu'na göre ise 1. sırada yakma, devamında ise sırasıyla, mikrodalga ısınlama, kimyasal dezenfeksiyon ve sterilizasyon bulunmuştur.

Uygulanan MOORA metotlarının sonunda, elde edilen sıralamalar bir arada değerlendirilir ve bir baskınlık karşılaştırması yapılarak sıralamaya konulur. MULTIMOORA Sonuç Tablosu, Tablo 6.18'de gösterilmiştir.

Tablo 6.18. CRITIC ağırlıklandırma yöntemine göre MULTIMOORA Sonuç Tablosu

	Oran Metodu	Referans Noktası Yaklaşımı	Tam Çarpım Formu	Toplam	MULTIMOORA
Yakma	4	1	1	6	2
Mikrodalga Işınlama	1	2	2	5	1
Sterilizasyon	2	2	4	8	3
Kimyasal Dezenfeksiyon	3	2	3	8	3

MULTIMOORA Yönteminin CRITIC'e göre, en ideal alternatifin mikrodalga ısınlama olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga ısınlama yöntemini sırasıyla; yakma ve 3.sırada kimyasal dezenfeksiyon ile sterilizasyon takip etmektedir.

Ağırlıklandırılmış Normalizasyon Matrisi ve Oran Metodu: Normalize edilmiş karar matris değerleri AHP Çevreci Yaklaşım yönteminden elde edilen kriterlerin ağırlık katsayıları (W) Tablo 6.19 ile çarpılarak ağırlıklandırılmış karar matrisi Tablo 6.20 oluşturulmaktadır.

Tablo 6.19. *Kriter Ağırlık Tablosu*

Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma
0,1059	0,0782	0,4797	0,3361

Tablo 6.20. *Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi ve Oran Metodu*

Alternatif	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma	$y_j^* = \sum \max X_{ij}^* - \sum \min X_{ij}^*$	Sıralama
Yakma	0,1059	0,0737	0,4291	0,1955	-0,2014	4
Mikrodalga Işınlama	1,47477E-05	0,0087	0,1430	0,1646	0,0128	2
Sterilizasyon	1,47477E-05	0,0218	0,0715	0,1543	0,0609	1
Kimyasal Dezenfeksiyon	1,47477E-05	0,0109	0,1430	0,1543	0,0003	3

Oran Metoduna göre, 1.sırada sterilizasyon, devamında ise sırasıyla mikrodalga ışınlama, kimyasal dezenfeksiyon ve yakma bulunmuştur.

Referans Noktası Metodu: Oran metodunun ardından her amaç için ayrı olarak. Maksimal Amaç Referans Noktaları belirlenir. Bu noktalar amaç fonksiyon değerine göre belirlenmektedir. Belirlenen bu noktalardan, her x_{ij}^* için uzaklık değerleri Tablo 6.21'deki gibi hesaplanmaktadır.

Tablo 6.21. *Referans Noktaları*

	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma
Referans Noktası	0,1059	0,0087	0,0715	0,1955

Tablo.6.21’deki gibi belirlenen referans noktaları ile Tablo 6.22’deki Referans Noktası Matrisi oluşturulur.

Tablo 6.22. Referans Noktası Matrisi

Alternatif	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılmı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma	Max	Min Sıralama
Yakma	0,0000	0,0650	0,3575	0,0000	0,3575	2
Mikrodalga Işınlama	0,1058	0,0000	0,0715	0,0308	0,1058	1
Sterilizasyon	0,1058	0,0131	0,0000	0,0411	0,1058	1
Kimyasal Dezenfeksiyon	0,1058	0,0022	0,0715	0,0411	0,1058	1

Referans Noktası Metodu’na göre ise 1. sırada mikrodalga ışınlama, sterilizasyon ve kimyasal dezenfeksiyon, devamında ise 2.sırada ise yakma bulunmuştur.

Tam Çarpım Formu: Bu adımda ise amaçların değerleri ve anlamları, çarpımlar şeklinde ifade edildiğinde; x_{ij} değerleri Tablo 6.23’deki gibi normalleştirilir.

Tablo 6.23. Tam Çarpım Matrisi

Alternatif	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılmı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma	Tam Çarpım	Sıralama
Yakma	0,9999	0,9954	0,9478	0,8334	0,8833	1
Mikrodalga Işınlama	0,4124	0,8424	0,5595	0,7867	0,6883	3
Sterilizasyon	0,4124	0,9052	0,4012	0,7698	0,8741	2
Kimyasal Dezenfeksiyon	0,4124	0,8574	0,5595	0,7698	0,6617	4

Tam Çarpım Formu’na göre ise 1. sırada yakma, devamında ise sırasıyla, sterilizasyon, mikrodalga ışınlama ve kimyasal dezenfeksiyon bulunmuştur.

MULTIMOORA Sonuç Tablosu: Uygulanan MOORA metodlarının sonunda, elde edilen sıralamalar bir arada değerlendirilir ve bir baskınlık karşılaştırması yapılarak sıralamaya konulur. MULTIMOORA Sonuç Tablosu, Tablo 6.24’de gösterilmiştir.

Tablo 6.24. MULTIMOORA Sonuç Tablosu

	Oran Metodu	Referans Noktası Yaklaşımı	Tam Çarpım Formu	Toplam	MULTIMOORA
Yakma	4	2	1	7	3
Mikrodalga Işınlama	2	1	3	6	2
Sterilizasyon	1	1	2	4	1
Kimyasal Dezenfeksiyon	3	1	4	8	4

MULTIMOORA Yönteminin AHP Çevreci Yaklaşımına göre, en ideal alternatifin sterilizasyon olduğu belirlenmiştir. Sterilizasyon yöntemini sırasıyla; mikrodalga ışınlama, yakma ve kimyasal dezenfeksiyon takip etmektedir.

Ağırlıklandırılmış Normalizasyon Matrisi ve Oran Metodu: Normalize edilmiş karar matris değerleri AHP Yatırımcı Yaklaşım yönteminden elde edilen kriterlerin ağırlık katsayıları (W) Tablo 6.25 ile çarpılarak ağırlıklandırılmış karar matrisi Tablo 6.26 oluşturulmaktadır.

Tablo 6.25. Kriter Ağırlık Tablosu

Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma
0,3008	0,5254	0,0633	0,1103

Tablo 6.26. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi ve Oran Metodu

Alternatif	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma	$y_j^* = \sum \max X_{ij}^* - \sum \min X_{ij}^*$	Sıralama
Yakma	0,3008	0,4955	0,0566	0,0641	-0,1871	4
Mikrodalga Işınlama	1,47477E-05	0,0586	0,0188	0,0540	-0,0234	1
Sterilizasyon	1,47477E-05	0,1470	0,0094	0,0506	-0,1057	3
Kimyasal Dezenfeksiyon	1,47477E-05	0,0735	0,0188	0,0506	-0,0416	2

Oran Metoduna göre, 1.sırada mikrodalga ısınlama, devamında ise sırasıyla kimyasal dezenfeksiyon, sterilizasyon ve yakma bulunmuştur.

Referans Noktası Metodu: Oran metodunun ardından her amaç için ayrı olarak. Maksimal Amaç Referans Noktaları belirlenir. Bu noktalar amaç fonksiyon değerine göre belirlenmektedir. Belirlenen bu noktalardan, her x_{ij}^* için uzaklık değerleri Tablo 6.27'deki gibi hesaplanmaktadır.

Tablo 6.27. Referans Noktaları

	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma
Referans Noktası	0,3008	0,0586	0,0094	0,0641

Tablo.6.27'deki gibi belirlenen referans noktaları ile Tablo 6.28'deki Referans Noktası Matrisi oluşturulur.

Tablo 6.28. Referans Noktası Matrisi

Alternatif	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma	Max	Min Sıralama
Yakma	0,0000	0,4369	0,0472	0,0000	0,4369	2
Mikrodalga Işınlama	0,3007	0,0586	0,0188	0,0101	0,3007	1
Sterilizasyon	0,3007	0,1470	0,0094	0,0135	0,3007	1
Kimyasal Dezenfeksiyon	0,3007	0,0735	0,0188	0,0135	0,3007	1

Referans Noktası Metodu'na göre ise 1.sırada mikrodalga ısınlama, sterilizasyon ve kimyasal dezenfeksiyon devamında ise, 2.sırada yakma bulunmuştur.

Tam Çarpım Formu: Bu adımda ise amaçların değerleri ve anlamları, çarpımlar şeklinde ifade edildiğinde; x_{ij} değerleri Tablo 6.29'deki gibi normalleştirilir.

Tablo 6.29. Tam Çarpım Matrisi

Alternatif	Enerji Geri Kazanımı	Yatırım ve İşletme Maliyeti	Emisyon ve Sera Gazı Yayılmı	İşlem Sonrası Hacimsel Azalma	Tam Çarpım	Sıralama
Yakma	0,9999	0,9697	0,9929	0,9419	0,9782	1
Mikrodalga Işınlama	0,0808	0,3159	0,9261	0,9242	0,2551	2
Sterilizasyon	0,0808	0,5121	0,8863	0,9176	0,1633	4
Kimyasal Dezenfeksiyon	0,0808	0,3558	0,9261	0,9176	0,2250	3

Tam Çarpım Formu'na göre ise 1. sırada yakma, devamında ise sırasıyla, mikrodalga ışınlama, kimyasal dezenfeksiyon ve sterilizasyon bulunmuştur.

MULTIMOORA Sonuç Tablosu: Uygulanan MOORA metotlarının sonunda, elde edilen sıralamalar bir arada değerlendirilir ve bir baskınlık karşılaştırması yapılarak sıralamaya konulur. MULTIMOORA Sonuç Tablosu, Tablo 6.30'da gösterilmiştir.

Tablo 6.30. MULTIMOORA Sonuç Tablosu

	Oran Metodu	Referans Noktası Yaklaşımı	Tam Çarpım Formu	Toplam	MULTIMOORA
Yakma	4	2	1	7	3
Mikrodalga Işınlama	1	1	2	4	1
Sterilizasyon	3	1	4	8	4
Kimyasal Dezenfeksiyon	2	1	3	6	2

MULTIMOORA Yönteminin AHP Yatırımcı Yaklaşımına göre, en ideal alternatifi mikrodalga ışınlama olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga ışınlama yöntemini sırasıyla; kimyasal dezenfeksiyon, yakma ve sterilizasyon takip etmektedir.

Elde edilen bulgular ışığında, tıbbi atık yönetiminde en iyi alternatifi belirlemek amacıyla yöntemlere göre karşılaştırma tablosu Tablo 6.31'de verilmiştir. MCDM yöntemi yaklaşımı ile tek tip bir sıralama elde etmek için ortalama sıra yöntemi kullanılmıştır (Brodny ve Tutak, 2021). Tüm sonuçları toplayıp ortalamasını aldığımızda

son sütunda minimum değere sahip yakma ilk sırada, hemen arkasında mikrodalga ısınlama yer almaktadır. Son iki sırada yer alan sterilizasyon ve kimyasal dezenfeksiyon seçenekleri tercih edilmemelidir.



Tablo 6.31. Yöntemlere Göre Karşılaştırma Tablosu

Alternatif/Yöntem	AHP		COPRAS			MULTIMOORA			ORTALAMA	Sıralama
	Çevre	Yatırımcı	CRITIC	Çevre	Yatırımcı	CRITIC	Çevre	Yatırımcı		
Yakma	2	2	1	2	1	2	3	3	2	1
Mikrodalga Işınlama	3	4	2	3	2	1	2	1	2,25	2
Sterilizasyon	1	1	4	1	4	3	1	4	2,375	3
Kimyasal Dezenfeksiyon	4	3	3	4	3	3	4	2	3,25	4

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Tıbbi atıklarla ilgili mevcut şartlarda yapılabilecek en işlevsel uygulama, en az tıbbi atık üretiminin sağlanması, tıbbi atık yönetiminin hassasiyetle üzerinde durulması, çevreye ve insana en az zararı verecek en ekonomik yöntemin geliştirilmesidir. Tıbbi atık yönetiminde gerek Türkiye gerekse dünya ülkeleri için tartışma konusu ise en uygun tıbbi atık yönetiminin ne olduğudur. Literatür dahilinde incelenen araştırmalarda en uygun bertaraf yöntemi üzerine çalışmalar mevcuttur. Literatürde mevcut olan çalışmaların her biri en uygun tıbbi atık bertaraf yöntemi olarak farklı yöntemleri tespit etmişlerdir (Özkan, 2013; Xiao, 2018; Nabizadeh vd., 2018). Araştırmaların farklı bertaraf yöntemlerini uygun yöntem olarak belirlemiş olmaları çalışmada belirledikleri “uygun yöntem kıstaslarının” farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Örneğin Türkiye örnekleminde işletme ve yatırım maliyetleri bertaraf yönteminin uygunluğunu belirlemede öncelikli bir kriterdir. Ancak Birleşik Arap Emirlikleri gibi talebin fiyat esnekliğinin düşük olduğu ülkelerde, maliyet unsuru en uygun bertaraf yöntemini belirlemede öncelikli bir kriter olmayacaktır. Tam aksi bir örnekleimde, gelir düzeyi düşük ülkelerde ise maliyet en önemli kriter olurken bertaraf yönteminin doğa ve insan dostu olması öncelikli bir kriter olmayacaktır. Araştırmaların uygun bertaraf yöntemlerinin tespitinde yaptıkları farklılıkların bundan ileri geldiği söylenebilir. Türkiye örneklemini baz alan çalışmalarda ise sterilizasyonun uygun bertaraf yöntemi olarak üzerine uzlaşılan yöntem olduğu söylenebilir (Gündüzalp ve Güven, 2016; Aktaş, 2014; Özkan, 2013; Küçük, 2013; Özerol, 2005). En uygun bertaraf yöntemini belirleyen en önemli analitik değişken araştırmada baz alınan kriterlerdir. Bu kriterler ise ülkenin kendi mevcut şartları ile tıbbi atık profiline göre belirlenmektedir.

Tıbbi atık yönetiminin mevcut durumunu ortaya koyarak, tıbbi atık profiline en uygun bertaraf yöntemini tespit etmeyi amaçlayan bu çalışmanın bulgularında tıbbi atık yönetimi açısından önemli bilgiler elde edilmiştir. Tıbbi atık yönetimi kapsamında belirlenen yöntemler (Yakma, Mikrodalga Işınlama, Sterilizasyon ve Kimyasal Dezenfeksiyon), seçilen kriterlere göre (Yatırım ve İşletme Maliyeti, İşlem Sonrası Hacimsel Azalma, Emisyon ve Sera Gazı Yayılımı ile Enerji Geri Kazanımı) SWOT analizine tabi tutulmuş ve mevcut durum tüm yönleriyle ortaya konulmuştur.

Bu tez çalışmasında tıbbi atıkların yönetimi için en uygun yöntemi belirlemek amacıyla MCDM Yöntemleri kullanılmıştır. Bu kapsamda öncelikle kriterler iki farklı

(AHP ve CRITIC) yöntem ile ağırlıklandırılmış ve elde edilen sonuçlarla alternatifler AHP, COPRAS ve MULTIMOORA yöntemleriyle değerlendirilmiş ve alternatiflerin sıralaması belirlenmiştir. Tıbbi atık yönetiminde MCDM, tıbbi atık yönetim süreci aşamalarında bertaraf yöntemlerinin uygulanması kapsamında SWOT sonucunda ortaya çıkan olumlu ve olumsuz yanlar ve fırsat-tehditleri öncelik sıralamasını belirlemek, bertaraf yöntemlerinin getirdiği faydaları tespit etmek ve en faydalı yöntemi belirlemek, mevzuat ile uygulama arasındaki boşlukların çözümüne yönelik en iyi seçeneği saptamak gibi noktalarda önemli sonuçlar ortaya koymuştur.

AHP metodu kullanılarak yapılan ağırlıklandırma sonuçlarında AHP Çevreci ve AHP Yatırımcı olarak iki yaklaşım benimsenmiştir. AHP Çevreci Yaklaşımında en önemli kriterin “emisyon ve sera gazı yayılımı”, AHP Yatırımcı Yaklaşımında ise en önemli kriterin “Yatırım ve işletme maliyeti” olduğu görülmektedir. CRITIC ağırlıklandırma sonucunda ise en önemli kriterin ‘enerji geri kazanımı’ olduğu görülmektedir.

Kullanılan AHP çevreci ağırlıklandırma yöntemleri ile yapılan AHP, COPRAS ve MULTIMOORA sonuçlarında en iyi alternatifin “Sterilizasyon” olduğu görülmektedir. Bu sonucun gözlenme sebebi, Sterilizasyon işleminde tehlikeli emisyon ve radyasyon oluşmamakla beraber proste kimyasal madde kullanılmamasından dolayı temiz ve çevre ile dost bir alternatif olmasıdır. AHP yatırımcı ağırlıklandırma yöntemleri ile yapılan AHP, COPRAS ve MULTIMOORA sonuçlarında ise, en iyi alternatifin Sterilizasyon, Yakma ve Mikrodalga Işınlama olduğu görülmektedir. Bu sonucun gözlenme sebebi, sterilizasyon yönteminin işletme ve bertaraf maliyetlerinin düşük olmasından kaynaklıdır. Yakma işleminde ise, sermaye ve işletme maliyetinin yüksek olması dezavantaj gibi görünse de proses sonucu enerji geri kazanımı, en etkin hacim azaltma yöntemi olması ve atık bertaraf maliyetlerinin düşük olması yakma yöntemini öne çıkartmaktadır. CRITIC ağırlıklandırma yöntemleri ile yapılan COPRAS ve MULTIMOORA sonuçlarında ise, en iyi alternatifin sırasıyla “Yakma” ve “Mikrodalga Işınlama” olduğu görülmektedir. Tüm sonuçların ortalaması alındığında son sütunda minimum değere sahip yakma ilk sırada, hemen arkasında mikrodalga ışınlama en iyi alternatif olarak tercih edilmelidir. Son iki sırada yer alan sterilizasyon ve kimyasal dezenfeksiyon seçenekleri tercih edilmemelidir.

Değerlendirilen yöntemlerin her biri tıbbi atık yönetiminde karşılaşılan pek çok farklı problemi çözmek için kolaylık sağlayabilecek etkin yöntemlerdir. Tıbbi atıkların yönetim süreci hem riskli hem de maliyetli bir süreçtir. Tıbbi atıkların yönetim

süreçlerinde uygun karar verme yöntemlerinin kullanılması ile hem zamandan tasarruf sağlanırken hem de olası risklerin engellenmesi mümkündür. Bu tarz atıkların yönetim süreçlerinde çevresel, ekonomik, teknolojik, sosyal ve teknik pek çok parametrenin dikkate alınması gereklidir. MCDM yöntemleri ile en uygun tıbbi atık yönetiminde alternatif seçiminin bilimsel ve teknik esaslara dayalı belirlenmesi mümkün olmaktadır. Literatürde de kabul görmüş MCDM yöntemleri arasında en etkin algoritmalarından olan AHP, COPRAS ve MULTIMOORA'nın entegrasyonu ile karmaşık olan tıbbi atık yönetim süreçlerinin değerlendirilmesi rahatlıkla yapılabilmektedir.

Sonuç olarak bu tez çalışması ile tıbbi atıkların yaydığı tehlikeli ve taşıdığı yüksek risklere bağlı olarak çözümün odak noktasında tıbbi atık yönetiminin ne kadar değerli olduğu anlaşılmış, tıbbi atıkların yönetim süreci bütünsel bir yaklaşım ile çevresel, ekonomik, teknolojik ve politik unsurlar göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların tıbbi atıkların yönetimi için kullanılabilecek olmasının yanı sıra, uygulanan yaklaşımın diğer atıkların yönetim sistemleri için de kullanılması mümkün olabilecektir.

KAYNAKÇA

- Akcan, A. (2012). *Samsun'da Tıbbi Atık Yönetiminin İncelenmesi ve Maliyet Bileşenleri*. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Akkaya, S. (2015). *Samsun İli Tıbbi Atık Yönetimi*. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Aksoy, E., Ömürbek, N. ve Karaatlı, M. (2015). AHP Temelli MULTIMOORA ve COPRAS Yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmeleri'nin Performans Değerlendirmesi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33(4), 1-28.
- Aktaş, F. (2014). Tıbbi ve Tehlikeli Atık Yönetimi. *Hastane Enfeksiyonları Dergisi*, 18(1), 99-103.
- Arıkan, O.A. ve Öztürk, İ. (2016). Türkiye'de Tıbbi Atık Yönetimi. III. Ulusal Sağlık Kuruluşları Çevre Yönetimi Sempozyumu, İstanbul, 11-24.
- Arslan, R. (2018). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bütünleştirilmesi: OECD Verileri Üzerine Bir Uygulama*. Doktora Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Assis, M. C., Gomes, V. A., Balista, W. C. and Freitas, R. R. (2017). Use of performance indicators to assess the solid waste management of health services. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89, 2445-2460.
- Aung, T. S., Luan, S. and Xu, Q. (2019). Application of multi-criteria-decision approach for the analysis of medical waste management systems in Myanmar. *Journal of Cleaner Production*, 222, 733-745.
- Aydemir, İ. (2017). Türkiye'de Çevre Bilinci Kapsamında Tıbbi Atık Üretim Süreçleri ve Yönetimi. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (BUSBED)*, 7(13), 295-311.
- Aydın, B. (2019). *Farklı Ağırlıklandırma Temelli Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Finansal Performans Ölçümü Üzerine Bütünleşik Bir İnceleme: Türkiye*

- Taşkömürü Kurumu Örneği*. Yüksek Lisans Tezi. Bartın Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bartın.
- Aykut, Ü. (2014). *Çevresel Açıdan Tıbbi Atık Yönetimi (Antalya Örneği)*. Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Bllaca, L. (2017). *Kosova Sağlık Sistemi SWOT Analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Brodny, J. and Tutak, M. (2021). Assessing sustainable energy development in the central and eastern European countries and analyzing its diversity. *Science of The Total Environment*, 801, 149745.
- Bulğurcu, B. (2019). Çok Nitelikli Fayda Teorisi ile CRITIC Yöntem Entegrasyonu: Akıllı Teknoloji Tercih Örneği. *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 13(19).
- Chartier, Y. (Ed.). (2014). *Safe Management Of Wastes From Health-Care Activities*. World Health Organization.
- Chen, C., Chen, J., Fang, R., Ye, F., Yang, Z., Wang, Z., Shi, F. and Tan, W. (2021). What medical waste management system may cope With COVID-19 pandemic: Lessons from Wuhan. *Resources, conservation, and recycling*, 170, 105600.
- Chisholm, J. M., Zamani, R., Negm, A. M., Said, N., Abdel Daiem, M. M., Dibaj, M. and Akrami, M. (2021). Sustainable waste management of medical waste in African developing countries: A narrative review. *Waste management & research: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 39(9), 1149–1163.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2010). *Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik*
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2013). *Güvenli Tıbbi Atık Yönetimi*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 63.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2015). *Atık Yönetimi Yönetmeliği*
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2017). *Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*

- Delioğlan, Z. (2019). *Tıbbi Atık Sterilizasyonu ve Erzurum İli Örneği*. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Devebakan, N. (2007). *Özel Sağlık İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Diaz, L. F., Savage, G. M. and Eggerth, L. L. (2005). Alternatives for the treatment and disposal of healthcare wastes in developing countries. *Waste management*, 25(6), 626-637.
- Doğanyığıt, R. (2020). Gaziantep İlinde Tehlikeli Atık Yönetimi. *IX. Umteb International Congress on Vocational & Technical Sciences*. Gaziantep.
- Durmuşcan, Ö. (2019). *Türkiye’de Tıbbi Atık Sorunları ve Çözüm Önerileri*, Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Adana.
- Dündar, E. (2010). *Hastane Atıklarının Yönetiminde Geri Kazanılabilir Atık Miktarlarının Tespiti ve Ekonomik Değeri: (Ankara Örneği)*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 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.
- Erol, Y. (2019). *Stratejik Yönetimde SWOT Analizi ve Bir İşletmede Uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Kültür Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Ertaş, H., ve Güden, M. A. (2019). Hastanelerde Tıbbi Atık Yönetimi. *Sosyal Araştırmalar ve Yönetim Dergisi*, (1), 53-67.
- Eskitürk, A. (2002). *Hastane Atıklarının Yönetiminde Atık Minimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gönüllü, M.T., Aydınır, F.İ., Sevimoğlu, O. ve Kural, C. (1996). Dispanser ve Özel Hastanede Oluşan Katı Atık Miktarları. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2(3), 237-41.

- Günay, Ü. and Dursun, S. A. (2020). Review on The Combustion Systems in Medical Waste Management and Its Environmental Effects in Turkey. *International Journal of Environmental Pollution and Environmental Modelling*, 3(3), 104-111.
- Gündüzalp, A. A. ve Güven, S. (2016). Atık, Çeşitleri, Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm ve Tüketici: Çankaya Belediyesi ve Semt Tüketicileri Örneği. *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi*, 9.
- Güneş, G. ve Ertürk, F. (2009). İZAYDAŞ Tehlikeli Atık Yakma Tesisinde Dioksin/Furan Oluşumunun ve Gideriminin İncelenmesi. *Ekoloji Dergisi*, 18, (70), 67-73.
- Hossain, M.S., Santhanam, A., Nik Norulaini N.A. and Omar A.K. (2011). Clinical solid waste management practices and its impact on human health and environment--A review. *Waste Management*. 31(4), 754-66.
- http-1, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/gostergeler-2017-> Erişim Tarihi: 05 Haziran 2019
- http-2, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste> Erişim Tarihi: 10 Aralık 2020
- http-3, <https://www.epa.gov/rcra/medical-waste> Erişim Tarihi:18 Ekim 2021
- http-4, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=cevre-ve-enerji-103&dil=1> Erişim tarihi: 23 Aralık 2021
- http-5, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=saglik-ve-sosyal-koruma-101&dil=1> Erişim Tarihi: 23 Aralık 2021
- Ilyas, S., Srivastava, R. R., and Kim, H. (2020). Disinfection technology and strategies for COVID-19 hospital and bio-medical waste management. *The Science of the total environment*, 749, 141652.
- İçellioğlu, C. Ş. (2014). Kent Turizmi ve Marka Kentler: Turizm Potansiyeli Açısından İstanbul'un SWOT Analizi. *Sosyal Bilimler Dergisi*, (1), 37-55.
- Khan, B. A., Cheng, L., Khan, A. A. and Ahmed, H. (2019). Healthcare Waste Management in Asian Developing Countries: A Mini Review. *Waste Management & Research*, 37(9), 863-875.

- Koçak, O., Kurtuldu, H., Akpek, A., Koçoğlu, A., ve Eroğul, O. (2016). A Medical Waste Management Model for Public Private Partnership Hospitals. *In 2016 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO), Antalya*, 1-4.
- Kutlu, B. S., Abalı, Y. A. ve Eren, T. (2012). Çok lutl Karar Verme Yöntemleri ile Seçmeli Ders Seçimi. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(2), 5-25.
- Küçük, A. (2013). Tıbbi Atık Yönetiminin Ekonomisi. *Sayıştay Dergisi*, (90), 73-95.
- Krk, R., (2019). *Hastanelerde Tıbbi Atık Maliyeti ve Tıbbi Atığa İlişkin alışan Farkındalığı zerine Bir Araştırma*, Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı, Isparta.
- Manupati, V. K., Ramkumar, M., Baba, V., and Agarwal, A. (2021). Selection of the best healthcare waste disposal techniques during and post COVID-19 pandemic era. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125175.
- Manyele, S.V. and Lyasenga, T.J. (2010). Factors Affecting Medical Waste Management in Low-Level Health Facilities in Tanzania. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4, 304-318.
- Nabizadeh, R., Mahvi, A., H., Khazaei, M., Zamanzadeh, M., Yari, A., R. and Jafari, A., (2018). A Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Approach For Evaluating The Health-Care Waste Treatment Alternatives. *Environmental Engineering and Management Journal*, 17(12), 2795-2805.
- zdemir, M. (2019). *Ankara İli ankaya İlçesinde Tıbbi Atık Yönetiminin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Özerol, İ. H. (2005). Tıbbi Atık Stratejileri Nelerdir? EN/ISO Normları Nelerdir? Avrupa’da Birlik? ABD’nin Yaklaşımı? Ülkemizde Durum?. 4. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, 434-472.
- zkan, A., (2013). Evaluation of healthcare waste treatment/disposal alternatives by using multi-criteria decision-making techniques. *Waste Management & Research* 31(2), 141-149.

- Peng, J., Wu, X., Wang, R., Li, C., Zhang, Q. and Wei, D. (2020). Medical waste management practice during the 2019-2020 novel coronavirus pandemic: Experience in a general hospital. *American journal of infection control*, 48(8), 918-921.
- Putra, I. G. N. G., Surata, S. P. K. and Agung, G. A. A. (2017). Medical waste management strategy in the inpatient primary health care center with system approach: a SWOT Analysis. *Bali Medical Journal*, 6(3), 33-39.
- Sangkham, S. (2020). Face mask and medical waste disposal during the novel COVID-19 pandemic in Asia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2, 100052.
- Sarıtaç, D. (2014). *Hastanelerde İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetlerinin Yönetimi*. Yüksek Lisans Tezi. Beykent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Saxena, P., Pradhan, I. P., and Kumar, D. (2021). Redefining bio medical waste management during COVID-19 in India: A way forward. *Materials Today: Proceedings*.
- Shahba, S., Arjmandi, R., Monavari, M. and Ghodusi, J. (2017). Application of multi-attribute decision-making methods in SWOT analysis of mine waste management (case study: Sirjan's Golgozar iron mine, Iran). *Resources Policy*, 51, 67-76.
- Şamat, H. (2006). Incineration of healthcare wastes. Program on Medical Waste Management and Training of Trainers, 1–2 November, Ankara/Turkey (original in Turkish). Ankara, Turkey: Turkish Ministry of Environment and Forestry.
- Tabasi, R. and Marthandan, G. (2013). Clinical waste management: A review on important factors in clinical waste generation rate. *International Journal of Science and Technology*, 3(3), 194-200.
- Tavzar, İ. (2014). *Tıbbi Atık Harcamalarında Etkinlik: Eskişehir İli Hastanelerinde Bir Uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Temel, E. (2021). *Aksaray İlinde Tıbbi Atık Yönetiminin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

- Tenikler, G. 2007. *Türkiye’de Tehlikeli Atık Yönetimi ve Avrupa Birliği Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Bir Analiz*. Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Topan, L. (2017). *Tıbbi Atık Yönetimi Adana Kamu Hastaneler Birliği Genel Sekreterliği Örneği*. Yüksek Lisans Tezi. Toros Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Mersin.
- Tunagür, T., Pehlivan, Ö., ve Alkoy, S. (2018). Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde Tıbbi Atık Yönetiminin Değerlendirilmesi. *Abant Tıp Dergisi*, 7(3), 81-88.
- 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.
- Ulutaş, A. ve Dede, Ş. (2014). Sağlık Kuruluşlarında Oluşan Tehlikeli Atıkların Yönetimi ve Yakılarak Bertaraf Edilmesi. II. Ulusal Sağlık Kuruluşları Çevre Yönetimi Sempozyumu, İstanbul, 77-84.
- Uysal, F. ve Arslankaya E. (2001). Tekirdağ İli’nde Tıbbi Atık Yönetimi. 1.Ulusal Katı Atık Kongresi (UKAK), İzmir, 9-17.
- Van Fan, Y., Jiang, P., Hemzal, M. and Klemeš, J. J. (2021). An update of COVID-19 influence on waste management. *Science of the Total Environment*, 754, 142014.
- Xiao, F. (2018). A novel multi-criteria decision making method for assessing health-care waste treatment technologies based on D numbers. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 71, 216–225.
- Windfeld, E. S. and Brooks, M. S. L. (2015). Medical Waste Management–A review. *Journal of Environmental Management*, 163, 98-108.
- Yalçın, E. E., Aydoğan, Ü. ve Doğaner, Y. Ç. (2020). Pandemi Birinci Basamak Sağlık Hizmetlerinde Laboratuvar ve Yönetimi. *Klinik Tıp Aile Hekimliği*, 12(1), 27-31.
- Yavuz, C. I. (2015). Tıbbi Atıklar. *Toplum ve Hekim*, 30(5), 323-324.
- Yazgan, M., Kalaycı, N., Kayhan, C. B., ve Tuna, E. (2014). Turgutlu İlçe Devlet Hastanesi Tıbbi Atık Yönetimi. *Sağlıkta Performans ve Kalite Dergisi*, 7(1), 1-20.

Zand, A. D. and Heir, A. V. (2020). Emerging challenges in urban waste management in Tehran, Iran during the COVID-19 pandemic. *Resources, Conservation, and Recycling*, 162, 105051.

Zeren, B.A. (2004). *Health-Care Waste Management of the hospitals in the European of İstanbul*. Yüksek Lisans Tezi. Boğaziçi Üniversitesi Çevre Mühendisliği, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tolgahan AKKURT

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2011, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği,
- 2012, Çevre Mühendisi, Rehber OSGB Çevre Denetim Hiz.Ltd.Şti., Çevre Danışmanlık Birimi,
- 2013, Çevre Mühendisi, Hava Kuvvetleri Komutanlığı, Çevre Yönetim Birimi,
- 2021, Çevre Mühendisi, Millî Savunma Üniversitesi, Çevre Yönetim Birimi,
- 2022, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tezli Yüksek Lisans.