



**COVID-19 PANDEMİ SÜRECİNİN TIBBİ ATIK
KARAKTERİ ÜZERİNE ETKİSİ VE GERİ
KAZANIM ALTERNATİFLERİNİN
ARAŞTIRILMASI: BİNGÖL İLİ ÖRNEĞİ**

Sevilay SAVAŞ

Dr. Öğr. Üyesi İlker ACAR
Yüksek Lisans Tezi
Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı
2023
(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**COVID-19 PANDEMİ SÜRECİNİN TIBBİ ATIK KARAKTERİ ÜZERİNE ETKİSİ
VE GERİ KAZANIM ALTERNATİFLERİNİN ARAŞTIRILMASI:
BİNGÖL İLİ ÖRNEĞİ**

(The Effect of Covid-19 Pandemic on the Characteristics of Medical Waste and Investigating
Recycling Alternatives: The Case of Bingöl Province)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sevilay SAVAŞ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlker ACAR

Erzurum

Eylül, 2023

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Sevilay SAVAŞ tarafından hazırlanan “Covid-19 Pandemi Sürecinin Tıbbi Atık Karakteri Üzerine Etkisi ve Geri Kazanım Alternatiflerinin Araştırılması: Bingöl İli Örneği” başlıklı çalışması 04 / 09 / 2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Zeynep EREN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır.
Jüri Üyesi: (Danışman)	Dr. Öğr. Üyesi İlker ACAR <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır.
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi İbrahim CENGİZ <i>Bayburt Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Dr. Öğr. Üyesi İlker ACAR danışmanlığında sunulan “Covid-19 Pandemi Sürecinin Tıbbi Atık Karakteri Üzerine Etkisi ve Geri Kazanım Alternatiflerinin Araştırılması: Bingöl İli Örneği” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	6	30
Kuramsal Temeller	17	30
Materyal ve Metot	18	35
Bulgular ve Tartışma	9	20
Sonuçlar ve Öneriler	1	20
Tezin Geneli	16	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Sevilay SAVAŞ	Dr. Öğr. Üyesi İlker ACAR
22.8.2023	22.8.2023
İmza: Aslı ıslak imzalıdır.	İmza: Aslı ıslak imzalıdır.

* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince akademik bilgisinden ve deneyimlerinden faydalandığım, tez çalışmamın her aşamasında sabrı, titizliği, değerli yorumları ve tavsiyeleri ile bana yol gösteren, öğrencisi olduğum için kendimi şanslı hissettiğim danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi İlker ACAR'a,

Tez çalışmamın veri toplama sürecinde yardımlarını esirgemeyen Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi çalışanlarına,

Hayatımın her anında olduğu gibi tez yazma sürecinde de sabır ve anlayışla yanımda olup bana güç veren ve bu süreci kolaylaştıran annem Fatma Melike Arıkan, babam Abdullah ARIKAN ve kardeşim Yusuf ARIKAN'a,

Fikirlerine çok güvendiğim, beni cesaretlendiren ve her zaman destek olan sevgili eşim Yunus SAVAŞ'a,

Doğduğu günden beri dünyamı güzelleştiren oğlum Arden SAVAŞ'a,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevilay SAVAŞ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

COVID-19 PANDEMİ SÜRECİNİN TIBBİ ATIK KARAKTERİ ÜZERİNE ETKİSİ VE GERİ KAZANIM ALTERNATİFLERİNİN ARAŞTIRILMASI: BİNGÖL İLİ ÖRNEĞİ

Sevilay SAVAŞ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlker ACAR

Amaç: Bu çalışmada, Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisine kabul edilen atık envanterindeki zamana bağlı değişimin küresel Covid-19 salgın sürecini de kapsayacak şekilde belirlenmesi ve bu pandemi sürecinde devasa miktarlarda açığa çıkan tek kullanımlık maskeler için alternatif bertaraf yöntemlerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Yöntem: Çalışma kapsamında Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi ve faaliyetleri yerinde incelenmiştir. Tesise atık kabulü yapılan tüm atık üreticileri belirlenip, tıbbi atık miktarlarının 2018-2022 yılları arasındaki değişimleri incelenmiş, tıbbi atık oluşumundan bertarafına kadar olan süreç pandemi öncesi ve sonrası karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bilgilerle Bingöl ilinde kişi başına oluşan tıbbi atık miktarları belirlenerek, maske atıklarından kaynaklanan atık yükü hesaplanmıştır. Büyük miktarlarda oluşan bu atığın gömülmek yerine sürdürülebilir atık yönetimi çerçevesinde enerji geri kazanımı amaçlı kullanılabileceği fikri üzerinde durulmuştur. Bu doğrultuda termokimyasal yöntemler incelenerek, maske atıklarının karakterine en uygun termal yöntemlerden biri olan piroliz ile enerji geri kazanım potansiyeli araştırılmıştır.

Bulgular: Pandemi öncesinde 2018-2019 yıllarına ait tıbbi atık miktarındaki artış oranı yaklaşık %6 iken, 2019-2020 yılları arasındaki artışın %34,4 olduğu hesaplanmıştır. Bingöl ilinde kişi başına oluşan tıbbi atık miktarı; 2018 yılında 0,57 kg/kişi-yıl, 2019 yılında 0,61 kg/kişi-yıl, 2020 yılında 0,82 kg/kişi-yıl, 2021 yılında 0,87 kg/kişi-yıl ve 2022 yılında 0,78 kg/kişi-yıl'dır. 2020, 2021 ve 2022 yıllarında Bingöl iline ait maske atık yükü sırasıyla 197,46 ton, 198,56 ton ve 197,83 ton olarak hesaplanmıştır. Aynı yıllarda Bingöl ilinde toplanan tıbbi atık miktarlarının ise 231,365 ton, 245,857 ton ve 219,366 ton olduğu tespit edilmiştir. Termokimyasal yöntemler incelenerek, gazlaştırmanın yüksek enerji ihtiyacı ve oluşan katranın maliyeti arttırdığı, sıvılaştırmada reaktörler ve yakıt besleme sistemlerinin pirolizden daha karmaşık ve pahalı olduğu sonucu elde edilmiştir. Yakma sisteminde, dioksinler ve furanlar gibi zehirli gazlar salındığı, işletme maliyetinin neredeyse yarısının hava kirliliği kontrolü için kullanıldığı ve sadece ısıya geri kazanım olduğu belirlenmiştir. Piroliz işlemi sırasında ise katran ve zehirli gaz oluşumunun gözlenmediği, karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağladığı, biyo-yag, kömür ve prosesin kendisinde tekrar kullanılabilecek gaz ürünlerin piroliz sonucu elde edildiği tespit edilmiştir.

Sonuç: Çeşitli proseslerde değerlendirilebilecek katı, sıvı ve gaz ürünlerin yanı sıra diğer termokimyasal proseslere göre basitliği, düşük enerji gereksinimi ve karbon salınımı sayesinde maske atıkları için en uygun geri kazanım alternatifinin piroliz olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Covid-19, Tıbbi Atık, Sterilizasyon, Maske Atık Yüğü, Piroliz

Eylül 2023, 65 sayfa

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

THE EFFECT OF COVID-19 PANDEMIC ON THE CHARACTERIZATION OF MEDICAL WASTE AND INVESTIGATING RECYCLING ALTERNATIVES: THE CASE OF BİNGÖL PROVINCE

Sevilay SAVAŞ

Supervisor: Asst. Prof. Dr. İlker ACAR

Purpose: In this study, it was aimed to determine the time-dependent change in the waste inventory accepted to Bingöl Medical Waste Sterilization Facility, including the global Covid-19 epidemic period, and to investigate alternative disposal methods for disposable masks that were released in huge quantities during this pandemic process.

Method: Within the scope of the study, Bingöl Medical Waste Sterilization Facility and its activities were examined on site. All waste producers accepting waste to the facility were identified, the changes in medical waste amounts between 2018 and 2022 were examined, and the process from medical waste generation to disposal was evaluated comparatively before and after the pandemic. With the information obtained, the amount of medical waste generated per person in Bingöl province was determined and the waste load resulting from mask waste was calculated. The idea that this waste, which is generated in large quantities, can be used for energy recovery within the framework of sustainable waste management instead of being buried is emphasized. In this regard, thermochemical methods were examined and the energy recovery potential of pyrolysis, which is one of the thermal methods most suitable for the character of mask waste, was investigated.

Findings: While the increase in the amount of medical waste between 2018-2019 before the pandemic was approximately 6%, the increase between 2019-2020 was calculated to be 34.4%. The amount of medical waste generated per person in Bingöl province; 0.57 kg/person-year in 2018, 0.61 kg/person-year in 2019, 0.82 kg/person-year in 2020, 0.87 kg/person-year in 2021 and 0.78 kg in 2022 /person-year. In 2020, 2021 and 2022, the mask waste load of Bingöl province was calculated as 197.46 tons, 198.56 tons and 197.83 tons, respectively. It was determined that the amount of medical waste collected in Bingöl province in the same years was 231,365 tons, 245,857 tons and 219,366 tons. By examining thermochemical methods, it was concluded that gasification requires high energy and the tar formed increases the cost, and that reactors and fuel supply systems in liquefaction are more complex and expensive than pyrolysis. It has been determined that toxic gases such as dioxins and furans are released in the combustion system, almost half of the operating cost is used for air pollution control and only heat recovery. It has been determined that no tar or toxic gas formation is observed during the pyrolysis process, it contributes to reducing the carbon footprint, and bio-oil, coal and gas products that can be reused in the process itself are obtained as a result of pyrolysis.

Results: It has been concluded that pyrolysis is the most suitable recycling alternative for mask waste, thanks to its simplicity, low energy requirement and carbon emissions compared to other thermochemical processes, as well as solid, liquid and gaseous products that can be evaluated in various processes.

Keywords: Covid-19, Medical Waste, Sterilization, Mask Waste Load, Pyrolysis

September 2023, 65 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	x
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	3
Tıbbi Atık Kavramı	3
Tıbbi Atıkların Sınıflandırılması.....	4
Enfeksiyöz atık.....	4
Patolojik atıklar	4
Kesici-delici atık	4
Tıbbi Atıkların Oluşturduğu Riskler	5
Tıbbi Atıkların Bertarafında Kullanılan Teknolojiler	6
Covid-19 Pandemi Döneminde Tıbbi Atık Yönetimi	7
Atık Yönetimi Hiyerarşisi	9
Covid-19 Pandemisinin Tıbbi Atık Üretimi ve Karakteri Üzerine Etkisi.....	10
Termokimyasal Bertaraf Yöntemleri	11
Yakma	11
Gazlaştırma	12
Sıvılaştırma	12
Piroliz	12
Maske Kullanımından Kaynaklanan Plastik Atıkların Çevre ve Canlı Yaşamına Etkileri.....	15
Covid-19 Tıbbi Atıkları ve Yönetimi ile İlgili Gerçekleştirilen Literatür Çalışmaları...	16
MATERYAL VE METOT	19
Bingöl İline Ait Genel Bilgiler.....	19
Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisinin Kurulduğu Bölgeye Ait Genel Bilgiler	20
Bingöl İli Tıbbi Atık Yönetiminin Tarihçesi	20

Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi.....	21
Sterilizasyon ünitesi	22
Soğuk hava deposu.....	23
Buhar kazanı.....	24
Atık geçici depolama alanı.....	25
Tıbbi atık taşıma aracı	25
İş akım şeması ve proses özeti	26
Tıbbi atık üreticilerinin değerlendirilmesi	30
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	34
Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisine Kabulü Yapılan Tıbbi Atık Miktarları	34
Bingöl İlinde En Fazla Tıbbi Atığa Sahip Üreticilerin Pandemi Öncesi ve Sonrası Atık Miktarının Karşılaştırılması	35
Tunceli İlinde En Fazla Tıbbi Atığa Sahip Üreticilerin Pandemi Öncesi ve Sonrası Atık Miktarının Karşılaştırılması	36
Türkiye’de Covid-19 Pandemisinin Değerlendirilmesi	36
Bingöl İlinde Covid-19 Pandemisinin Tıbbi Atık Miktarı Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi.....	37
Bingöl İlinde Kişi Başına Oluşan Tıbbi Atık Miktarının Hesaplanması	39
Bingöl İlinde Maske Kullanımından Kaynaklı Atık Miktarının Hesaplanması.....	42
Tek Kullanımlık Yüz Maskesinin Karakterizasyonu	43
Piroliz ile Enerji Geri Kazanımının Sağlayacağı Çevresel ve Ekonomik Getiriler	46
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	53

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. ABD’de Kesici ve Delici Tıbbi Atıklardan Kaynaklanan Yaralanmaların Neden Olduğu Hepatit B Enfeksiyonları.....	5
Tablo 2. COVID-19 ile Kontamine Atıklar için Ülkeler ve Ajanslar Tarafından Hazırlanan Yönergeler.....	8
Tablo 3. Proses Teknolojileri ve Proses Şartları.....	15
Tablo 4. MP Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri.....	15
Tablo 5. Bingöl Merkez ve İlçe Nüfusu (TÜİK 2022)	19
Tablo 6. Firma Lisansın da Yer Alan Atık Kodu ve Tanımı	21
Tablo 7. Bingöl-Merkez Tıbbi Atık Üreticileri.....	31
Tablo 8. Bingöl-İlçeler Tıbbi Atık Üreticileri.....	32
Tablo 9. Tunceli Merkez ve İlçelerde Bulunan Tıbbi Atık Üreticileri	33
Tablo 10. Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisine Kabulü Yapılan Tıbbi Atık Miktarının Yıllara Göre Dağılımı	34
Tablo 11. Bingöl İli Haftalık Vaka Sayısı ve Toplanan Tıbbi Atık Miktarı.....	38
Tablo 12. Bingöl İli 2018-2022 Yıllarına Ait Kişi Başına Oluşan Tıbbi Atık Miktarı	40
Tablo 13. İl Bazında 2015-2018 Yılları Kişi Başına Tıbbi Atık Üretim Miktarları (kg/kişi-yıl).....	41
Tablo 14. Maske Yüzeyi ile Kulak Askısının Yaklaşık, Elementel ve HHV Analizleri.....	44
Tablo 15. Tek Kullanımlık Yüz Maskelerinin Kimyasal Bileşimleri.....	46
Tablo 16. Yakma ve Piroлиз Yöntemlerinin Avantaj, Dezavantaj ve Zorlukların Karşılaştırılması.	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Uluslararası Biyotehlike Amblemi.....	3
Şekil 2. Atık Yönetimi Hiyerarşisi	9
Şekil 3. Cerrahi Maskenin Yapısı: (a) Cerrahi Maske (b) Cerrahi Maskenin Üç Katmanı	10
Şekil 4. Piroliz Tesisi Şeması	13
Şekil 5. Bingöl İli Haritası.....	20
Şekil 6. Bingöl Katı Atık Düzenli Depolama Sahası ve Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi	20
Şekil 7. Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi.....	22
Şekil 8. Sterilizasyon Ünitesi Araç Giriş Kapısı ve Konteynerler	22
Şekil 9. Kırıcı	23
Şekil 10. Otoklav.....	23
Şekil 11. Sterilizasyon Kontrol Paneli	23
Şekil 12. Buhar Kazanı İş Akım Şeması	24
Şekil 13. Atık Geçici Depolama Alanı.....	25
Şekil 14. Tıbbi Atık Taşıma Aracının Dış Görseli.....	26
Şekil 15. Lisanslı Tıbbi Atık Taşıma Aracının İç Görseli.....	26
Şekil 16. Bingöl İli Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi İş Akım Şeması	27
Şekil 17. Radyasyon Paneli	28
Şekil 18. Biyolojik İndikatör	28
Şekil 19. Kimyasal İndikatör.....	29
Şekil 20. Bingöl Merkezde En Fazla Tıbbi Atık Üreten Üreticilerin Karşılaştırılması	35
Şekil 21. Bingöl İlçelerde En Fazla Tıbbi Atık Üreten Üreticilerin Karşılaştırılması	35
Şekil 22. Tunceli ili Pandemi Öncesi ve Sonrası Tıbbi Atık Miktarlarının Karşılaştırılması..	36
Şekil 23. Türkiye’de Koronavirüs Hastalığından Kaynaklı Vaka Sayıları	37
Şekil 24. Türkiye’de Koronavirüs Hastalığından Kaynaklı Vefat Eden Kişi Sayısı	37
Şekil 25. Nüfus ve Kişi Başına Oluşan Tıbbi Atık Miktarları	40
Şekil 26. Kişi Başına Oluşan ve Toplanan Tıbbi Atık Miktarları	40
Şekil 27. Parçalara Ayrılmış Tek Kullanımlık Yüz Maskesi	46

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

ASM	: Aile Sağlığı Merkezi
ATR	: Zayıflatılmış Toplam Yansıma
BİNÇEV BİR	: Bingöl İli Yerel Yönetimler Çevre Hizmetleri Birliği
COVID-19	: Corona Virus Disease -2019 (Koronavirüs Hastalığı-2019)
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirmesi
EPA	: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
FT-IR	: Fourier Transform Infrared Spektrofotometre (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi)
HBV	: Hepatit B Virüsü
HDPE	: High Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
HHV	: High Heating Value (Üst Isıl Değer)
KETEM	: Kanser Erken Teşhis Tarama ve Eğitim Merkezi
KKD	: Kişisel Koruyucu Donanım
LDPE	: Low Density Polyethylene (Düşük Yoğunluklu Polietilen)
MÇK	: Mahalli Çevre Kurulu
MP	: Mikroplastik
NP	: Nanoplastik
PAN	: Poliakrilonitril
PC	: Polikarbonat
PE	: Polietilen
PET	: Polietilen Tereftalat
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PU	: Poliüretan
PVC	: Polivinil klorür
TSM	: Toplum Sağlığı Merkezi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

GİRİŞ

Tarihten günümüze çok sayıda salgın hastalık yaşanmış ve bu salgın hastalıklar milyonlarca insanın ölümüne neden olmuştur. Veba salgınları ve kolera pandemileri, uzun yıllar devam eden ve milyonlarca insanın ölümüne sebep olan salgın hastalıklardan bazılarıdır. Son olarak 2019 yılında Çin'in Wuhan şehrinde ortaya çıkan koronavirüs, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından Ocak 2020'de salgın ve Mart 2020'de ise pandemi kapsamına alınmıştır. Bir hastalığın belli bir zaman aralığında fazla sayıda görülmesi durumuna "salgın (epidemi)", kıta ve kıtaları etkileyen büyük salgınlara da "pandemi" denilmektedir (Arık 1991). 2020 yılının şubat ayında WHO tarafından Koronavirüs Hastalığı-2019 (Covid-19) olarak adlandırılan bu hastalığın pandemi olarak ilan edilmesi ile ilk vakanın ortaya çıkması arasındaki zaman farkı yaklaşık olarak dört aydır. Bu durum hastalığın bulaşma riskinin ne kadar fazla olduğunu kanıtlar niteliktedir.

Ülkeler yayınladıkları kılavuz ve mevzuatlarla, hastalığın bulaşma riskini ve insan ölümlerini en aza indirmek için, başta maske kullanımının zorunlu hale gelmesi olmak üzere sokağa çıkma yasağı, hastalanan bireylerin karantinaya alınması gibi çeşitli önlemler almıştır. Hastalığa yakalanan insanların kullandığı kişisel koruyucu ekipmanlar ve tek kullanımlık malzemeler, tıbbi atık kapsamında yer aldığından atık miktarında ciddi bir artış söz konusu olmuştur. Tıbbi atık miktarındaki artışa yönelik yapılan araştırmalar Covid-19'un patlak verdiği 2020 yılında dünyada bir ayda 129 milyar maske atığı oluştuğunu, eldiven atıklarıyla bu verinin 194 milyara çıktığını dolayısıyla bir dakikada 3 milyon maske kullanıldığını göstermektedir. Araştırmalarda Türkiye'de pandemi nedeniyle günde 50 milyon kirli maske atığı çıktığı görülmektedir (Ceylan 2021). Bu kapsamdaki atıkların toplanmasından bertarafına kadar olan süreç Türkiye'de Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde yer alan usul ve esaslara göre uygulanmaktadır. Bu mevzuat uyarınca tıbbi atıklar, sterilizasyon sonrası düzenli depolama tesislerinde evsel atıklar ile birlikte bertaraf edilmektedir.

Bilindiği gibi atık yönetimi hiyerarşisinde en az tercih edilen yöntem atıktan geri dönüşüm veya enerji geri kazanımı gibi herhangi bir fayda elde edemeden gerçekleştirilen düzenli depolama yaklaşımıdır. Üstüne üstlük tıbbi atıklar, depolama öncesinde sterilizasyon gibi ekstra maliyete sahip bir işleme de gereksinim duymaktadır. 2872 Sayılı Çevre Kanunu'nda "Atıkların üretiminin ve zararlarının önlenmesi veya azaltılması ile atıkların geri kazanılması ve geri kazanılabilen atıkların kaynağında ayrı toplanması esastır." ifadesi yer

almaktadır. Bu temelden hareketle, tıbbi atık kapsamında ele alınan ve geri dönüşüm ve/veya enerji geri kazanımı potansiyeline sahip olabilecek kullanılmış maske, eldiven, koruyucu gözlük, siperlik ve atık dezenfektan kutuları gibi atıklar, diğer tıbbi atıklardan kaynağında ayrılarak çeşitli çevresel ve ekonomik kazanımlar elde edilebilecek proseslerde değerlendirilebilir.

Covid-19 tıbbi atıklarının organik birleşenleri sayesinde yüksek derecelerde yanabilmesi ve bu atıklardan termal proseslerle enerji geri kazanımı elde edilebilmesi sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Ayrıca termal prosesler sterilizasyona olan gereksinimi ortadan kaldırıp, yanma sonucunda oluşan atıkların depolanması için ihtiyaç duyulan alanı da büyük ölçüde azaltabilmektedir. Tıbbi atıkları güvenli bir şekilde kullanılabilir bir yakıtı veya ısıya dönüştürmek için yakma, gazlaştırma, sıvılaştırma ve piroliz gibi termokimyasal yöntemler mevcuttur.

Küresel enerji talebi ve çevresel avantajları sayesinde ön plana çıkan piroliz, organik malzemelerin inert atmosferde bir katalizör varlığında (katalitik piroliz) veya katalizör olmadan (termal piroliz) bozundurulması olarak tanımlanır. Bu işlemin oksijen içermeyen inert atmosferde gerçekleşmesi nedeniyle dioksinler oluşmamakta ayrıca yakmaya göre çok daha düşük karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) salınımı meydana gelmektedir. (Al-Salem *et al.* 2017). Piroliz diğer termokimyasal yöntemlere kıyasla daha uygun maliyetli ve çevre dostu olup, daha az depolama alanı gerektirmektedir. Covid-19 pandemi sürecinde polietilen, polipropilen, polistiren, polietilen tereftalat ve naylondan oluşan büyük miktarda plastik tıbbi atık üretilmektedir. Bu plastik atıklar piroliz işlemi ile petrol, gaz ve kömür gibi değerli enerji ürünlerine dönüştürülebilmektedir (Dharmaraj *et al.* 2021a).

Bu çalışmada, Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisine kabul edilen atık envanterindeki zamana bağlı değişimin küresel Covid-19 salgın sürecini de kapsayacak şekilde belirlenmesi ve bu pandemi sürecinde devasa miktarlarda açığa çıkan tek kullanımlık maskeler için alternatif bertaraf yöntemlerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi ve faaliyetleri yerinde incelenmiştir. Tesise atık kabulü yapılan tüm atık üreticileri belirlenip, tıbbi atık miktarlarının 2018-2022 yılları arasındaki değişimleri incelenmiş, tıbbi atık oluşumundan bertarafına kadar olan süreç pandemi öncesi ve sonrası karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bilgilerle Bingöl ilinde kişi başına oluşan tıbbi atık miktarı belirlenerek, maske atıklarından kaynaklanan atık yükü hesaplanmıştır. Termokimyasal yöntemler incelenerek, maske atıklarının karakterine en uygun termal yöntemlerden olan piroliz ile enerji geri kazanım potansiyeli araştırılmıştır.

KURAMSAL TEMELLER

Tıbbi Atık Kavramı

İnsanların veya hayvanların tedavileri gerçekleştirilirken kullanılan ekipmanların, kan ve kan ürünleri gibi her türlü vücut sıvısıyla temas etmesi sonucu bu ekipmanların tıbbi atık olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Tıbbi atık kavramı ile ilgili literatürde farklı tanımlar yer almaktadır.

Ülkemizde yürürlükte olan 25.01.2017 tarih ve 29959 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nde tıbbi atıklar, enfeksiyon yapıcı atıklar, patolojik atıklar ve kesici-delici atıklar olarak tanımlanmıştır (Resmi Gazete 2017). Dünya Sağlık Örgütü’nün (WHO) yayınladığı kılavuzda tıbbi atıklar için, sağlık hizmeti atıkları, sağlık kurumları, araştırma tesisleri ve laboratuvarlar tarafından üretilen tüm atıkları içerir ifadesi yer almaktadır. Ek olarak, evde üstlenilen sağlık bakımından kaynaklanan diyaliz, insülin enjeksiyonları vb. araç ve gereçler gibi "küçük" veya "dağınık" kaynakların neden olduğu atıkların da yine bu kapsamda yer alması gerektiği ifade edilmektedir (Prüss *et al.* 1999). Çevre Koruma Ajansı (EPA) tıbbi atık kavramını; hastaneler, doktor muayenehaneleri, diş muayenehaneleri, kan bankaları ve veteriner hastaneleri/klinikleri gibi sağlık tesislerinde, ayrıca tıbbi araştırma tesislerinde ve laboratuvarlarda üretilen atık olarak tanımlamıştır. Genel olarak EPA tıbbi atığı, kan, vücut sıvıları veya diğer bulaşıcı materyallerle kontamine olabilen sağlık hizmeti atıkları şeklinde tanımlamaktadır (Anonymous 2023).



Şekil 1. Uluslararası Biyotehlike Amblemi (Resmi Gazete 2017).

Tıbbi atık torbası, kabı, kovası veya konteyneri ile kesici-delici atık kapları, bunların taşınmasında kullanılan araçlar ve geçici depolama birimlerinin üzerinde Şekil 1’de gösterilen uluslararası biyotehlike amblemi bulunması gerekmektedir. Uluslararası Biyotehlike Amblemi,

1966 yılında çevre sağlığı mühendisi olan Charles Baldwin tarafından geliştirilmiştir (Anonymous 2001).

Tıbbi Atıkların Sınıflandırılması

Sağlık hizmeti sunulurken oluşan atıkların tamamı tıbbi atık kapsamında değildir. Sağlık kuruluşları tarafından üretilen toplam atık miktarının yaklaşık %85'i genel tehlikesiz atıklardır. Kalan %15'i ise bulaşıcı, toksik veya radyoaktif olabilecek tehlikeli atık olarak kabul edilir. Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıklar; tehlikesiz veya genel atık, kimyasal atık, radyoaktif atık, eczacılık atıkları, sitotoksik atık ve tıbbi atıklardır. (Anonymous 2018). Tıbbi atıklar ise enfeksiyöz, patolojik ve kesici-delici atık olarak sınıflandırılmaktadır.

Enfeksiyöz atık

Enfeksiyöz atık, bakteri, virüs gibi patojenlerle enfekte olmuş tıbbi atıklardır. Başlıca enfeksiyöz atık kaynakları aşağıda yer almaktadır:

- Laboratuvar çalışmalarından elde edilen bulaşıcı kültürleri ve stokları
- Bulaşıcı hastalıkları olan hastaların ameliyat veya otopsilerinden kaynaklanan atıklar (kan ve vücut sıvılarıyla temas eden malzeme veya ekipman)
- İzolasyonda olan enfekte hastalardan kaynaklanan atıklar (dışkı, pansumanlar, kan ve diğer vücut sıvıları ile kirlenmiş giysiler)
- Hemodiyaliz işlemi gören enfeksiyonlu hastalarla temas halinde olan atıklar (ör. tüp ve filtreler gibi diyaliz ekipmanları, tek kullanımlık havlular, önlükler ve eldivenler)
- Laboratuvarda enfekte olan hayvanlar
- Bulaşıcı hastalığa yakalanmış insan veya hayvanlarla temas eden alet ve malzemeler (Prüss *et al.* 1999).

Patolojik atıklar

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde patolojik atıklar, cerrahi girişim, otopsi, anatomi veya patoloji çalışması sonucu ortaya çıkan dokuları, organları, vücut parçalarını, vücut sıvılarını ve fetüsü kapsamaktadır şeklinde ifade edilmiştir (Resmi Gazete 2017). Kimyasallarla muamele görmüş patolojik atıkların dayanıklı biriktirme kaplarında, kimyasalla muamele görmemiş patolojik atıkların ise tıbbi atık poşetlerinde toplanması gerekmektedir.

Kesici-delici atık

Bu kapsamdaki atıklar, şırınga, enjektör ve diğer tüm deri altı girişim iğneleri, lanset, bisturi, bıçak, serum seti iğnesi, cerrahi sütur iğneleri, biyopsi iğneleri, intraket, kırık cam,

ampul, lam-lamel, kırılmış cam tüp ve petri kapları gibi batma, delme, sıyrık ve yaralanmalara neden olabilecek malzemeleri içermektedir (Akbolat vd 2011).

Kesici-delici atıkların tıbbi atık poşetlerinde biriktirilmesi bu atıkların toplanması, taşınması ve sterilizasyonu sırasında atık toplayan ve sterilizasyonda görevli personeller için tehlike oluşturabilmektedir. Tehlikelerin önlenmesi için kesici ve delici atıkların kutu veya konteyner içinde toplanması gerekmektedir.

Tıbbi Atıkların Oluşturduğu Riskler

Hastalıkların teşhis ve tedavileri sırasında kullanılan tıbbi malzemeler kullanıldıktan sonra çevre kirliliğine neden olup canlıların yaşamı için risk oluşturmaktadır. Tıbbi atıkların sterilizasyon tesisine taşınmadan önce yerinde doğru ayrıştırılıp toplanması riskleri büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır. Örneğin tıbbi atık poşeti içerisinde iğne, neşter gibi kesici delici atıkların biriktirilmesi veya poşetlerin Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtildiği gibi $\frac{3}{4}$ oranında doldurulmayıp tamamının doldurulması, olası yaralanma ve hastalık bulaşma riskini arttırır. Tıbbi atıklar hastalığa neden olan patojen mikroorganizmalar içerdiğinden ilgili mevzuata uygun toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesi önemlidir.

Tablo 1. ABD’de Kesici ve Delici Tıbbi Atıklardan Kaynaklanan Yaralanmaların Neden Olduğu Hepatit B Enfeksiyonları (Prüss *et al.* 1999).

Kategori	Kesici Alet ile Yaralanan Kişi Sayısı (Yıllık)	Yaralanmalardan Kaynaklanan HBV Enfeksiyonlarının Sayısı (Yıllık)
Hastane hemşireleri	17700- 22200	56- 96
Hastane dışında çalışan hemşireler	28000- 48000	26- 45
Hastane laboratuvar çalışanları	800- 7500	2- 15
Hastane temizlik personeli	11700- 45300	23- 91
Hastane teknisyenleri	12200	24
Hastane doktorları ve diş hekimleri	100- 400	<1
Hastane dışında çalışan doktorlar	500- 1700	1- 3
Hastane dışında çalışan diş hekimleri	100- 300	<1
Hastane dışında çalışan diş asistanları	2600- 3900	5- 8
Acil sağlık personeli (hastane dışında)	12000	24
Atık işçileri (hastane dışında)	500- 7300	1- 15

Risk grupları içinde başta doktor, hemşire, laborant gibi sağlık personelleri ve tıbbi atıklardan sorumlu temizlik görevlileri yer almaktadır. Ayrıca atıkların sterilizasyon tesisine taşınmasında görevli personel ve sterilizasyon ünitesinde çalışan sorumlu personeller için de ciddi riskler mevcuttur. Tıbbi atıklar, kan ve kan ürünleri gibi vücut sıvıları içerdiğinden AIDS, Hepatit A, B, C gibi hastalıkların bulaşması daha yaygın görülebilmektedir. ABD’de kesici ve delici tıbbi atıklardan kaynaklanan yaralanmaların neden olduğu hepatit b enfeksiyonlarının sayısı Tablo 1’de yer almaktadır. Buna göre yıl içerisinde en fazla kesici-delici tıbbi atıklardan kaynaklanan yaralanma ve hepatit b enfeksiyonu hemşireler ve temizlik personelinde görülmektedir.

Tıbbi atıkların düzenli toplanmaması ve sterilize edilmemesi çevre kirliliğine sebep olup, hayvanlar için de risk oluşturmaktadır. Atıkların su kaynaklarına yakın yerlere atılması sucul ortamda bulunan canlı ekosistemine zarar vermekte ve tarımsal sulamayla da bölgede yaşayan insanların sağlığını tehdit etmektedir. Toprağa gömülmesi tıbbi atıkların içme suyuna karışmasına neden olabilmektedir. Ayrıca atıklarla temas eden hayvanların sağlığını tehdit edip, hastalığı bulaştırma riskini attırmaktadır. Sadece toprak ve su değil düzenli toplanmayıp sterilize edilmeyen atıklar, sıcak havaların etkisiyle havada salınarak hastalık yayabilmektedir.

Tıbbi Atıkların Bertarafında Kullanılan Teknolojiler

Tıbbi atıkların, hastalık yapıcı etkisinin bulunması ve çevre kirliliğine sebep olmasından dolayı ülkemizde Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nde belirtilen şekillerde sterilizasyonu gerçekleştirilmektedir. Bu atıkların bertarafında termal prosesler, kimyasal dezenfeksiyon, mikrodalga ile ısınlama ve biyolojik yöntemler olmak üzere dört temel teknoloji kullanılmaktadır. Termal proseslerde, atıktaki patojenleri yok etmek için ısı (termal enerji) kullanılmaktadır. Ayrıca bu proseste ısı değişimi, fiziksel ve kimyasal olarak etki ettiği için düşük, orta ve yüksek ısılı termal prosesler olarak uygulanmaktadır. Genel olarak, düşük ısılı termal prosesler yaklaşık 93°C ile 177°C arasında çalışmaktadır. Orta ısılı termal prosesler, 177°C ile 370°C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleşmektedir ve organik malzemenin kimyasal olarak parçalanmasını sağlamaktadır. Yüksek ısılı termal prosesler ise genellikle 540°C ile 830°C arasında veya daha yüksek sıcaklıklarda çalışmakta ve atığın tamamen yok edilmesiyle sonuçlanan kimyasal ve fiziksel değişiklikleri içermektedir. Kimyasal parçalanma, yanma ve piroliz de atığı dekontamine etmek için termal enerji kullanan proseslerdir. Kimyasal proseslerde, patojenleri yok etmek için dezenfektanlar veya atıkla reaksiyona giren kimyasallar kullanılmaktadır. Isınlama ile mikroorganizmaları yok etmek için iyonlaştırıcı radyasyon kullanılırken, biyolojik süreçler de organik maddenin ayrıştırılması için enzimler kullanılmaktadır (Emmanue 2001).

Bertaraf teknolojilerinin seçiminde verimlilik elde edilebilmesi için dikkat edilmesi gereken hususlar şu şekildedir;

- Kullanılacak bertaraf metodu yerel koşullara göre seçilmelidir. Bölgede oluşan tıbbi atık karakteri ve miktarı, tesisin kapasitesi, altyapısı, iklim ve çevresel faktörler bertaraf metodunun seçiminde önemlidir.
- Tıbbi atık sterilizasyon tesisinde çalışan personel için, iş sağlığı ve güvenliği kapsamında tehlike oluşturmamalıdır.
- Tesiste çalışan personelin görev dağılımı iyi yapılmalı ve her biri kendi alanında eğitilmiş personelle çalışmalıdır.
- Uygulanacak teknoloji belirlenirken çevreye en az zarar veren teknoloji seçilmelidir.
- Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne uygun, uygulanabilecek nitelikte olmalıdır.
- Enerji tasarruflu, maliyeti düşük teknolojiler seçilmelidir.

Covid-19 Pandemi Döneminde Tıbbi Atık Yönetimi

Covid-19, ilk olarak Çin'in Vuhan Eyaleti'nde solunum yolu hastalığı belirtileri (ateş, öksürük, nefes darlığı) olan bir grup hastada yapılan araştırmalar sonucunda 13 Ocak 2020'de tanımlanan bir virüstür. (Anonim 2023a).

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de genelgeler yayınlanarak hem çevre kirliliğinin hem de hastalık bulaş riskinin kontrolü sağlanmaya çalışılmıştır. Atıklardan kaynaklanabilecek risklerin ortadan kaldırılması amacıyla 07.04.2020 tarihli T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın hazırladığı Tek Kullanımlık Maske, Eldiven Gibi Kişisel Hijyen Malzeme Atıklarının Yönetiminde COVID-19 Tedbirleri konulu genelge de 'Evlerden ve işyerlerinden kaynaklanan tek kullanımlık maske, eldiven, mendil gibi kişisel hijyen malzemesi atıkları yırtılmaya dayanıklı plastik çöp poşetlerinde küçük miktarlar halinde toplanmalı, ağız sıkıca kapatılan (bağlanan) çöp torbaları daha sonra yırtılma riskine karşı ikinci bir torbaya konulmalıdır. Atık üzerinde virüsün hayatta kalma olasılığını en aza indirmek için atık torbaları, en az 72 saat süreyle diğer insanların ve hayvanların erişemeyeceği oda veya balkonlarda bekletilmelidir. Atıklar, atık toplama saatinde kısa bir süre önce çıkartılmalı ve "diğer atık" olarak evsel atık kapsamında yönetilmek üzere belediyeye teslim edilmesi sağlanmalıdır.' ifadesi yer almaktadır. Aynı genelgede atıkların toplanmasından bertarafına kadar olan süreçte çalışan görevli personelin dikkat etmesi gereken hijyen kuralları yayınlanarak hastalığın bulaş riskinin kontrolü sağlanmaya çalışılmıştır.

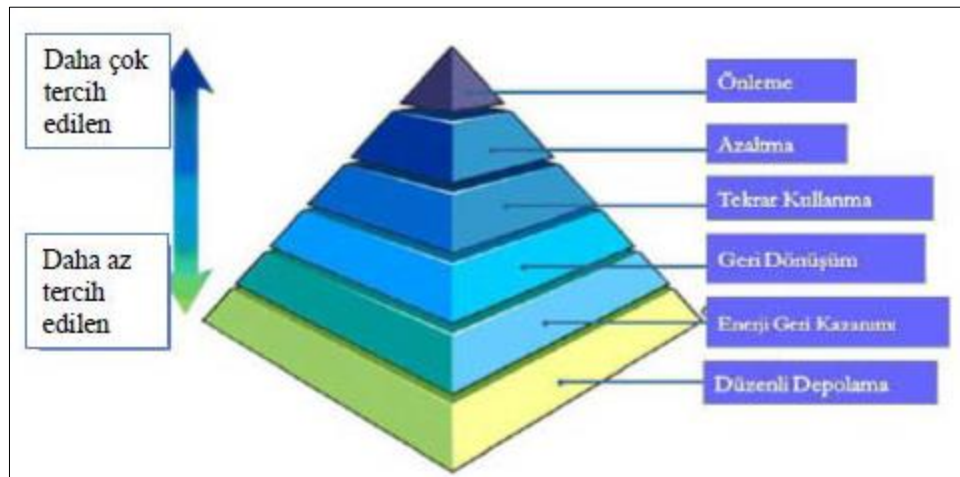
Tablo 2. COVID-19 ile Kontamine Atıklar için Ülkeler ve Ajanslar Tarafından Hazırlanan Yönergeler (Hantoko vd 2021)

Ülke/Ajans	COVID-19 Salgını Sırasında Atık Yönetimi Kılavuzu
Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2020)	Dünya Sağlık Örgütü, COVID-19 krizi sırasında bulaşıcı ve bulaşıcı olmayan sağlık atıklarının bertarafı için kılavuzlar yayınlamıştır. COVID-19 atıkları güvenli bir şekilde toplanmalı ve bertaraf edilmelidir. Atık yönetimi ve bertarafına dahil olan tüm çalışanlar uygun KKD ile donatılmalıdır.
Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US EPA, 2020)	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı, COVID-19 salgını sırasında gıda atıklarının geri dönüşümü ve sürdürülebilir yönetimi için yönergeler yayınlamıştır. Bu yönergeler, evlerde, kurumlarda ve işletme düzeylerinde gıda atık yönetimini içermektedir.
Amerika Birleşik Devletleri Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi (OSHA, 2020)	ABD Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi (OSHA), tıbbi atıkların yönetiminde yer alan personel ve çalışanları için güvenlik yönergelerini tanımlamıştır. İşçileri kontamine geri dönüştürülebilir malzemelere maruz kalmaktan korumak için sıkı mühendislik ve idari kontroller, güvenli çalışma uygulamaları ve uygun KKD (eldiven, önlük, maske ve yüz siperi) uygulanması şeklindedir.
Kuzey Amerika Katı Atık Derneği (SWANA, 2020)	Kuzey Amerika Katı Atık Derneği (SWANA), ülkenin valileri, belediye başkanları, seçilmiş yetkilileri ve liderleri de dahil olmak üzere tüm paydaşlara katı atık toplama, işleme ve bertarafının çok önemli bir kamu hizmeti olduğunu ve yerel veya eyalet çapında COVID-19 salgınına yanıt olarak karantinalar verilmesi gerektiğini vurgulamıştır.
Avrupa (Avrupa Komisyonu, 2020)	Avrupa Komisyonu, insan sağlığının ve çevrenin yüksek düzeyde korunmasını sağlamak için COVID-19 krizi sırasında atık yönetimi kılavuzu yayınladı. Kılavuz, atık yönetimi hizmetlerinde bozulmaların önlenmesini veya azaltılmasını, miktarı artan tıbbi atıkla mücadele edilmesini, işyerinde sağlık ve güvenliğin artırılmasını ve teyit edilmiş vakalardan üretilen evsel atıkların güvenli bir şekilde işlenmesini sağlamayı içermektedir.
Birleşik Krallık (Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı Birleşik Krallık Hükümeti (DEFRA), 2020)	Yayınlanan yönergeler de atık akışına öncelik verilmesi, geçici atık kapasitesinde genişleme, atık ayrımı, tıbbi atık yakma fırınlarının COVID-19 bulaşıcı atıkları bertaraf etmek için uyarlanması ve bölge sakinleriyle iletişime odaklanılmıştır. Birleşik Krallık, yüksek, orta ve düşük öncelikli atıklar olarak kategorize edilmiştir. Geri dönüştürülebilir atıklar, haftada bir kez toplanan orta ve düşük öncelikli kategoride sınıflandırılmıştır.
Hindistan (Merkezi Kirlilik Kontrol Kurulu (CPCB),2020)	COVID-19 ile ilgili atıklar, çift katmanlı torbalar da dikkatli bir şekilde işlenmeli, COVID-19 etiketli ve bağımsız olarak depolanmalıdır. Etiketleme, Ortak Biyo-tıbbi Atık Arıtma Tesislerinde (CBWTF) öncelikli arıtma ve hemen bertaraf edilmesini sağlamak içindir. Karantina tesisleri ve kentsel yerel kuruluşlar CBWTF'yi devreye sokmalıdır, böylece tesislerinde toplama ve bertaraf zamanında sağlanabilir. COVID-19 atık yönetimine dahil olan işçiler uygun KKD ile donatılmalıdır. Ayrıca, COVID-19 atık toplama için kullanılan özel araç etiketlenmelidir.
Çin (Çin Halk Cumhuriyeti Ekoloji ve Çevre Bakanlığı,2020)	Çin Halk Cumhuriyeti Ekoloji ve Çevre Bakanlığı tarafından, COVID-19 Enfekte Pnömoni Tıbbi Atık Acil Bertaraf Yönetimi ve Teknik Kılavuzunu yayınlanmıştır. Buna göre, COVID-19 pandemisi sırasında ortaya çıkan bulaşıcı tıbbi atıklar, özel ambalaj poşetleri, kapları ve uyarı levhaları standartlarına göre kesinlikle paketlenmelidir. Tıbbi atık bertaraf üniteleri, tehlikeli atık yakma tesisleri, evsel atık yakma tesisleri, endüstriyel fırınlar ve diğer acil bertaraf yöntemleri, bulaşıcı tıbbi atıkların toplanmasına ve bertarafına öncelik verecektir. Tıbbi atık arıtma ve bertarafına ilişkin kirlilik kontrolü standardı uygulanacaktır.
Nijerya (Nijerya Hastalık Koruma Merkezi, 2020)	Nijerya Hastalık Kontrol Merkezi (NCDC) tarafından COVID-19 salgını sırasında üretilen atıklara ilişkin kılavuz yayınlanmıştır. Bu kılavuza göre, binalarda ve halka açık yerlerde tek kullanımlık KKD'leri toplamak için özel atık toplama kutuları sağlanmalıdır. Bu tür atık toplama kutuları, daha sonra kullanılmış KKD'leri dekontamine edecek ve imha edecek olan personel tarafından günlük olarak boşaltılmalıdır.

Covid-19'un tüm dünyaya yayılması nedeniyle ülkeler sokağa çıkma yasağı, maske zorunluluğu, seyahat yasağı gibi önlemler almıştır. Bu önlemler olumlu ve olumsuz çevresel etkilere sebep olmaktadır. Olumlu çevresel etkiler, sera gazı salınımının azalmasıyla hava kalitesinin artması, su ve toprak kirliliğinin azalması, gürültü kirliliğinin azalması olarak sıralanabilir. Olumsuz çevresel etkileri ise pandemi nedeniyle hasta sayısının artması, kişisel koruyucu ekipman olan maske, eldiven, koruyucu giysiler, gözlük, dezenfektan kapları gibi malzemelerin Covid-19 hastaları tarafından kullanıldığında tıbbi atık olarak değerlendirilmesi ve tüm bunların sonucunda tıbbi atık miktarının artması olarak değerlendirilebilir. Tıbbi atık miktarındaki artış ve atık karakterinin değişmesi kurulu olan tesislerin yetersiz kalmasına, kullanılan bertaraf yöntemlerinin ise etkisini yitirmesine sebep olmaktadır. Bu noktada atık yönetimi önem kazanmaktadır.

Atık Yönetimi Hiyerarşisi

Atık yönetiminde öncelikli olarak atığın oluşmasını önleyerek doğal kaynakların korunması hedeflenmelidir. Atık, bir hammadde kaynağı olmasından ötürü geri kazanılması gereken kaynak olarak değerlendirilmelidir. Atık yönetimi sırasında kaynakta ayır toplama, geçici olarak depolama, söz konusu atıkların taşınması ve işleme tabi tutulması sırasında doğal hayatı olumsuz etkilemeyecek, insan ve çevreye zarar vermeyecek şekilde sistemler geliştirilmeli ve uygulanmalıdır. En önemli etkenlerden biri atıkların çevreye ve ekonomiye katkıları göz ardı edilmeden azaltma faaliyetlerinin yanında yeniden değerlendirilerek tekrar kullanılması, çevreye zarar vermeyecek şekilde geri dönüşümünün sağlanması ve ekonomiye ek bir değer kazandırılması sağlanmalıdır (Yılmaz 2019).



Şekil 2. Atık Yönetimi Hiyerarşisi (Yılmaz 2019)

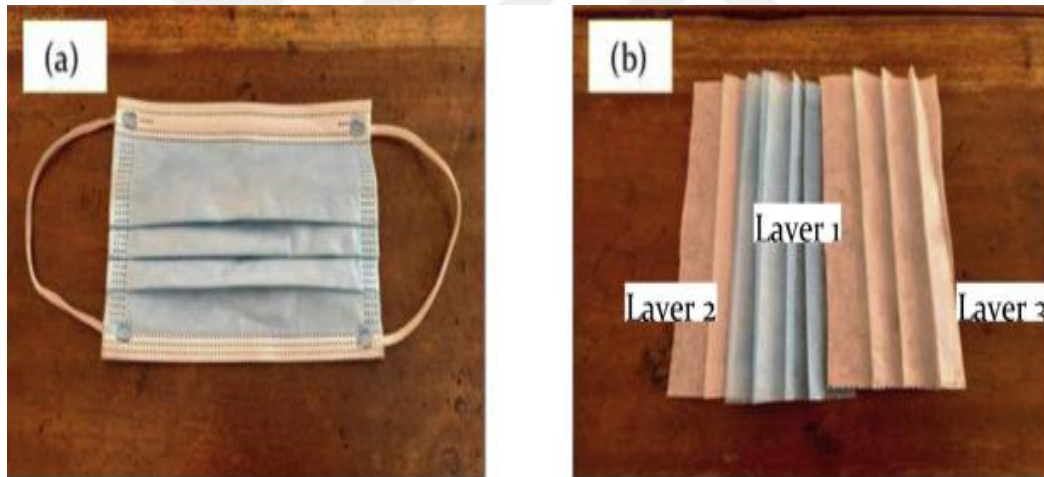
Tıbbi atık kapsamında ele alınan geri dönüşüm veya enerji geri kazanımı potansiyeline sahip olabilecek kullanılmış maske, eldiven, koruyucu gözlük, siperlik ve atık dezenfektan

kutuları gibi atıklar, diğer tıbbi atıklardan kaynağında ayrılarak, çeşitli çevresel ve ekonomik kazanımlar elde edilebilecek proseslerde değerlendirilebilir. Bu kapsamdaki atıkların karakterinin belirlenmesi hangi prosesin uygulanacağı noktasında önemlidir.

Covid-19 Pandemisinin Tıbbi Atık Üretimi ve Karakteri Üzerine Etkisi

Covid-19 pandemisi, tıbbi atıkların cinsi ve karakteri üzerinde değişikliğe sebep olmaktadır. Hastalığın teşhis ve tedavi aşamalarında kullanılan tıbbi malzemeler ve hastaların kullandığı tüm kişisel koruyucu ekipmanlar tıbbi atık kapsamında yer almaktadır. Pandemi süresince sıklıkla kullanılan kişisel koruyucu ekipmanlar (KKD) ve bunların ana bileşenleri aşağıdaki şekildedir;

Tek Kullanımlık Maskeler: Genellikle üç katmandan oluşan tek kullanımlık maskeler polipropilen (PP), poliüretan (PU), poliakrilonitril (PAN), polistiren (PS), polikarbonat (PC), polietilen (PE) veya polyester gibi polimerlerden üretilmektedir (Ak 2020). Polipropilen (PP) bu cerrahi maskeyi üretmek için ana malzeme olarak kullanılmaktadır (Selvaranjan *et al.* 2021). Tek kullanımlık yüz maskesine ait görsel Şekil 3'te yer almaktadır.



Şekil 3. Cerrahi Maskenin Yapısı: (a) Cerrahi Maske (b) Cerrahi Maskenin Üç Katmanı (Selvaranjan *et al.* 2021).

İç katman, esas olarak nemi emmek ve kullanıcı tarafından serbest bırakmak için kullanılan standart bir kumaştır. Dış katman, hastanın püskürttüğü sıvıyı izole etmek için kullanılan su geçirmez dokunmamış bir kumaştır. Ortadaki filtre tabakası, mikropların maskeye girip çıkmasını engelleyen melt-blown malzemeden yapılmıştır (Dharmaraj *et al.* 2021b).

Medikal Eldivenler: Eldivenler lateks, nitril, polivinilklorür (PVC) ve neopren türleri vardır. Lateks eldivenler doğal kauçuk, nitril eldivenler akrilonitril ve bütadien, vinil eldivenler

PVC, neopren eldivenler ise klor, karbon, hidrojen ve kükürt ana bileşenlerine sahiptir (Purnomo *et al.* 2021).

Koruyucu Giysiler: Koruyucu önlük PP veya PE, tulumlar ise yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ana bileşenlerine sahiptir (Purnomo *et al.* 2021).

Koruyucu Gözlük ve Yüz Siperleri: Koruyucu gözlükler PVC (çerçeve kısmı), PC (lens kısmı) ve kauçuktan (kafa bandı) yapılmıştır. Yüz siperi genellikle şeffaf vizör için Polietilen Tereftalat (PET) ve PVC asetattan, kafa bandı polilaktik asitten yapılmıştır (Purnomo *et al.* 2021).

El Dezenfektanı ve Diğer Dezenfektan Kapları: Kap gövdesi PET ve PE, kapak ise PP den yapılmıştır (Purnomo *et al.* 2021).

Diğer Atıklar: Enjektör, iğne, bıçak, neşter gibi kesici delici atıklar, hastalarda kullanılan tek kullanımlık ekipmanlar ayrıca doku organ parçaları gibi patolojik atıkları kapsar. Bu atıklar iç içe iki adet tıbbi atık poşetine konup üzerine dezenfektan sıkılıp 24 saat içerisinde teslim edilmelidir.

Yukarıda da belirtildiği gibi Covid-19 pandemisi sonucu oluşan kişisel koruyucu ekipmanlar genel olarak plastik polimerlerden oluşmaktadır. Bunların toprağa gömülmesi veya yakılması, geri dönüştürülmemesi çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Mekanik prosesler sadece hacimsel bir kazanım sağlamakta öncesinde dezenfeksiyonun yapılması gerekmektedir. Termokimyasal dönüşüm yöntemleri plastik polimerlerin geri kazanımı ve dezenfeksiyonunda uygulanabilmektedir.

Termokimyasal Bertaraf Yöntemleri

Bu bölümde pandemi döneminde devasa miktarda çıkan ve Covid-19 tıbbi atıklarından olan maske atıklarının termokimyasal yöntemlerle enerji geri kazanımı potansiyeli incelenmiştir. Bu kapsamda termokimyasal dönüşüm yöntemlerinden yakma, gazlaştırma, sıvılaştırma ve piroliz başlıkları üzerinde durulmuştur.

Yakma

Yakma işlemi, yüksek sıcaklıkta gerçekleşen bir kuru oksidasyon işlemi olup organik ve diğer yanabilen atıkları inorganik, yanamayan maddelere dönüştürür. Bu işlem sonucunda atıklar su ve karbondioksit dönüştürülerek zararsız hale getirilir. Yakma sonucunda atıkların hacim ve ağırlıkları büyük oranda azaltılmış olur (%95'ten fazla). Genellikle yeniden kullanılamayan veya depolama sahalarında bertaraf edilemeyen atıkların işlenmesinde kullanılır. Tıbbi atıkların belirli tipleri örneğin ecza veya kimyasal atıkların tamamen yok

edilmeleri için yüksek sıcaklıklara gereksinim vardır (Tutar 2004). Dolayısıyla bu kapsamdaki atıkların bertarafında kullanılması uygundur.

Yakma, patojeni tamamen öldüren ve potansiyel olarak %90'a kadar organik maddeyi yakan 800 °C ila 1200 °C arasındaki yüksek sıcaklıkta yanma aralığına dayanır (Ilyas *et al.* 2020) Bununla birlikte, bu işlem yüksek CO₂ emisyonuna neden olur. Ayrıca 800 °C'nin üzerindeki sıcaklığa ulaşmak ve bu sıcaklıkta kararlı olmak için ihtiyaç duyulan yüksek ek yakıt tüketimi nedeniyle, çevresel kaygılara yol açmaktadır (Purnomo *et al.* 2021).

Bu prosesi tüm Covid-19 tıbbi atıklarına uygulanabilir. Bununla birlikte, yakma işlemi sırasında, sağlık ve çevre açısından olumsuz sonuçlara yol açabilecek zehirli gazlar açığa çıkmaktadır. Dioksinler ve furanlar gibi tehlikeli gazlar yakma sistemi tarafından salınmaktadır (Mittal 2022). Yakmadan kaynaklanan tüm bu emisyonlar, uygun baca gazı arıtımı ile kontrol edilmelidir. Yakma fırınının işletme maliyetinin neredeyse yarısı hava kirliliği kontrolü için kullanılmaktadır. Çoğunlukla gaz temizleme ünitesi, gaz söndürücü, su veya alkali yıkayıcı, katalitik konvertör , karbon filtre ve torba filtre olan bir dizi ekipmandan oluşur. Bu ekipman hattı, baca gazını uzun bir bacadan atmosfere salınmadan önce arıtmak için gereklidir. Geri kazanımı olan ürün sadece buhar ve elektrik üretimi için kullanılabilen yanma ısıdır. Yakma sonucunda oluşan külün, ağır metal içeriği açısından dikkatle kontrol edilmesi gerekmektedir (Purnomo *et al.* 2021). Veriler doğrultusunda tek kullanımlık maskelerin bertarafında yakma yönteminin yerine, alternatif teknolojiler incelenmelidir.

Gazlaştırma

Gazlaştırma, sentez gazı olarak adlandırılan CO ve H₂ içeren gaz karışımı eldesi için geliştirilmiş bir termokimyasal yöntemdir. Sentez gazı ya çok az bir değişimle ya da doğrudan yanma proseslerinde kullanılabilir. Uygun bir gaz temizleme prosesi ile de içten yanmalı motorlarda, gaz türbinlerinde veya kombine ısı ve elektrik üretim sistemlerinde ikincil yakıt üretimlerinde kullanılabilir (Yaman 2013).

Sıvılaştırma

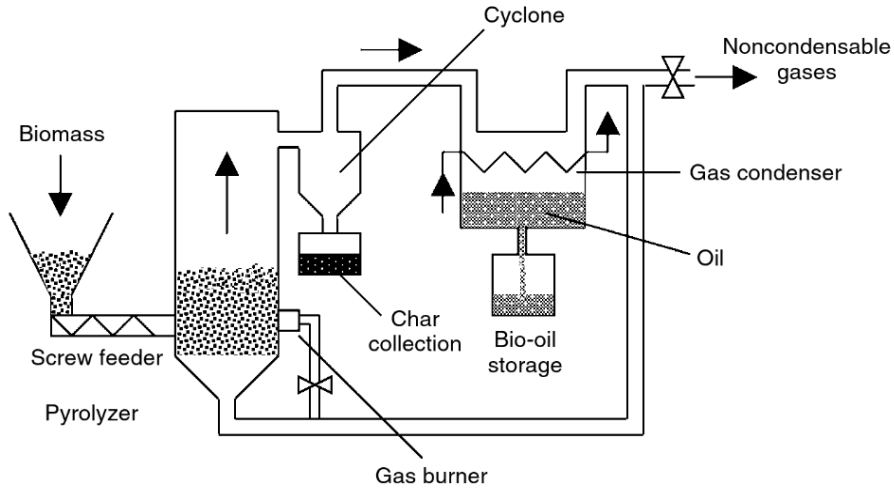
Sıvılaştırma, düşük sıcaklık ve yüksek basınçlı hidrojen kullanılarak biyokütlenin sıvıya dönüştürülmesidir. Reaktörler ve yakıt besleme sistemleri pirolizden daha karmaşık ve pahalıdır bu nedenle sıvılaştırmaya olan ilgi düşüktür (McKendry 2002).

Piroliz

Piroliz, kirlilik sorunlarını çözeabilen ve aynı zamanda hammaddenin petrol ve gaz gibi değerli ürünlere geri dönüşümünü sağlayan bir tekniktir. Uzun zincirli organik malzemelerin

anaerobik veya düşük oksijenli ortamda bir katalizör varlığında (katalitik piroliz) veya katalizör olmadan (termal piroliz) termal dönüşümün meydana geldiği işlem olarak tanımlanır. (Al-Salem *et al.* 2017).

Tipik bir piroliz tesisine ait şema Şekil 4'te yer almaktadır. Ayrışmanın başlayacağı sıcaklığa kadar bir piroliz odasına besleme yapılmaktadır. Salınan yoğunlaşabilen ve yoğunlaşamayan buharlar hazneyi terkederken, üretilen katı kömür kısmen haznede ve kısmen de gazda kalmaktadır. Gaz kömürden ayrılarak reaktörün aşağı kısmında soğutulur. Yoğunlaşabilir buhardan, biyo-yag veya piroliz yağı oluşur, yoğunlaşamayan gazlar ise hazneyi terk eder. Bu gazlar bir brülörde ateşlenebilir veya başka amaçlar için kullanılabilir. Benzer şekilde katı kömür ticari bir ürün olarak toplanabilir veya piroliz için gerekli ısıyı üretmek üzere ayrı bir bölmede yakılabilir. Oluşan gaz oksijen içermediğinden bir kısmı ısı taşıyıcı ortam olarak piroliz odasında geri dönüştürülebilir (Basu 2010).



Şekil 4. Piroliz Tesisi Şeması (Basu 2010)

Piroliz sırasında meydana gelen temel olaylar şunlardır: Isı transferi, yakıt içindeki sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak artan sıcaklık, piroliz reaksiyonlarının başlatılması uçucuların salınmasına ve kömür oluşumuna yol açmaktadır. Uçucuların çıkışı, sıcak uçucular ile pirolize edilmemiş daha soğuk yakıt arasında ısı transferiyle sonuçlanmaktadır. Katran üretimi için yakıtın daha soğuk kısımlarında bazı uçucuların yoğunlaşması ve bu etkileşimler nedeniyle ikincil piroliz reaksiyonları gerekmektedir (Babu and Chaurasia 2002). Katı(char), sıvı(katran) ve gaz ürünler piroliz sonucu elde edilir.

Pirolize etki eden faktörler

Piroliz sonrası elde edilen ana ürünler katı, sıvı ve gaz olarak sınıflandırılabilir. Bu ürünlerin verimleri piroliz prosesinin gerçekleştirildiği sıcaklık, parçacık boyutu, ısıtma hızı, alıkonma zamanı, katalizör, gaz ortamı, hammadde ve reaktör geometrisi gibi şartlara bağlıdır.

Reaktör geometrisinin belirlenebilmesi için proses kinetiğinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Proses kinetiğinin araştırıldığı çalışmalarda genellikle termogravimetrik analiz yöntemi kullanılmaktadır (Yaman 2013).

Sıcaklık ve ısıtma hızı piroliz koşullarını oluşturmaktadır. Örneğin yüksek sıcaklıkta ve ısıtma hızlarında uygulanan pirolizde gaz ürün verimi yükselirken, düşük ısıtma hızı ve sıcaklık da katı ürün verimi daha yüksek olur. Biyokütleler genellikle 150 °C'ye kadar dayanıklıdır, bu sıcaklığa kadar sadece dehidrasyon ile içeriğindeki nemi kaybetmektedir. Selülozik kısımların bozunması 300 °C civarında başlar ve 350 °C'den sonraki sıcaklıklarda karbon içeriği yüksek olan katı ürün oluşmaya başlar. Sıcaklık 450°C olduğunda sıvı ürün verimi yükselmeye başlar ve sıcaklık 700 °C'lere geldiğinde gazlaşma tepkimeleri sonucunda sıvı ve katı ürün verimleri azalırken gaz ürün verimi artmaktadır (Budak 2017).

Katalizör, reaksiyonun aktivasyon enerjisini düşürerek reaksiyon hızını artırır. Katalizör kullanılarak, daha düşük bir sıcaklıkta yüksek bir reaksiyon hızı elde edilebilir, böylece sonunda işlemin enerji gereksinimini ve işletme maliyetini azaltır. Uygun bir katalizör, işlem sırasında reaksiyon ağını değiştirebilir ve üretilen biyo-yagın yerinde yükseltilmesine yol açabilir. Katalizör, proses verimliliğini arttırmada, proses sıcaklığını ve süresini azaltmada etkilidir (Dharmaraj *et al.* 2021a).

Piroliz türleri

Isıtma hızı, uçucu maddenin kalma süresi ve çalışma sıcaklığı dahil olmak üzere çalışma parametrelerine dayalı birçok piroliz türü vardır. Isıtma hızına göre üç ana piroliz türü vardır: 1-yavaş piroliz, 2- hızlı piroliz ve 3-ani piroliz. Yavaş ve hızlı piroliz genellikle inert atmosferde gerçekleştirilir. Uygulanan temel ortama bağlı olarak, piroliz şu şekilde kategorize edilebilir: 1- sulu piroliz, 2- hidropiroliz, 3-oksidatif piroliz, 4- katalitik piroliz ve 5- vakumlu piroliz. Sulu piroliz, su mevcudiyetinde hidropiroliz ise hidrojen mevcudiyetinde gerçekleştirilir. Katalitik piroliz, proses ve yan ürün verimliliğini iyileştirmek için katalizörlerle desteklenen pirolizdir. Mikrodalga veya plazma piroliz gibi bazı piroliz türleri ise ısıtma sistemine bağlıdır (Harussani *et al.* 2022).

Yavaş ve hızlı piroliz genellikle inert bir ortamda azot veya helyum gazı varlığında gerçekleştirilir. Bunların dışında, oksitlenmemiş ortamda iki spesifik piroliz türü daha gerçekleştirilir: sulu piroliz (H₂O'da) ve hidropiroliz (H₂'de). Bu piroliz türleri esas olarak kimyasalların üretimi için kullanılır. Yavaş piroliz de buharın piroliz bölgesinde kalma süresi daha fazladır. Bu işlem, sıvı üretiminin ana hedef olduğu geleneksel piroliz için kullanılmaz. Yavaş piroliz esas olarak kömür üretimi için kullanılır ve ikiye ayrılır; karbonizasyon ve

torefikasyon. Proses teknolojileri ve proses şartlarına ait bilgiler Tablo 3'te yer almaktadır (Alma 2022).

Tablo 3. Proses Teknolojileri ve Proses Şartları (Alma 2022)

Piroliz Teknolojisi	Süre	Sıcaklık artış hızı (°C/dk)	Sıcaklık (°C)	Ürünler
Torrefaksiyon	10-60 dk	Çok düşük	280	Torrefiye biyokütle
Karbonizasyon	Günler	Çok düşük	>400	Kömür
Geleneksel (Yavaş)	5-30 dk	Düşük	550	Biyo-yag, Kömür, Gaz
Hızlı	<2 sn	Çok yüksek	500	Biyo-yag
Flash	<1 sn	Yüksek	<650	Biyo-yag, Kimyasallar, Gaz
Ultra-rapid	<0,5 sn	Çok yüksek	1000	Kimyasallar, Gaz
Vakum	2-30 sn	Orta	400	Biyo-yag
Hidropiroliz	10 sn	Yüksek	500	Biyo-yag
Methanopiroliz	10 sn	Yüksek	700	Kimyasallar

Maske Kullanımından Kaynaklanan Plastik Atıkların Çevre ve Canlı Yaşamına Etkileri

Covid-19 pandemisinin patlak vermesinin ardından, dünya çapında yüz maskesi üretiminde muazzam bir artış olmuştur. Yüz maskelerinin üretimi için birincil hammaddeler, petrokimyasallardan türetilen biyolojik olarak parçalanamayan sentetik polimerlerdir. Bu sentetik yüz maskelerinin çevreye atılması, ortamdaki atık yükünü artırarak flora ve fauna için ciddi ekolojik sorunlara neden olmaktadır (Pandit *et al.* 2021).

MP'ler insan vücuduna yutma, soluma ve cilt teması yoluyla girmektedir. Nano ve mikro boyuttaki plastikler, organlarda tıkanıklıklar ve birikimlerin yanı sıra çeşitli iltihabik hastalıklara neden olabilmektedir. MP'lere uzun süre maruz kalmak insanlarda stres, metabolizma hastalıkları, bağışıklığın bozulması gibi etkilere neden olmaktadır. MP kirliliğinin insan sağlığına etkileri Tablo 4'te yer almaktadır. (Ray *et al.* 2022).

Tablo 4. MP Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri (Ray *et al.* 2022)

Hastalık Kategorisi	Problemler	Sonuçlar
Akut Hastalıklar	Kimyasal ve toksikolojik tehdit: Bir organizmanın detoksifikasyon mekanizmasının (örn. ABC taşıyıcıları) inhibisyonu, akut toksisiteye ve ölüme neden olur.	Sindirim sorunları, akciğer hastalıkları, solunum yolu hastalıkları ve inflamatuvar hastalıklar
Kronik Hastalıklar	Toksikolojik tehdit: Mutajenik ve genotoksik bileşiklerin salınması. Endokrin bozucu kimyasallar.	Karsinogenez erkek infertilitesinde azalma ve kadınlarda meme kanseri

Belirli koşullar altında virüs, plastik bir cerrahi maske üzerinde yedi gün boyunca canlı kalabilmektedir. Çöpe atılan maskeler, koronavirüs hastalığını atık toplayıcılarına veya çöple temas eden insanlara bulaştırma riski taşımaktadır. Hayvanlar ve bitkilerde bu durumdan etkilenmektedir. Hayvanlar avlarıyla maske arasındaki farkı anlayamaz ve bu durum hayvanların boğulmasına sebep olmakta, toprağa saçılan maske ise faunayı etkilemektedir. Ayrıca maskenin bir hayvan tarafından yiyecek zannedilmesi ne yazık ki yaygın bir durumdur, plastik midelerini doldurabilir, gıda alımını azaltabilir, hayvanların aç kalmasına ve ölmesine neden olabilir (Selvaranjan *et al.* 2021). Tek kullanımlık maskelerden kaynaklanan plastik atıkların çevreye ve canlı yaşamına etkilerini azaltmak için sürdürülebilir bir yaklaşım benimsenmelidir. Bu kapsamda enerji geri kazanımını kolaylaştıracak teknolojik yaklaşımlar ile etkilerin en aza indirilmesi hedeflenmelidir.

Covid-19 Tıbbi Atıkları ve Yönetimi ile İlgili Gerçekleştirilen Literatür Çalışmaları

Aragaw and Mekonnen (2021) tarafından yapılan çalışmada, polimer tipi yüz maskeleri ve eldivenler için sürdürülebilir plastik atık yönetimi seçeneklerini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu kapsamda FT-IR ve Termogravimetrik analiz ile yüz maskesi ve cerrahi eldivenin kimyasal bileşenleri belirlenip pirolizi deneyi gerçekleştirilmiştir. Tıbbi yüz maskeleri polipropilen tipi bir plastik polimer olarak, tıbbi el eldivenleri ise nitril kauçuk tipi plastik polimerler olarak tanımlanmıştır. Yüz maskesi ve eldiven parçaları reaktöre konulmuştur. Termal işlem vakum uygulanmadan kapalı sistemde 400 °C'de 1 saat süreyle gerçekleştirilmektedir. Sonucunda piroliz ürünü oda sıcaklığına soğumaya bırakılmıştır. Deney sonunda 225 g biyo-ham petrol(katran) ve 30 g plastik kalıntı (char) elde edilmektedir. Buna göre, geri kazanım oranı ağırlıkça %75 sıvı, %10 kömür ve geri kalanının biyo-ham petrol dışında yoğunlaşmayan gazlar olduğu belirlenmiştir. Piroliz ürünlerinin kalitesi ve veriminin ise büyük ölçüde sıcaklığa ve bir katalizörün varlığına bağlı olduğu da bu deney sonucunda görülmektedir. Çalışmada pirolizin maske atıklarının geri dönüştürülmesi için önerilen bir yöntem olduğu vurgulanmıştır. Böylece, tanımlanan tıbbi plastiklerin yüksek yağ içeriğine sahip termoplastik polimerler olmaları nedeniyle yakıt enerjisine geri dönüştürülebileceği sonucuna varılmıştır.

Dharmaraj *et al.* (2021a) tarafından yapılan çalışmada, Covid-19 tıbbi atıklarının piroliz tekniği ile bertarafı incelenmiştir. Tüm dünyada Covid-19 nedeniyle tıbbi atık miktarında artış olması, ülkeler için tıbbi atık yönetiminde ek bir zorluk oluşturmaktadır. Bu çalışma, termokimyasal prosese, özellikle tıbbi atıkları arıtmak için piroliz prosesine odaklanmaktadır. Pirolizin çevre dostu, verimli olması, uygun maliyeti ve daha az depolama kapasitesi gerektirdiği üzerinde durulmuştur. Covid-19 pandemisi nedeniyle , esas olarak polietilen, polipropilen , polistiren , polietilen tereftalat ve naylondan oluşan büyük miktarda plastik tıbbi

atık üretilmekte ve plastik atıklar piroliz işlemi ile petrol, gaz ve kömür gibi ürünlerine dönüştürülebileceği vurgulanmaktadır. Bu inceleme, Covid-19 tıbbi atıklarını işleme ve arıtma, bu atıkların dönüştürülmesi hakkında ayrıntılı bilgi vermeyi amaçlamaktadır.

Hantoko *et al.* (2021) tarafından yapılan çalışmada, Covid-19 pandemisi nedeniyle artan tıbbi atıkların bertarafı, buna ilişkin zorluklar ve uygulamalar yer almaktadır. Ayrıca kullanılan kişisel koruyucu ekipmanların (yüz maskeleri, eldivenler ve diğer koruyucu malzemeler) miktarında ki artış ve hastanelerden, sağlık kuruluşlarından ,karantinaya alınan evlerde oluşan bulaşıcı atıkların fazla olması ,pandemi sürecinde gıda ve plastik atık miktarının da artması tesislerde kapasite problemlerine neden olduğu belirtilmiş ve acil durumlarda yapılması gerekenler (belediye katı atık yakma fırınlarında, çimento fırınlarında, endüstriyel fırınlarda ve derin gömmede birlikte imha etme) ele alınmıştır. Bu çalışma, tıbbi atıkların işlenmesi nedeniyle oluşacak zorluklarla başa çıkabilmek, tesis işleyişinin iyileştirilmesi ve atık yönetimine ilişkin kısa orta ve uzun vadede çözümler sağlanmaktadır. Ayrıca burada tartışılan bilgiler, gelecekte benzer pandemilerle başa çıkmak için geliştirilen yaklaşımı büyük ölçüde kolaylaştıracaktır.

Selvaranjan *et al.* (2021) tarafından yapılan çalışmada, yüz maskesi atıklarının neden olduğu çevresel etkiyi ve bu atığı azaltmak için sürdürülebilir çözümü araştırmayı amaçlamıştır. Maske atıklarının dönüştürülmesi ve inşaat malzemelerinin üretilmesinde kullanılması tartışılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, bir kişinin haftalık kullandığı yüz maskesi çeşitleri ve maske sayısını belirlemek için 1033 kişi ile online anket yapılmıştır. Maskelerin kara ve deniz ortamında mikroplastik kirliliğine neden olduğu görülmektedir. Bu makale, maskelerin neden olduğu plastik atığı azaltmak için dokuma yüz maskesi teknolojisine doğal bitki lifi kullanımını entegre ederek maske üretimine yönelik sürdürülebilir yaklaşımı da vurgulamaktadır. Maske atığının ileri dönüştürülmesi ve yapay agregalar, hafif plastik blok gibi inşaat malzemelerinin üretilmesi ve ekolojik harç üretimi, yakın gelecekte plastik atıkları ve çevre ve sağlık üzerindeki etkileri azaltmak için geçerli bir çözüm olabileceği sonucuna varılmıştır.

Ray *et al.* (2022) yaptıkları bu çalışmada, Covid-19 nedeniyle kullanımı artan tek kullanımlık yüz maskesi ve KKD'nin uygunsuz şekilde atılmasının su ortamı ve insan sağlığı için potansiyel bir tehdit oluşturduğunu vurgulamaktadır. Yüz maskelerinin ve KKD'lerin uygunsuz şekilde atılmasından kaynaklanan MP kirliliğinin sonuçlarına ilişkin uzun vadede önleyici tedbirler ve iyileştirme stratejileri, atık yönetimi ile ilgili olarak çevre bilincine ve eğitime odaklanılmasının gerekliliği üzerinde durulmuştur. Plastik kirliliği salgını önlemek, uygulanabilir katı atık yönetimi ile sürdürülebilir büyümeyi sağlamak için daha fazla çaba gösterilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Mohana *et al.* (2023) yaptıkları çalışmada, kişisel koruyucu ekipmanlardan kaynaklanan MP ve NP'lerin oluşumu, çevre ve insan sağlığı üzerinde etkilerini incelenmişlerdir. Plastik kirliliğini ortadan kaldırmak için ülkelerin maliyet ve uygulanabilirliği nedeniyle pirolizi yakıt üretmek için bir geri dönüşüm yöntemi olarak kullandığını tespit etmişlerdir. Çalışmada termal yöntemlerden olan piroliz ile plastik atıklardan yüksek sıcaklıklarda (300–900 °C) sıvı yağ, kömür ve gazlar üretilebileceği, pirolizden üretilen sıvı yağın, alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Covid-19 sorunları karşısında uzun vadeli ve ideal bir senaryo için azaltma, yeniden kullanma ve geri dönüşüm kavramlarının hakim olduğu bir atık hiyerarşisi önerilmektedir. Plastikleri doğada plastiğe benzeyen ancak biyolojik olarak parçalanabilen alternatif ürünlerle değiştirmenin devrim niteliğinde olabileceğini ve tüm ülkelerin plastik ürünlerin çevreye salınımını kontrol edebilmesi için bazı inisiyatif ve verimli adımlar atması gerektiği önerilmiştir. Plastiğin kullanımına ilişkin bazı kurallar ve düzenlemeler getirilmesinin gerekliliği, ayrıca insanların plastiğin kullanımı, yeniden kullanımı, geri dönüşümü ve yönetimi konusunda eğitilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

MATERYAL VE METOT

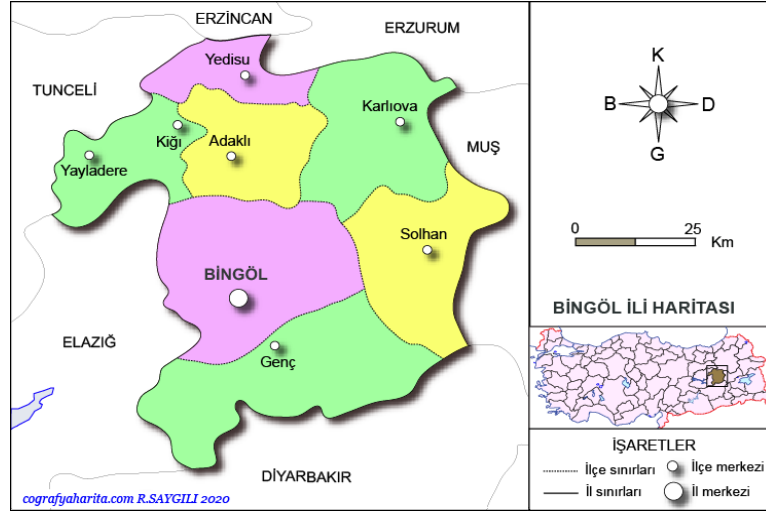
Çalışma kapsamında Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi yerinde incelenip tıbbi atıkların toplanmasından bertarafına kadar olan süreç değerlendirilmiştir. İşletme sorumlusundan alınan bilgi ve belgeler doğrultusunda Bingöl ve Tunceli il merkezi ile ilçelerinde bulunan tıbbi atık üreticileri belirlenmiş olup, atık miktarı ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır. Tıbbi atık miktarlarının 2018-2022 yılları arasındaki değişimine ait veriler Covid-19 pandemisi öncesi ve sonrası olarak hesaplanıp karşılaştırılmıştır. Ayrıca pandemi nedeniyle oluşan maske atıklarının, termokimyasal yöntemlerden olan piroliz ile enerji geri kazanımı araştırılmıştır.

Bingöl İline Ait Genel Bilgiler

Bingöl ili, Doğu Anadolu Bölgesi Yukarı Fırat bölümünde yer almaktadır. Doğusunda Muş, kuzeyinde Erzurum ve Erzincan, batısında Tunceli ve Elazığ, güneyinde ise Diyarbakır illeri bulunmaktadır. Adaklı, Genç, Karlıova, Kığı, Solhan, Yayladere ve Yedisu olmak üzere 7 ilçesi vardır (Anonim 2022). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2022 yılı Bingöl nüfusu 282.556 kişidir.

Tablo 5. Bingöl Merkez ve İlçe Nüfusu (TÜİK 2022)

İl / İlçe	Nüfus (kişi)
	2022 yılı
Bingöl	171 752
Genç	32 757
Solhan	33 491
Karlıova	27 083
Kığı	4 684
Adaklı	8 041
Yayladere	1 953
Yedisu	2 795
Toplam	282 556



Şekil 5. Bingöl İli Haritası (Anonim 2023b)

Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisinin Kurulduğu Bölgeye Ait Genel Bilgiler

Tıbbi atık sterilizasyon tesisi, Bingöl il merkezine bağlı yedi evler mahallesinde 300 m² alan üzerine, kapalı alanı 200 m² olacak şekilde kurulmuştur. Tesis Bingöl İli Yerel Yönetimler Çevre Hizmetleri Birliği'ne (BİNÇEV BİR) ait katı atık düzenli depolama sahasında yer almaktadır. Bingöl il merkezine uzaklığı yaklaşık olarak 15 km dir. Katı atık düzenli depolama sahası ve tıbbi atık sterilizasyon tesisi Şekil 6'da yer almaktadır.



Şekil 6. Bingöl Katı Atık Düzenli Depolama Sahası ve Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesis

Bingöl İli Tıbbi Atık Yönetiminin Tarihçesi

Bingöl il merkezi ve ilçelerinde bulunan atık üreticilerinden kaynaklanan tıbbi atıkların toplanması, taşınması ve bertarafı 2011-2016 yılları arasında Erzurum Büyükşehir Belediyesi'ne ait tıbbi atık sterilizasyon tesisi tarafından yapılmıştır. Bingöl tıbbi atık sterilizasyon tesisi 18.09.2015 tarihinde BİNÇEV BİR tarafından Vertisa Çevre Teknolojileri İnşaat Reklam Danışmanlık İthalat İhracat San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne yap-işlet-devret modeliyle 10 yıllığına ihale edilmiş ve aynı yıl faaliyete başlanmıştır. T.C. Tunceli Valiliği Mahalli Çevre

Kurulu (MÇK)'nın 27.12.2016 tarihli kararı ile Tunceli ilinde oluşan tıbbi atıkların bertaraf edilmek üzere Bingöl ilinde bulunan tıbbi atık sterilizasyon tesisine gönderilmesine karar verilmiştir. Halen Tunceli iline ait tıbbi atıklar, Bingöl tıbbi atık sterilizasyon tesisi tarafından toplanıp bertaraf edilmektedir.

Tesis işletmeciliği, ECT Uluslararası Atık Taşımacılık Çevre Sistemleri ve Otopark İşletmeciliği İnş. Müh. Mak. AŞ'ye 31.08.2016 tarihinde devredilmiş olup halen aynı firma faaliyetine devam etmektedir.

Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi

Bingöl tıbbi atık sterilizasyon tesisi, 2015 yılında Bingöl katı atık düzenli depolama sahasında kurulmuştur. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü'ne ait 07.12.2015 tarihli ÇED olumlu belgesi ve 31.10.2016 tarihli Çevre İzin ve Lisansı Belgesi bulunmaktadır. 03.03.2021 tarihinde çevre izin ve lisans belgesi yenilenip, 03.03.2026 tarihine kadar belgenin geçerliliği mevcuttur. ATA-06-39 lisans numaralı firma lisansında yer alan atık kodları açıklamaları ile birlikte Tablo 6'da yer almaktadır. Günlük 6000 kg kapasiteye sahip olan tesise Bingöl ve Tunceli illerindeki atık üreticilerinden tıbbi atıklar, Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne uygun olarak 2 adet lisanslı araçla toplanmaktadır. Tıbbi atıklar Çevre, Şehircilik ve İklim değişikliği Müdürlüğü tarafından eğitimleri tamamlanan ve yetki belgesi verilen personel ile yönetmeliğe uygun şekilde bertaraf edilmektedir. Personelin yetki belgeleri beş yılda bir yenilenmektedir. 1 tesis müdürü, 1 çevre mühendisi, 2 lisanslı tıbbi atık kamyon şoförü, 1 atık toplama personeli ve 1 sterilizasyon personeli olmak üzere tesiste 6 personel çalışmaktadır.

Tablo 6. Firma Lisansın da Yer Alan Atık Kodu ve Tanımı

Atık Kodu	Atık Kodu Tanımı
180101	Kesiciler (180103 hariç)
180102	Kan torbaları ve kan yedekleri dahil vücut parçaları ve organları (180103 hariç)
180103	Enfeksiyonu önlemek amacı ile toplanmaları ve bertarafı özel işleme tabi olan atıklar
180106	Tehlikeli maddeler içeren ya da tehlikeli maddelerden oluşan kimyasallar
180201	Kesiciler (180202 hariç)
180202	Enfeksiyonu önlemek amacı ile toplanmaları ve bertarafı özel işleme tabi olan atıklar
180205	Tehlikeli maddeler içeren ya da tehlikeli maddelerden oluşan kimyasallar

Tıbbi atık sterilizasyon tesisi, betonarme zemin üzerine prefabrik yapı olarak ve tek katlı olacak şekilde inşa edilmiştir. Zemin katta sterilizasyon ünitesi, atık depolama ünitesi, jeneratör odası, ofis, soyunma odası, tuvalet ve duş gibi üniteler bulunmaktadır. Ayrıca personel ve tıbbi atık toplama araçlarının girişi olmak üzere iki adet kapısı bulunmaktadır. Bingöl tıbbi atık sterilizasyon tesisine ait görsel Şekil 7'de yer almaktadır.



Şekil 7. Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi

Sterilizasyon ünitesi

Sterilizasyon ünitesinde kantar, otoklav, kırıcı ve operatör panosu üzerinde yer alan kontrol paneli yer almaktadır. Makine dairesi olarak giriş yapılan bölüme personel harici girilmesi yasaktır. Tıbbi atıkların araçtan boşaltımı gerçekleştirilip 120-150 kg kapasiteye sahip otoklav konteynerlerine boşaltılmakta ve kantarda tartımı yapılmaktadır.



Şekil 8. Sterilizasyon Ünitesi Araç Giriş Kapısı ve Konteynerler

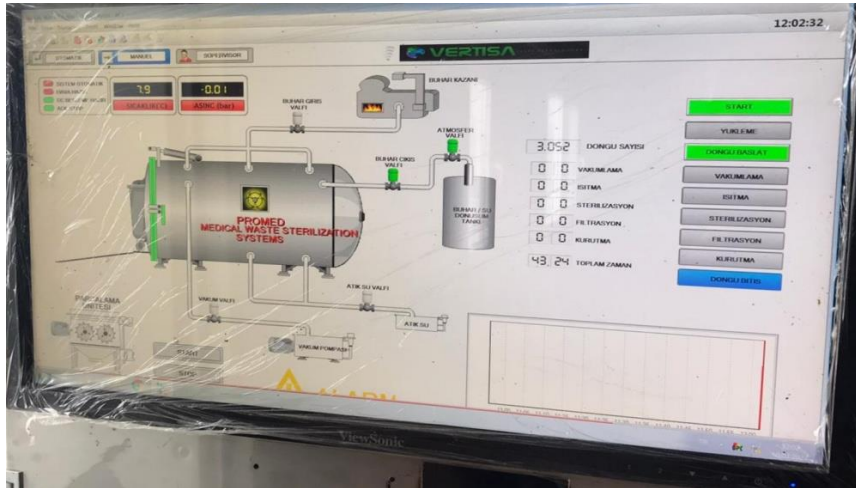
Sterilizasyon işleminin gerçekleştirildiği otoklav dört konteyner kapasitesine sahiptir. Her döngü de yaklaşık 480-600 kg tıbbi atığın sterilizasyonu gerçekleştirilmektedir. Otoklav, kırıcı ve kontrol paneli, Vertisa-Promed markasına aittir. Buharla sterilizasyonun gerçekleştirildiği otoklav maksimum 160 °C sıcaklığa ve 6 bar basınca çıkabilmektedir. Sterilizasyon işlemi gerçekleştirilirken her döngü yaklaşık 40 dk. sürmektedir. Asansörlü bir sisteme sahip olan kırıcı, katı atık depolama sahasına gönderilecek atık hacmini %70 azaltmaktadır. Kırım işlemi gerçekleştirildikten sonra sterilize edilen atıklar, kapasitesi yaklaşık 250 kg olan çöp konteynerlerinde toplanarak katı atık depolama sahasına gönderilmektedir. Tesiste herhangi bir geri kazanım söz konusu değildir.



Şekil 9. Kırıcı



Şekil 10. Otoklav



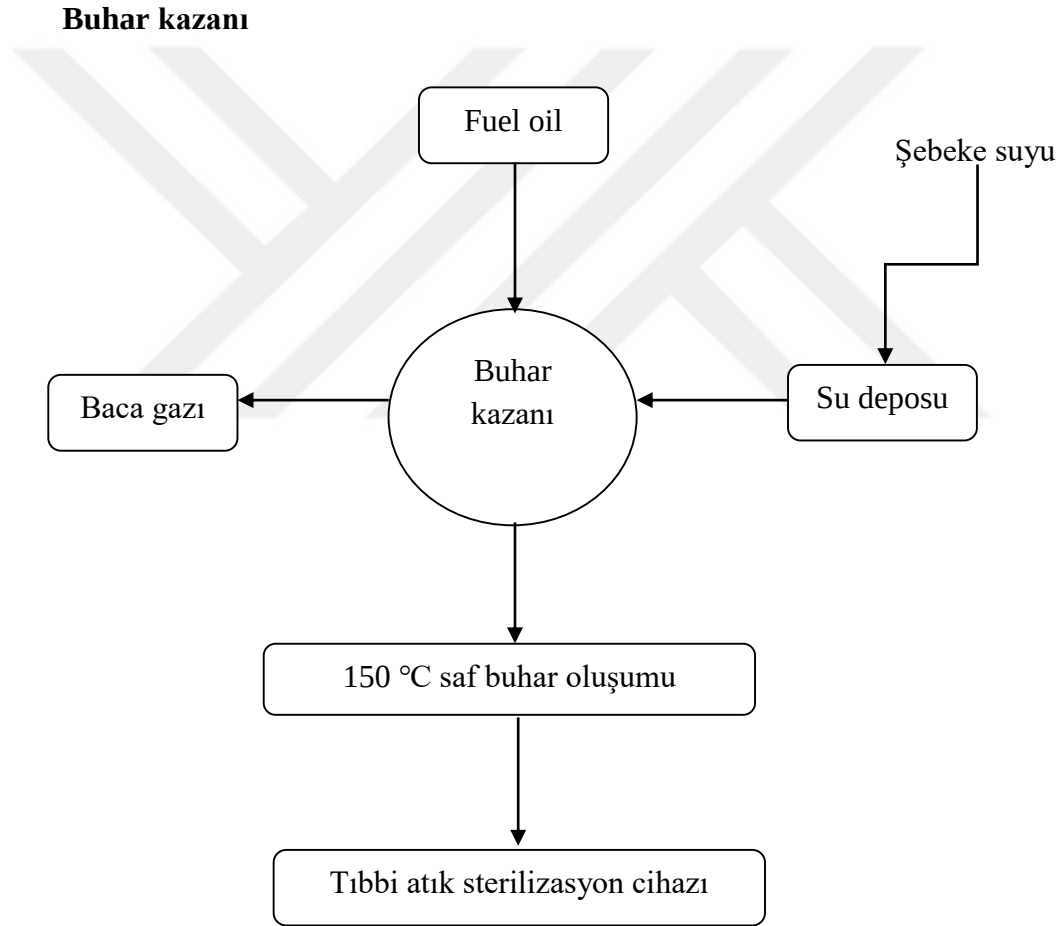
Şekil 11. Sterilizasyon Kontrol Paneli

Soğuk hava deposu

Soğuk hava deposu, tesiste oluşabilecek arıza veya atık miktarının günlük yapılacak döngü kapasitesinden fazla olması sebebiyle atıkların geçici olarak depolandığı yerdir. Kapasitesi yaklaşık 20 ton olup, yeterli aydınlatmaya sahip, tesis içi ve dışı olmak üzere iki adet

kapısı bulunmaktadır. Kapılar dışarı doğru açılmakta turuncu renkte ve üzerinde “DİKKAT! TIBBİ ATIK” ibaresi bulunmaktadır. Soğuk hava deposunun içinde klima bulunmakta, +4 °C’de soğutulan depoda atıklar en fazla 1 hafta süre ile depolanabilmektedir. Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ne göre tesiste oluşacak arıza Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü’ne resmi olarak bildirilmeli, 1 haftayı geçen arızalarda en yakın tıbbi atık sterilizasyon tesisine atıklar taşınmalıdır.

Soğuk hava deposunu temizliği sırasında personel koruyucu ekipmanlarını giyinmeli ve temizlik esnasında depo içerisinde atık bulunmamalıdır. Depo zemini talaşla kaplanıp sonrasında talaşlar tıbbi atık poşetlerine konulmalı, otoklav içerisinde sterilize edildikten sonra katı atık depolama sahasına gönderilmelidir.



Şekil 12. Buhar Kazanı İş Akım Şeması

Tesiste bulunan buhar kazanına ait iş akım şeması Şekil 12’de yer almaktadır. Buhar kazanı sterilizasyon için gerekli buharı sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Tesis içerisinde yer almaktadır. Yakıt olarak fuel oil kullanılmakta ve maksimum sıcaklığı 160°C olup oluşan buhar tıbbi atık sterilizasyon cihazında kullanılmaktadır. İşletme basıncı 4 bar olmakla birlikte buhar kazanının ısı kapasitesi 294.000 kcal/h dir.

Atık geçici depolama alanı

Kullanım süresi dolan giysi ve ekipmanlar 150110 ve 150202 kodlarıyla Şekil 13 'te yer alan geçici atık depolama alanında ayrı depolanıp altı aylık periyotlarda anlaşmalı yakma tesisine gönderilmektedir. Ayrıca tesisin idari bölümünde sıfır atık sistemine geçilmiş olup, 25.11.2021 tarihli sıfır atık belgesi mevcuttur. Sıfır atık kapsamında atıklar, atık geçici depolama alanında toplanıp sözleşme yapılan lisanslı geri dönüşüm firmasına gönderilmektedir.



Şekil 13. Atık Geçici Depolama Alanı

Tıbbi atık taşıma aracı

Bingöl tıbbi atık sterilizasyon tesisine ait iki adet lisanslı tıbbi atık taşıma aracı bulunmaktadır. Bu araçlara tıbbi atık taşıma lisansı almak zorunludur. Araçlar 7200 kg ve 3500 kg taşıma kapasitesine sahiptir. Lisans alırken Atıkların Karayolunda Taşınmasına İlişkin Tebliğ ek-4'te yer alan teknik özellikleri sağlaması gerekmektedir. Buna göre atıkların yüklendiği kısmın tamamen kapalı, sıkıştırma mekanizması bulunmayan, şoför mahalli ile atık yükleme kısmı arasında boşluğun bulunduğu, atık yükleme kısmının kaza halinde zarar görmemesi için sağlam yapılmış, iç yüzeyinin paslanmaz, kolaylıkla temizlenebilen ve dezenfekte edilebilen düzgün yüzeyli, dik köşeler içermeyen, kesişen yüzeylerin yumuşak dönüşlerle birbirine birleşmesi, sağ, sol ve arka yüzeylerinde görülebilecek uygun büyüklükte ve siyah renkli "Uluslararası Biyotehlike" amblemi ile siyah harfler ile yazılmış "DİKKAT! TIBBİ ATIK" ibaresinin bulunduğu, dış yüzeyinin turuncu renge boyanmış olduğu teknik özelliklere sahip olması gerekmektedir (Resmi Gazete 2015).

Lisans belgelerinde taşıma izni verilmiş olan 180106 ve 180205 kodlu patolojik atıklar tıbbi atık taşıma araçları ile toplanmaktadır. Patolojik atıklar diğer tıbbi atıklardan ayrı olarak

delinmeye, kırılmaya ve patlamaya dayanıklı, su geçirmez ve sızdırmaz, üzerinde siyah renkli “Uluslararası Biyotehlike” amblemi ile siyah renkli “DİKKAT! PATOLOJİK TIBBİ ATIK” ibaresi taşıyan kırmızı renkli plastik biriktirme kapları içinde toplanmaktadır. Bu biriktirme kapları, dolduktan sonra kesinlikle açılmaz, boşaltılamaz ve geri kazanılamaz. Herhangi bir kimyasalla muamele görmemiş kan torbaları ve kan yedekleri dâhil vücut parçaları ve organları tıbbi atık torbalarında toplanabilmektedir (Resmi Gazete 2017). Atık üreticilerinden toplanan patolojik atıklar, tıbbi atık sterilizasyon tesisinde yer alan geçici soğuk hava deposunda en fazla 6 ay süre ile depolanabilmektedir. Patolojik atıklar sözleşme yapılan yakma tesisine 6 aylık periyotlarda, taşıma izni bulunan bu araçlarla taşınmaktadır.



Şekil 14. Tıbbi Atık Taşıma Aracının Dış Görşeli

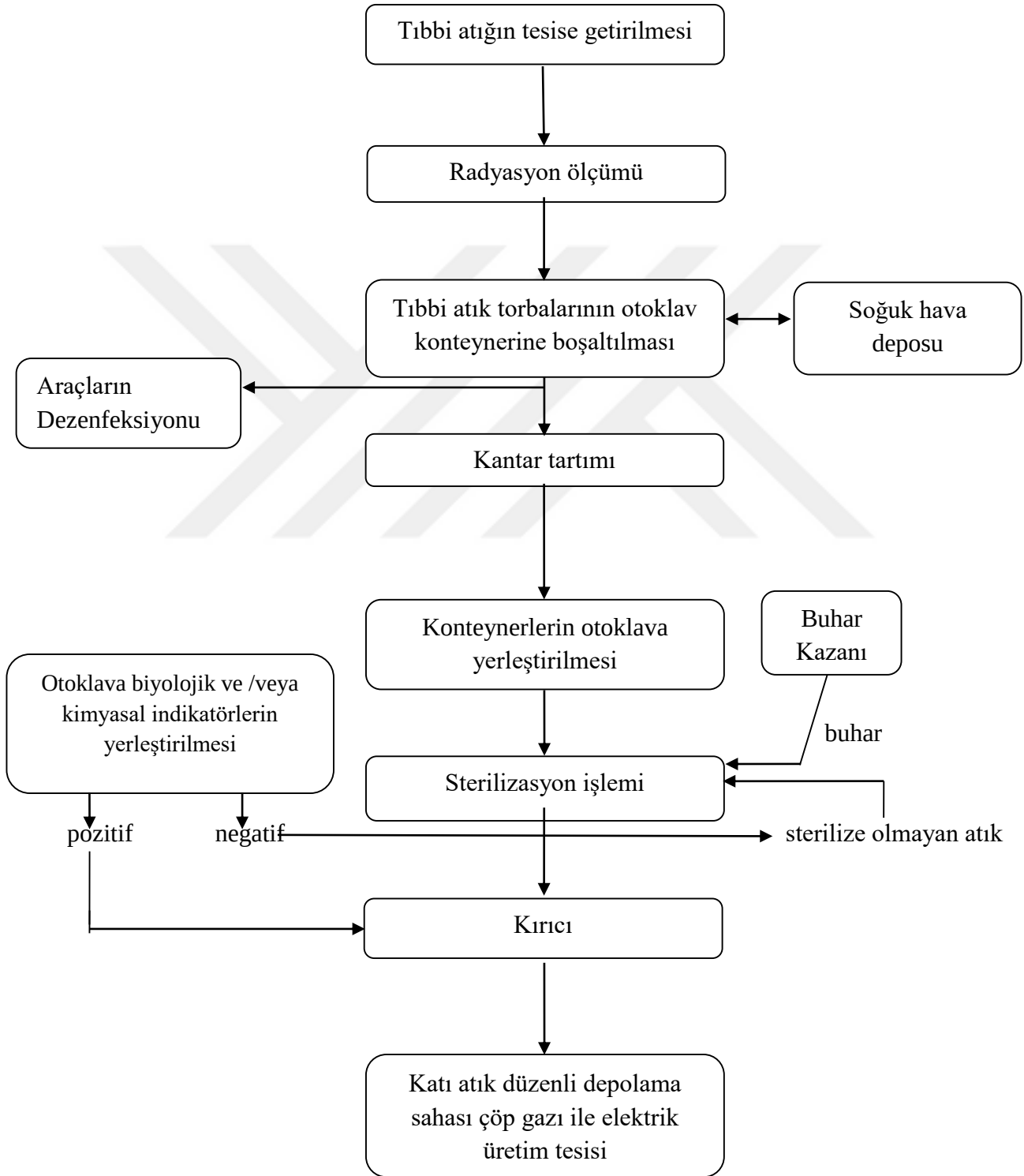


Şekil 15. Lisanslı Tıbbi Atık Taşıma Aracının İç Görşeli

İş akım şeması ve proses özeti

Günlük toplanan atıklar, lisanslı tıbbi atık toplama aracı ile tıbbi atık sterilizasyon tesisine getirilmektedir. Tıbbi atık içerisinde radyoaktif madde bulunup bulunmadığının tespiti maksadıyla araç, tesis girişinde radyasyon panelinden geçirildikten sonra tesise kabul edilmektedir. Radyoaktif bir maddenin tespiti halinde araç güvenli bir bölgeye alınarak,

Türkiye Atom Enerji Kurumu'na bilgi verilip gereken müdahalenin yapılması sağlanması gerekmektedir. Radyoaktif atıklar, Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu mevzuatı hükümlerine göre yönetilmektedir (Resmi Gazete 2017). İçinde radyoaktif madde bulunmadığı tespit edilen atıklar, soğuk hava deposuna boşaltılmaktadır. Sterilizasyon tesisinde bulunan radyasyon paneline ait görsel Şekil 17'de yer almaktadır.



Şekil 16. Bingöl İli Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi İş Akım Şeması



Şekil 17. Radyasyon Paneli

Otoklav konteynerlerine atıklar boşaltıldıktan sonra konteynerlerin kantarda tartımı yapılmaktadır. Bir sterilizasyon döngüsü, otoklav içerisine dört adet konteyner yerleştirilerek yapılacağından, tartımlar döngü başlatılmadan önce yapılmakta ve tartım fişi otomatik olarak çıkartılmaktadır. Konteynerler otoklav içerisine yerleştirilirken sterilizasyon işleminin etkinliğini kontrol etmek amacıyla haftalık biyolojik indikatör ve her döngüde kimyasal indikatör konteynere yerleştirilmektedir. İlgili görseller Şekil 18’de ve Şekil 19’da yer almaktadır.



Şekil 18. Biyolojik İndikatör



Şekil 19. Kimyasal İndikatör

Tıbbi atık poşetlerinin yapışmasını engellemek amacıyla konteynerlerin içi yanmaz yapışmaz kağıtlarla kaplanmakta ve atıklar daha sonra konteynere yerleştirilmektedir. Konteynerlerin otoklav içerisine yerleştirilmesi asansörlü bir sistemle otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Otoklav kapağının kapatılması ve sterilizasyonun başlatılması operatör panosu diye adlandırılan otomatik bir sistem olan kontrol panelinden gerçekleştirilmektedir. Vakumlama, ısıtma, sterilizasyon, filtrasyon, kurutma bölümlerinden oluşan sistem döngüyü başlat tuşuna basarak devreye girmektedir. Sterilizasyon işlemi 2.36 bar basınç altında, 130-136°C sıcaklık arasında yaklaşık 40 dakika süren buhar ile sterilizasyon şeklinde olup, kurutma işleminde iç ve dış basınç eşitlenerek döngü sona ermektedir. Her döngü sonunda üzerinde döngü başlatma, vakum, ısıtma, sterilizasyon, filtrasyon, kurutma ve döngü bitiş kısımlarına ait sistem basıncı, sıcaklığı, süresi bilgilerinin yer aldığı, rapor kontrol paneli üzerinde otomatik olarak sisteme kaydedilmektedir. Döngü raporları ve döngülere ait kimyasal indikatörler eklenerek Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü'ne aylık periyotlarda gönderilmektedir. Kimyasal indikatörde meydana gelen renk değişimi tıbbi atığın sterilize edildiği anlamına gelmektedir. Sterilizasyon tamamlanarak otoklav içerisinden çıkarılan konteyner, hacimce daha küçük atıklar elde edilmesi amacıyla asansörlü bir sistem olan kırıcıya boşaltılır ve sterilize edilen atıkların kırıcı altında yer alan büyük çöp konteynerinin içinde toplanmasıyla işlem son bulur.

Tesiste biyolojik indikatörler enfeksiyon yapıcı atığın sterilizasyonunda haftada en az bir kere kullanılmaktadır. Biyolojik indikatörler sterilizasyon işlemi bittikten sonra kör numune ile birlikte inkübatör cihazına yerleştirilmektedir. Bu cihaz 48 saat içerisinde mikroorganizmaların üreyebileceği ortamı sağlayarak sterilizasyon işleminin doğruluğu test etmektedir. Mikroorganizmaların üremesi biyolojik indikatörlerde renk değişimine neden olmaktadır. Konteyner içine yerleştirilen indikatörde 48 saat sonunda renk değişimi

gözlenmemesi mikroorganizmaların üremediği ve sterilizasyon işleminin geçerli olduğu anlamına gelmektedir. Eğer kör numune de meydana gelen renk değişimi, sterilize edilen indikatörde de oluyorsa bu sterilizasyon işleminin gerçekleşmediği anlamına gelir. Bu durumda sistem sıcaklık basınç değerleri kontrol edilerek sterilizasyon işlemi tekrarlanmaktadır.24 saatte bir kontrol edilip raporlanan inkübatör cihazında yer alan biyolojik indikatörler 48 saat sonunda rapor tamamlanarak fotoğraflanır ve aylık periyotlarda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü'ne gönderilir. Ayrıca tesise Bakanlıkça yetkilendirilmiş laboratuvarlar veya il müdürlüğü personeli tarafından, sterilizasyon kontrolü amacıyla biyolojik numune alımı gerçekleştirilmektedir.

Sterilizasyonu yapılan ve kırıcıdan geçirilen enfekte olmayan atıklar, Bingöl Belediyesi'ne ait çöp kamyonlarına yüklenerek, katı atık düzenli depolama sahasında yer alan Bingöl ili katı atık düzenli depolama sahası çöp gazı ile elektrik üretim tesisine taşınmaktadır.

Tıbbi atık üreticilerinin değerlendirilmesi

Üretilen atık miktarı, çeşidi ve karşılaştırılmasının doğru şekilde yapılabilmesi için öncelikle atık üreticilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Covid-19 salgınından kaynaklı tıbbi atık verilerinin belirlenebilmesi, salgın öncesi ve sonrası atık miktarlarının değerlendirilmesiyle mümkündür. 2022 yılı güncel bilgileri kapsamında, tıbbi atık sterilizasyon tesisi ile sözleşmesi olup atık beyanında bulunan, tıbbi atıklarını tesise gönderen Bingöl il merkezi ve ilçelerinde ki atık üreticilerinin sayısı 76 ve Tunceli il merkezi ve ilçelerinde ki atık üreticilerinin sayısı 43 tür. Atık üreticilerine ait bilgiler Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9'da yer almaktadır. Bu üreticiler Bingöl ve Tunceli illerindeki MÇK'nın her yıl aldığı karar doğrultusunda ödeme yapmaktadırlar.

Tablo 7. Bingöl-Merkez Tıbbi Atık Üreticileri

Bingöl –Merkez	
1. Bingöl Devlet Hastanesi	
2. Bingöl Kadın Doğum ve Çocuk Hastalıkları Hastanesi	
3. Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi	
4. Bingöl Toplum Sağlığı Merkezi (TSM)	
5. 49.Piyade Tugayı Birinci Basamak Reviri	
6. Verem Savaş Dispanseri	
7. Halk Sağlığı Laboratuvarı	
8. Bingöl İl Jandarma Komutanlığı	
9. Bingöl İl Sağlık Müdürlüğü	
Özel İşletmeler	
10. Özel Bingöl Hastanesi (Medi Grup)	
11. Özel Hemodiyaliz Merkezi (Atlas Sağlık)	
12. Bingöl Üniversitesi Deneysel Araştırma Merkezi	
13. Serhat Gümüş Özel Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Muayenesi	
14. GBC İnşaat Turizm San. Tic. A.Ş.-Bingöl Şubesi	
15. Bingöl Sütas Damızlık Süt Sığırcılığı Çiftliği	
16. Kalehan Genç Enerji Üretim A.Ş.	
17. Engin Akgündüz Kadın Doğum	
18. Bingöl Şifa Med.İnş. Gıda Teks.Trz.Göz.tic.Ve San.Ltd.Şti.	
19. SÜTAŞ Süt Ürünleri AŞ Bingöl Fabrika Şubesi	
Diş Klinikleri	
20. Özel Dent Avrupa Ağız ve Diş Sağlığı Polikliniği	
21. Özel Bingöl Ağız ve Diş Sağlığı Polikliniği (Mehmet Fahri Özbay)	
22. Dicle Fırat Sağlık Hizmetleri Limited Şirketi- Bingöl Şubesi	
23. Özel Murat Ayan Diş Kliniği	
24. Özel Alman Dental Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi	
25. Diş Park Özel Diş Kliniği	
26. Deva Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi	
27. Muhammed Barlak Diş Kliniği	
28. Yasemin Çağlayan Kaplan Diş Kliniği	
29. Enes Günerigök Diş Kliniği	
30. Recep Mehmetoğlu Diş Kliniği	
31. Sibel Dinç Diş Kliniği	
Aile Sağlığı Merkezleri	
32. Saray Aile Sağlığı Merkezi (ASM)	40. Çeltiksuyu ASM
33. Karşıyaka ASM	41. Sarıçiçek ASM
34. Recep Tayyip Erdoğan ASM	42. Yeşilyurt ASM
35. Mevlana ASM	43. Ilıcalar ASM
36. Kültür ASM	44. Çavuşlar ASM
37. Kaleönü ASM	45. Sancak ASM
38. İbni Sina ASM	46. Bingöl Üniversitesi ASM
39. Yenişehir ASM	47. Yamaç ASM

Tablo 8. Bingöl-İlçeler Tıbbi Atık Üreticileri

Bingöl-İlçeler

Karlıova İlçesi

- 48. Karlıova Devlet Hastanesi
- 49. Hacılar ASM
- 50. Yiğitler ASM
- 51. Karlıova ASM
- 52. Karlıova TSM
- 53. Rıdvan Akyol Diş Kliniği

Solhan İlçesi

- 54. Solhan Devlet Hastanesi
- 55. Solhan TSM
- 56. Solhan ASM
- 57. Yenibaşak ASM
- 58. Arakonak ASM
- 59. Hazarşah ASM
- 60. Kalehan Enerji Üretim ve Tic. A.Ş.
- 61. Cengiz Çakılsu ve Palu Demiryolu Şantiyesi
- 62. Münire Baki Özel Diş Kliniği

Genç İlçesi

- 63. Genç Devlet Hastanesi
- 64. Genç TSM
- 65. Genç ASM
- 66. Çaytepe ASM
- 67. Servi ASM
- 68. Uzunyayla Tuğla İnşaat Ticaret ve Sanayi Limited Şirketi (İnşaat Tuğlası Üretimi)

Kığı İlçesi

- 69. Kığı İlçe Entegre Hastanesi
- 70. Kığı merkez ASM

Adaklı İlçesi

- 71. Adaklı İlçe Entegre Hastanesi
- 72. Adaklı ASM

Yayladere İlçesi

- 73. Yayladere TSM
- 74. Yayladere ASM

Yedisu İlçesi

- 75. Yedisu TSM
 - 76. Yedisu ASM
-

Tablo 9. Tunceli Merkez ve İlçelerde Bulunan Tıbbi Atık Üreticileri

Tunceli -Merkez	
1. Tunceli Devlet Hastanesi 2. Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi 3. Jandarma Bölge Komutanlığı 4. 4.Komando Tugay Komutanlığı 5. Tunceli TSM 6. Tunceli Kanser Erken Teşhis Tarama ve Eğitim Merkezi (KETEM) 7. Tunceli Halk Sağlığı Laboratuvarı 8. 112 Acil Komuta Merkezi 9. Tunceli İl Tarım ve Orman Müdürlüğü 10. Sağlık Müdürlüğü Sağlıklı Hayat Merkezi	
Aile Sağlığı Merkezleri	
11. Tunceli 1 Nolu ASM 12. Tunceli 2 Nolu ASM 13. Tunceli 3 Nolu ASM 14. Tunceli 4 Nolu ASM, 15. Tunceli 5 Nolu ASM 16. Tunceli 6 Nolu ASM	
Diş Klinikleri	
17. Royam Suna Mavi Özel Diş Kliniği 18. Munzur Sevgi Diş Kliniği 19. Drn Bakım Merkezi Sağlık İnşaat ve Nakliye Limited Şirketi, 20. Diş Hekimi Barış Daşcan 21. Elazığ Mef Dental Grup Ağız Ve Diş Sağlığı Hizmetleri Limited Şirketi Tunceli Şubesi 22. Mürsel Koç Diş Kliniği 23. VİNADENT Sağlık Hizmetleri Sanayi Ticaret Limited Şirketi 24. Başak Doğan Diş Kliniği	
Tunceli İlçeler	
Pülümür İlçesi 25. Pülümür TSM 26. Pülümür ASM	Nazimiye İlçesi 37. Nazimiye TSM 38. Nazimiye ASM
Çemişgezek İlçesi 27. Çemişgezek İlçe Entegre Hastanesi 28. Çemişgezek 1 Nolu ASM	Ovacık İlçesi 39. Ovacık İlçe Entegre Hastanesi 40. Ovacık 1 Nolu ASM
Mazgirt İlçesi 29. Mazgirt İlçe Entegre Hastanesi 30. Akpazar 2 Nolu ASM 31. Darıkent 3 Nolu ASM 32. Mazgirt 1 Nolu ASM	Hozat İlçesi 41. Hozat İlçe Entegre Hastanesi 42. Hozat 1 Nolu ASM 43. 51.Mot.P. Tug. Birinci Basamak Muayene ve ASM
Pertek İlçesi 33. Pertek İlçe Entegre Hastanesi 34. Pınarlar ASM 35. Pertek 1 Nolu ASM 36. Pertek TSM	

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisine Kabulü Yapılan Tıbbi Atık Miktarları

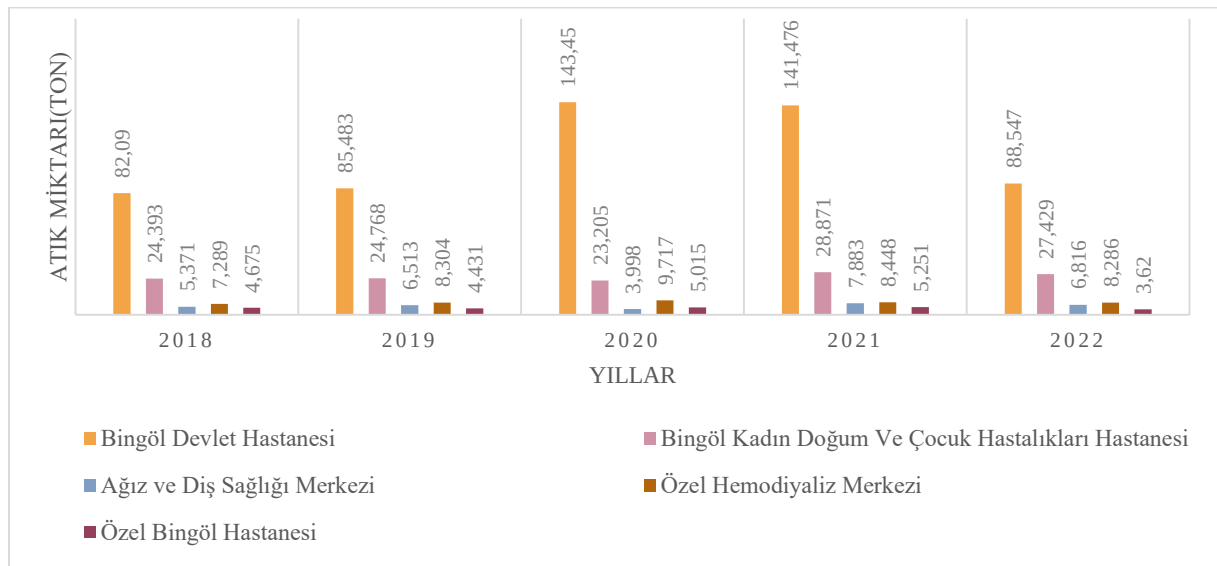
2018 ve 2022 yılları arasında Bingöl ve Tunceli illerinden toplanan, Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisine kabulü yapılan ve sterilizasyonu gerçekleştirilen tıbbi atık miktarları Tablo 10'da yer almaktadır. Tabloda belirtilen değerlendirme aralığına göre, ülkemizde pandemi etkisinin görülmesi ile birlikte Bingöl ve Tunceli illerinin her ikisinde de tıbbi atık miktarının arttığı ve dolayısıyla tesisteki atık yükünün de arttığı görülmektedir. Covid-19 pandemi sürecindeki tıbbi atık miktarının detaylı karşılaştırılması yapılırken 2018-2022 yıllarına ait aylık veriler kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Bingöl ilinde ilk vakanın görüldüğü 11 Mart 2020 tarihinden önce en fazla tıbbi atık miktarı 2020 yılının Ocak ayında 16,809 ton olup, pandemi sürecinde en fazla tıbbi atık miktarı 28,708 ton ile 2021 yılına ait Ağustos ayında olduğu görülmektedir. Pandemi öncesinde 2018-2019 yılına ait tıbbi atık miktarındaki artış oranı yaklaşık %6 iken, 2019-2020 yılları arasındaki artışın %35 olduğu tabloda görülmektedir. Bu durum pandeminin tıbbi atık miktarı üzerindeki etkisini kanıtlar niteliktedir.

Tablo 10. Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisine Kabulü Yapılan Tıbbi Atık Miktarının Yıllara Göre Dağılımı

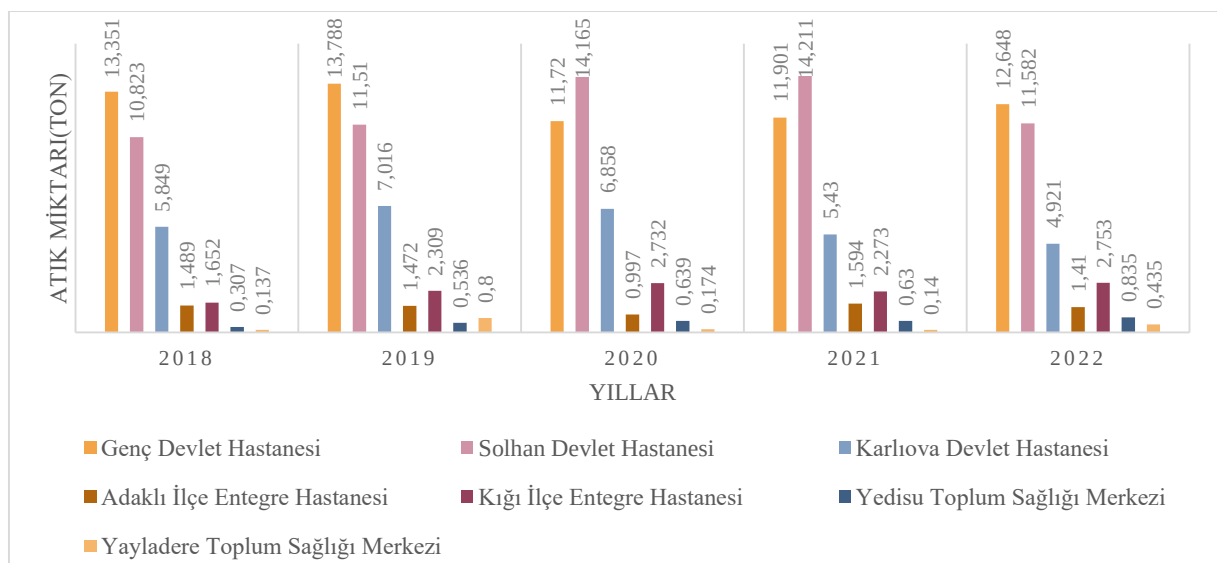
AY \ YIL	2018	2019	2020	2021	2022
Ocak	12,894	13,254	16,809	16,483	18,727
Şubat	12,017	14,130	14,850	15,144	16,387
Mart	13,772	15,149	14,941	17,745	16,210
Nisan	13,165	14,266	13,566	21,669	14,654
Mayıs	12,414	14,239	12,026	17,675	15,751
Haziran	13,440	13,119	15,693	19,278	18,668
Temmuz	15,319	15,290	20,200	21,384	18,321
Ağustos	14,004	14,825	23,531	28,708	21,145
Eylül	12,482	14,838	26,077	25,959	20,063
Ekim	13,622	13,698	20,955	19,931	19,018
Kasım	14,349	14,078	26,425	21,366	19,235
Aralık	14,055	14,518	26,292	20,515	21,187
Bingöl İli Toplam Tıbbi Atık Miktarı(ton)	161,533	171,404	231,365	245,857	219,366
Tunceli İli Toplam Tıbbi Atık Miktarı(ton)	57,398	60,995	69,686	84,422	71,904
Sterilizasyon Tesisine Gelen Toplam Tıbbi Atık Miktarı(ton)	218,931	232,399	301,051	330,279	291,270

Bingöl İlinde En Fazla Tıbbi Atığa Sahip Üreticilerin Pandemi Öncesi ve Sonrası Atık Miktarının Karşılaştırılması

Bingöl merkezde bulunan 250 yataklı Bingöl Devlet Hastanesi, 150 yataklı Bingöl Kadın Doğum ve Çocuk Hastalıkları Hastanesi, Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi, Özel Hemodiyaliz Merkezi ve 32 yataklı Özel Bingöl Hastanesi en çok tıbbi atık üreten hastanelerdir. Genç Devlet Hastanesi, Solhan Devlet Hastanesi, Karlıova Devlet Hastanesi, Kığı İlçe Entegre Hastanesi, Adaklı İlçe Entegre Hastanesi, Yedisu Toplum Sağlığı Merkezi ve Yayladere Toplum Sağlığı Merkezi ilçelerde hizmet veren en fazla tıbbi atığa sahip atık üreticileridir. Yıllar bazında atık miktarına göre karşılaştırmaları Şekil 20 ve Şekil 21’de yer almaktadır.



Şekil 20. Bingöl Merkezde En Fazla Tıbbi Atık Üreten Üreticilerin Karşılaştırılması

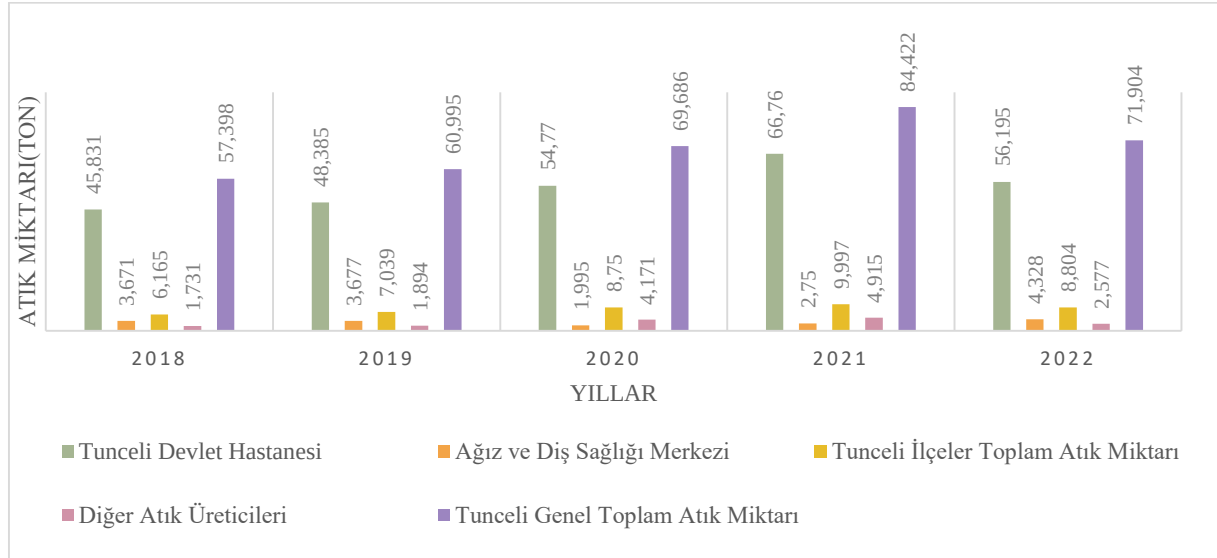


Şekil 21. Bingöl İlçelerde En Fazla Tıbbi Atık Üreten Üreticilerin Karşılaştırılması

Bingöl il merkezi ve ilçelerinde bulunan 2018 ile 2022 yılları arasında en fazla atık üreten üreticilerin karşılaştırılması sonucunda, merkezde Bingöl Devlet Hastanesi, ilçelerde ise Solhan ve Genç Devlet Hastanelerinin en fazla atığa sahip olduğu belirlenmiştir. Bingöl Devlet hastanesi, Bingöl’de bulunan en büyük hastanedir ve tıbbi atık miktarı diğer hastanelere göre daha fazladır. Ayrıca ilçelere göre daha fazla nüfusa hizmet vermesi tıbbi atık miktarının fazla olmasında etkilidir. Bingöl ilinde en fazla tıbbi atık üreten sağlık kuruluşunun Bingöl Devlet Hastanesi olduğu, toplam tıbbi atık içindeki yüzdesinin 2018,2019,2020, 2021 ve 2022 yılında sırasıyla %51, %50, %62, %58 ve %40 olduğu hesaplanmıştır. Solhan ve Genç en fazla nüfusa sahip ilçeler olup, nüfusla orantılı olarak tıbbi atık miktarları da diğer ilçelere göre daha fazladır. Grafikler incelendiğinde pandemi etkisinin ülkemizde yoğun olarak görüldüğü 2020 ve 2021 yıllarında Bingöl iline ait tıbbi atık miktarında artış olduğu görülmektedir.

Tunceli İlinde En Fazla Tıbbi Atığa Sahip Üreticilerin Pandemi Öncesi ve Sonrası Atık Miktarının Karşılaştırılması

Tunceli merkezde bulunan Tunceli Devlet Hastanesi ve Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi en fazla atık üreten hastanelerdir. Tunceli Devlet Hastanesi 150 yataklı olup, Tunceli merkezde bulunan tek hastanedir. Pandemi etkisinin yoğun olarak görüldüğü 2020 ve 2021 yıllarında Tunceli merkez ve ilçelerin toplam atık miktarındaki artış Şekil 22’de görülmektedir. Ayrıca 2022 yılında aşılama ve hastalığın bulaşmasını azaltmak için alınan önlemlerin etkisini gösterdiği atık miktarındaki düşüşten anlaşılmaktadır.

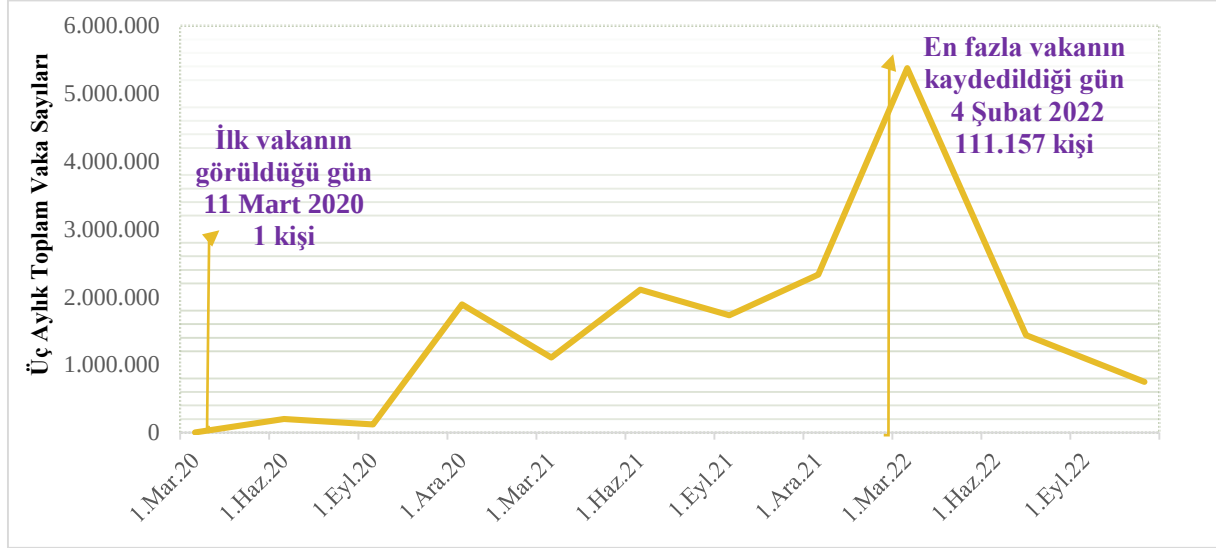


Şekil 22. Tunceli ili Pandemi Öncesi ve Sonrası Tıbbi Atık Miktarlarının Karşılaştırılması

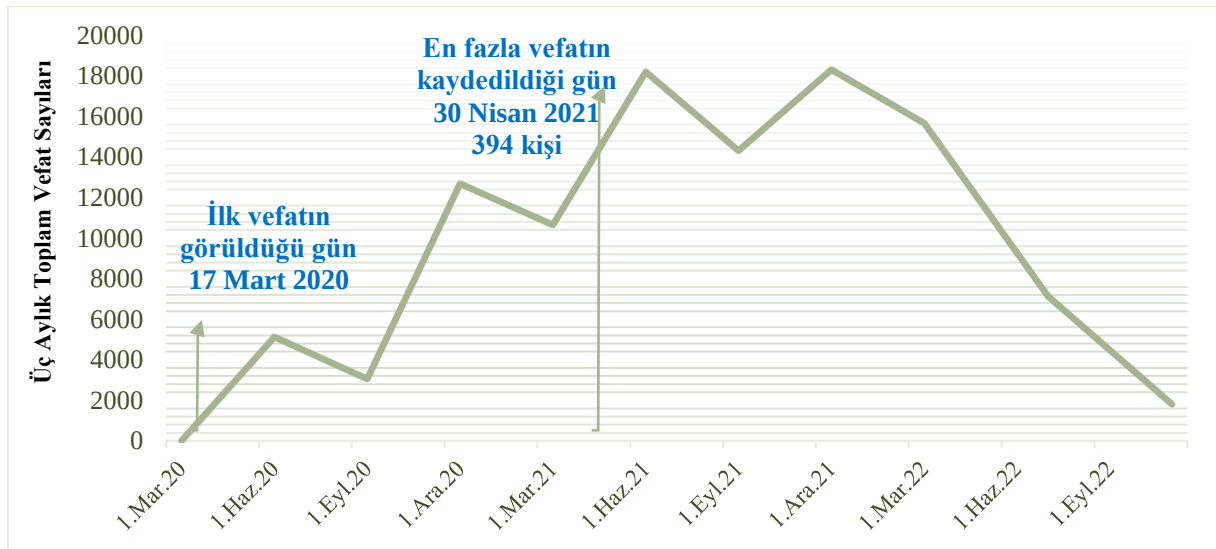
Türkiye’de Covid-19 Pandemisinin Değerlendirilmesi

Covid-19 test sonucu pozitif çıkan ve Sağlık Bakanlığı tarafından Covid-19 Bilgilendirme Platformunda yayınlanan vaka sayılarında ki artışı gösteren grafik Şekil 23 ve

vefat sayısına ait grafik Şekil 24’te yer almaktadır. Vaka ve vefat sayılarına ait veriler 3 aylık periyotlar halinde hesaplanarak grafikler oluşturulmuştur. Grafiklere göre en fazla vaka sayısı 2022 yılının ilk üç ayında görülmekte olup toplamda 5.378.010 kişidir. Ayrıca en fazla vefat sayısı 2021 yılının son üç ayında görülmüş ve 18307 kişidir. Sağlık Bakanlığı’nın yayınladığı verilere göre Covid-19 pandemi sürecinde en fazla vaka sayısı 4 Şubat 2022 tarihinde 111.157 kişidir. En fazla vefat ise 30 Nisan 2021 tarihinde 394 kişidir.



Şekil 23. Türkiye’de Koronavirüs Hastalığından Kaynaklı Vaka Sayıları



Şekil 24. Türkiye’de Koronavirüs Hastalığından Kaynaklı Vefat Eden Kişi Sayısı

Bingöl İlinde Covid-19 Pandemisinin Tıbbi Atık Miktarı Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi

Türkiye de ilk vakanın görüldüğü 11 Mart 2020 tarihinden itibaren Sağlık Bakanlığı tarafından günlük vaka sayılarının da yer aldığı veriler paylaşılmaya başlanmıştır. 15 Şubat 2021 tarihinden 26 Mart 2022 tarihine kadar ise illere göre haftalık vaka sayısı (100 bin kişide)

açıklanmıştır. Açıklanan bu bilgiler doğrultusunda Bingöl iline ait hesaplanan veriler Tablo 11’de yer almaktadır. 100 bin kişide haftalık vaka sayısı bakanlık tarafından yayınlanmış olup bu kapsamda haftalık toplam vaka sayısı yaklaşık olarak hesaplanmıştır. 2021 yılına ait haftalık toplam vaka sayısı 2020 nüfus bilgileri, 2022 yılına ait haftalık vaka sayıları ise 2021 yılı nüfus bilgilerine göre hesaplanmıştır. Bingöl ilinde vaka sayısının en yüksek olduğu hafta 8-14 Ocak 2022 olup 3993 kişidir. Sağlık Bakanlığı’nın yayınladığı vaka sayıları ile aynı tarihlerdeki tıbbi atık miktarları Bingöl tıbbi atık sterilizasyon tesisi yetkilisinden alınan bilgiler doğrultusunda ilgili tablo da yer almaktadır. Tıbbi atık miktarının en fazla olduğu hafta 21-27 Ağustos 2021 tarihinde olup 7273 kg’dır.

Tablo 11. Bingöl İli Haftalık Vaka Sayısı ve Toplanan Tıbbi Atık Miktarı (Anonim 2023c)

Tarih	Bingöl İli haftalık vaka sayısı (100 bin kişide)	Yaklaşık Vaka Sayısı	Bingöl İlinde Toplanan Tıbbi Atık Miktarı (kg)
15-21 Şubat 2021	18,45	51	3781
20-26 Şubat 2021	15,81	44	3730
27 Şubat – 5 Mart 2021	17,04	48	3484
6-12 Mart 2021	25,20	71	3629
13-19 Mart 2021	47,56	134	3788
20-26 Mart 2021	69,56	195	3917
27 Mart – 2 Nisan 2021	124,57	350	5817
3-9 Nisan 2021	204,42	575	4192
10-16 Nisan 2021	300,25	846	4572
17-23 Nisan 2021	271,15	764	4200
24-30 Nisan 2021	154,38	434	5817
1-7 Mayıs 2021	122,09	344	4267
8-14 Mayıs 2021	64,59	181	3164
15-21 Mayıs 2021	65,66	185	4261
22-28 Mayıs 2021	59,62	167	4557
29 Mayıs – 4 Haziran 2021	34,22	96	4503
5-11 Haziran 2021	30,52	85	4257
12-18 Haziran 2021	35,85	101	4405
19-25 Haziran 2021	35,14	99	4481
26 Haziran – 2 Temmuz 2021	36,91	104	5108
3-9 Temmuz 2021	45,78	128	4244
10-16 Temmuz 2021	91,35	257	4294
17-23 Temmuz 2021	130,70	368	3691
24-30 Temmuz 2021	447,18	1260	7105
31 Temmuz – 6 Ağustos 2021	618,02	1741	5730
7-13 Ağustos 2021	546,19	1538	6289
14-20 Ağustos 2021	421,98	1189	6909
21-27 Ağustos 2021	317,64	895	7273
28 Ağustos – 3 Eylül 2021	315,51	889	6644
4-10 Eylül 2021	300,96	848	6865

Tablo 11. (devamı)

11-17 Eylül 2021	280,73	791	6195
18-24 Eylül 2021	314,80	887	4812
25 Eylül – 1 Ekim 2021	332,90	938	5076
2-8 Ekim 2021	330,41	930	4540
9-15 Ekim 2021	327,22	922	4870
16-22 Ekim 2021	229,62	646	4835
23-29 Ekim 2021	145,86	410	4560
30 Ekim – 5 Kasım 2021	166,45	469	4220
6-12 Kasım 2021	144,80	408	4527
13-19 Kasım 2021	91,92	259	4970
20-26 Kasım 2021	63,53	179	5831
27 Kasım – 3 Aralık 2021	48,98	138	3921
4-10 Aralık 2021	25,55	71	4704
11-17 Aralık 2021	20,23	57	3999
18-24 Aralık 2021	36,55	102	1572
25-31 Aralık 2021	89,79	252	7222
1-7 Ocak 2022	705,90	1998	4048
8-14 Ocak 2022	1410,74	3993	4549
15-21 Ocak 2022	700,93	1984	3799
22-28 Ocak 2022	266,18	753	4542
29 Ocak- 4 Şubat 2022	144,09	407	4189
5-11 Şubat 2022	91,84	260	3925
12-18 Şubat 2022	74,88	211	4247
19-25 Şubat 2022	80,89	229	3305
26 Şubat – 4 Mart 2022	71,70	202	4429
5-11 Mart 2022	56,51	159	4067
12-18 Mart 2022	38,50	108	3147
19-25 Mart 2022	32,85	93	3954
TOPLAM		31843	269029

Bingöl İlinde Kişi Başına Oluşan Tıbbi Atık Miktarının Hesaplanması

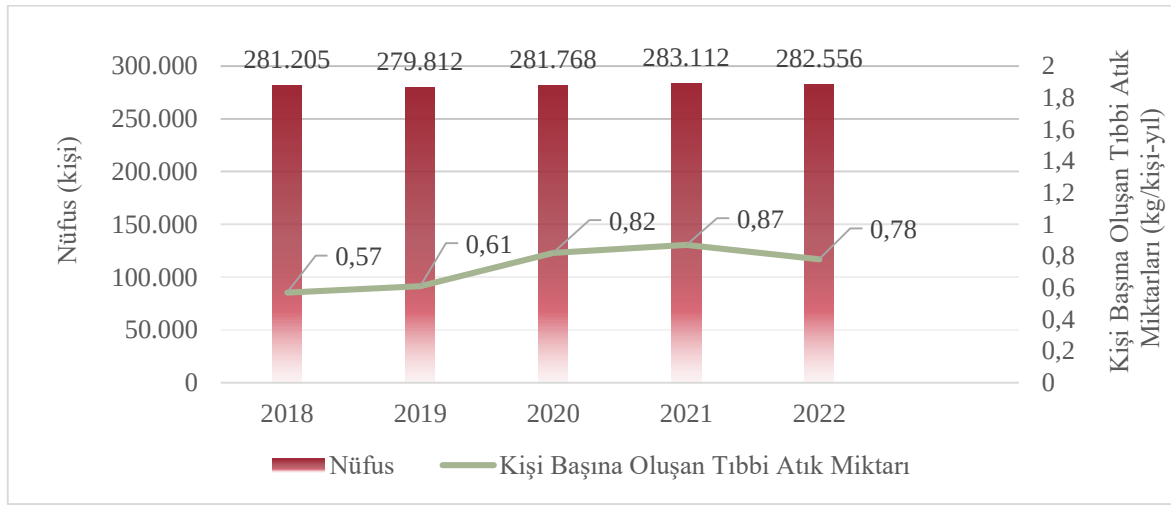
2018-2022 yılları arasında Bingöl iline ait nüfus ve tıbbi atık miktarı kullanılarak, Bingöl de kişi başına oluşan tıbbi atık miktarı Tablo 12’de hesaplanmıştır. Tabloda yer alan verilere göre 2019 yılında nüfus azalırken, toplanan tıbbi atık miktarı artmakta ve dolayısıyla kişi başına oluşan tıbbi atık miktarının da arttığı görülmektedir. Bu durum tıbbi atıkların yerinde doğru şekilde ayrıştırılması yani evsel atıklarla karıştırılmaması veya çevreye atılmaması, toplumun bu konuda bilinçlenmesi, atıkların toplanmasında kullanılan teknolojilerin gelişmesi ve denetimlerin arttırılması gibi nedenlerle ile açıklanabilmektedir.

2019-2020 yıllarında kişi başına oluşan tıbbi atık miktarı %34,4’lük bir artış göstermektedir. Söz konusu bu artışın nedeni Covid-19 pandemisinin ülkemizde görülmesi şeklinde ifade edilebilir. 2021 yılında kişi başına üretilen tıbbi atık miktarı bir önceki yıla göre

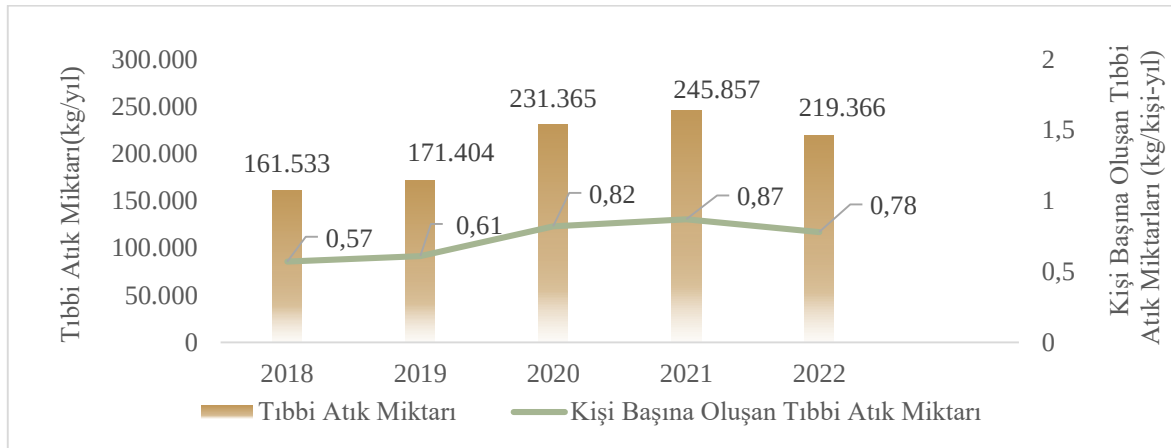
%6,1 artış göstermiştir. 2022 yılında vaka sayılarının düşmesi ve alınan tedbirlerin gevşetilmesi nedeniyle, kişi başına oluşan tıbbi atık miktarı 2021 yılına göre %10,3 azalmıştır.

Tablo 12. Bingöl İli 2018-2022 Yıllarına Ait Kişi Başına Oluşan Tıbbi Atık Miktarı

Yıl	Nüfus	Toplanan Tıbbi Atık Miktarı (kg/yıl)	Kişi Başına Oluşan Tıbbi Atık Miktarı (kg/kişi-yıl)
2018	281.205	161.533	0,57
2019	279.812	171.404	0,61
2020	281.768	231.365	0,82
2021	283.112	245.857	0,87
2022	282.556	219.366	0,78



Şekil 25. Nüfus ve Kişi Başına Oluşan Tıbbi Atık Miktarları



Şekil 25. Kişi Başına Oluşan ve Toplanan Tıbbi Atık Miktarları

Tablo 13. İl Bazında 2015-2018 Yılları Kişi Başına Tıbbi Atık Üretim Miktarları (kg/kişi-yıl) (Eryılmaz ve Demirarslan 2020)

il	2015	2016	2017	2018	Ort.	il	2015	2016	2017	2018	Ort.
Adana	1,38	1,44	1,44	1,48	1,44	Kahramanmaraş	0,76	0,79	0,82	0,87	0,81
Adıyaman	0,59	0,70	0,71	0,74	0,69	Karabük	1,91	1,64	1,32	1,33	1,55
Afyonkarahisar	0,88	0,86	0,90	0,88	0,88	Karaman	0,63	0,64	0,73	0,73	0,67
Ağrı	0,56	0,63	0,55	0,59	0,58	Kars	0,83	0,70	0,70	0,81	0,76
Aksaray	0,58	0,59	0,70	0,68	0,64	Kastamonu	0,68	0,69	0,80	0,82	0,75
Amasya	0,72	0,68	0,70	0,77	0,72	Kayseri	1,11	0,99	0,87	1,02	1,00
Ankara	1,84	1,71	1,54	1,53	1,71	Kırıkkale	1,09	1,14	1,13	1,12	1,12
Antalya	1,24	1,24	1,24	1,27	1,25	Kırklareli	1,08	0,76	0,83	0,80	0,87
Ardahan	0,79	0,53	0,59	0,66	0,64	Kırşehir	0,84	0,81	0,71	0,76	0,78
Artvin	0,54	0,62	0,68	0,74	0,65	Kilis	1,06	1,25	1,28	1,35	1,24
Aydın	1,21	1,30	1,38	1,34	1,31	Kocaeli	1,09	1,18	1,19	1,24	1,18
Balıkesir	0,74	0,81	0,86	0,93	0,86	Konya	1,07	1,09	1,12	1,17	1,14
Bartın	1,03	0,95	1,03	1,08	1,02	Kütahya	0,72	0,73	0,77	0,76	0,75
Batman	0,57	0,56	0,57	0,58	0,57	Malatya	1,67	1,52	1,59	1,62	1,60
Bayburt	0,89	0,62	0,67	0,66	0,61	Manisa	0,94	0,99	1,03	1,11	1,02
Bilecik	0,46	0,47	0,65	0,64	0,56	Mardin	0,42	0,47	0,52	0,52	0,48
Bingöl	0,57	0,52	0,57	0,53	0,55	Mersin	0,93	1,02	1,12	1,18	1,07
Bitlis	0,62	0,60	0,56	0,62	0,60	Muğla	0,66	0,65	0,68	0,87	0,72
Bolu	1,51	1,43	1,75	1,68	1,59	Muş	0,56	0,54	0,60	0,76	0,62
Burdur	0,64	0,50	0,66	0,68	0,62	Nevşehir	0,71	0,70	0,69	0,72	0,71
Bursa	1,02	1,02	1,02	1,11	1,04	Niğde	0,68	0,80	0,73	0,50	0,68
Çanakkale	0,66	0,63	0,69	0,78	0,69	Ordu	0,97	1,11	1,50	1,36	1,24
Çankırı	1,08	0,63	0,66	0,58	0,74	Osmaniye	0,74	-	0,81	0,82	0,79
Çorum	0,92	0,98	0,96	1,09	0,99	Rize	1,02	1,12	1,10	1,22	1,10
Denizli	1,26	1,38	1,40	1,41	1,36	Sakarya	0,89	0,94	1,03	1,06	0,98
Diyarbakır	1,08	0,99	1,14	1,01	1,06	Samsun	1,40	1,55	1,42	1,44	1,50
Düzce	0,98	1,01	1,17	1,13	1,07	Siirt	0,59	0,61	0,69	0,66	0,64
Edirne	1,63	1,71	1,74	1,76	1,71	Sinop	0,69	0,72	0,81	0,67	0,72
Elazığ	1,11	1,25	1,26	0,94	1,14	Sivas	1,20	1,26	1,34	1,36	1,29
Erzincan	1,23	0,92	0,96	0,98	1,02	Şanlıurfa	0,70	0,61	0,75	0,85	0,73
Erzurum	1,39	1,29	1,40	1,46	1,39	Şırnak	0,27	0,46	0,43	0,43	0,39
Eskişehir	1,34	1,38	1,49	1,48	1,42	Tekirdağ	0,73	0,83	0,93	0,89	0,85
Gaziantep	1,08	1,78	1,21	1,27	1,34	Tokat	0,92	0,88	0,92	0,95	0,92
Giresun	0,95	0,97	1,05	1,06	1,01	Trabzon	1,59	1,55	1,61	1,65	1,60
Gümüşhane	0,73	0,56	0,55	0,52	0,59	Tunceli	2,88	0,64	0,63	0,62	0,63
Hakkâri	0,46	0,76	0,47	0,47	0,54	Uşak	1,00	0,93	0,98	0,96	0,97
Hatay	0,88	0,96	1,15	1,30	1,07	Van	1,09	0,90	0,82	0,85	0,92
Iğdır	0,83	0,50	0,55	0,64	0,63	Yalova	0,83	0,91	1,04	0,86	0,91
Isparta	1,43	1,54	1,41	1,76	1,54	Yozgat	0,68	0,72	0,81	1,01	0,81
İstanbul	1,55	1,62	1,70	1,83	1,68	Zonguldak	1,63	1,53	1,67	1,83	1,67
İzmir	1,54	1,58	1,61	1,67	1,60						

Eryılmaz ve Demirarslan (2020) yaptıkları çalışmada, Türkiye’de il bazında 2015-2018 yılları arasında kişi başına oluşan tıbbi atık miktarlarını incelemişlerdir. Kişi başına oluşan tıbbi atık miktarı ve yıl bazında ortalamasına ait bilgiler Tablo 13’te yer almaktadır. İllerin 4 yıla ait veri ortalamaları değerlendirildiğinde kişi başına oluşan atık miktarı en fazla 1,71 (kg/kişi-yıl) ile Ankara ve Edirne illerinde, en düşük 0,39 (kg/kişi-yıl) ile Şırnak ilinde olduğu görülmektedir. İlgili tabloda yer alan bilgilere göre Türkiye’de kişi başına oluşan tıbbi atık

miktarının ortalaması 0,98(kg/kişi-yıl) olarak hesaplanmıştır. Buna göre Bingöl ili 0,55 (kg/kişi-yıl) ile Türkiye ortalamasının altında kalmıştır.

Bingöl İlinde Maske Kullanımından Kaynaklı Atık Miktarının Hesaplanması

Bu bölümde 2020, 2021 ve 2022 yılı pandemi tedbirleri kapsamında günlük kullanılan maske sayısı hesaplanmıştır (Sangkham 2020).

$$D_{FM} = P \times U_p \times F_{MAR} \times \left(\frac{F_{MGP}}{10.000} \right)$$

D_{FM} = Günlük kullanılan maske sayısı (adet)

P = Nüfus (kişi sayısı)

U_p = Dolaşımda olan nüfus (%)

F_{MAR} = Yüz maskesi kullanımı kabul oranı

F_{MGP} = Kişi başına düşen ortalama günlük yüz maskesi

2020, 2021 ve 2022 yılında vaka sayısındaki artış nedeniyle maske takma zorunluluğu Covid-19 tedbirleri kapsamında uygulanmıştır. Bu nedenle yüz maskesi kullanımı kullanım oranı %80 ve kişi başına düşen ortalama günlük yüz maskesi 2 olarak kabul edilmiştir (Nzediegwu and Chang 2020). Ayrıca ilgili yıllarda nüfusun günde %40 'ının dışarda olduğu varsayımı yapılmıştır.

Buna göre;

$$D_{FM2020} = 281.768 \times 0,40 \times 0,80 \times 2 = \mathbf{180.332 \text{ (yüz maskesi/gün)}}$$

$$D_{FM2021} = 283.112 \times 0,40 \times 0,80 \times 2 = \mathbf{181.192 \text{ (yüz maskesi /gün)}}$$

$D_{FM2022} = 282.556 \times 0,40 \times 0,80 \times 2 = \mathbf{180.836 \text{ (yüz maskesi /gün)}}$ olarak hesaplanmıştır.

2020, 2021 ve 2022 yılı için maske atıklarının kütesine ait hesaplama aşağıda yer almaktadır (Hantoko *et al.* 2021);

2020 yılında atılan yüz maskesinin kütesi

$$= 180.332 \text{ (yüz maskesi/gün)} \times 3 \text{ (g/yüz maskesi)}$$

$$= 0,541 \text{ (ton/gün)}$$

$$= \mathbf{197,46 \text{ (ton/yıl)}}$$

2021 yılında atılan yüz maskesinin kütesi

$$= 181.192 \text{ (yüz maskesi/gün)} \times 3 \text{ (g/yüz maskesi)}$$

$$= 0,544 \text{ (ton/gün)}$$

$$= 198,56 \text{ (ton/yıl)}$$

2022 yılında atılan yüz maskesinin kütlesi

$$= 180.836 \text{ (yüz maskesi/gün)} \times 3 \text{ (g/yüz maskesi)}$$

$$= 0,542 \text{ (ton/gün)}$$

$$= 197,83 \text{ (ton/yıl)}$$

Tek kullanımlık maske atıkları evsel nitelikli atık kapsamında yer almaktadır. Pandemi etkisinin görülmesiyle sadece sağlık kuruluşlarında ve hastalığa yakalanan insanların evde karantinaya alınması sürecinde kullanılan tek kullanımlık maskeler tıbbi atık kapsamına alınmıştır. Sağlık kuruluşlarında maskelerin tıbbi atık kapsamında toplanması kontrol edilebilir bir durumken, evlerde bu durum pek mümkün olmamaktadır. Covid-19 tedbirleri kapsamında maske zorunluluğunun getirilmesiyle birlikte kontrol edilemeyen maske atığı yükü oluşmuştur.

2020, 2021 ve 2022 yıllarında Bingöl iline ait maske atık yükü sırasıyla 197,46 ton, 198,56 ton ve 197,83 ton olarak hesaplanmıştır. Aynı yıllarda Bingöl ilinde toplanan tıbbi atık miktarlarının ise 231,365 ton, 245,857 ton ve 219,366 ton olduğu tespit edilmiştir. Toplanan tıbbi atık kapsamında sağlık kuruluşlarında tedavi gören karantina hastalarının kullandığı KKD'ler ve tıbbi atık kapsamına giren tüm atıklar yer almaktadır. Bu sebeple maske atıklarının tamamının kontrol edilemediği öngörülebilmektedir. Tüm bu bilgiler, Bingöl ilinde doğaya atılan veya evsel atıklar ile düzenli depolama tesisinde toprak altına gömülen tonlarca maske olduğunu göstermektedir.

Tek kullanımlık yüz maskeleri termoplastik polimer içeriği nedeniyle güvenli bir şekilde bertaraf edilmelidir. Maske kullanımındaki artıştan kaynaklanan plastik kirliliğinin önüne geçilebilmesi, maske atık yükünün kontrol edilebilmesi, çevresel ve ekonomik getiri sağlanabilmesi bu atıklarının karakterine en uygun termal yöntemlerden olan piroliz ile enerji geri kazanımı açısından önemlidir.

Tek Kullanımlık Yüz Maskesinin Karakterizasyonu

Tek kullanımlık yüz maskelerinin pirolizinden önce kimyasal bileşimleri termal analiz yöntemleri kullanılarak belirlenmelidir. Bu kapsamda tek kullanımlık yüz maskelerinin termogravimetrik analizi ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) ile termal analizi incelenmiştir.

Bir maddenin veya türevlerinin belirli sıcaklıkta özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin incelenmesi, tepkimelerde absorplanan veya açığa çıkan ısıнын ölçülmesi için kullanılan yöntemlerin tümüne termal analiz yöntemleri denir. Termogravimetrik analiz

kontrollü olarak arttırılan veya azaltılan sıcaklık sonucunda analiz edilecek maddenin kütleinde meydana gelen azalmalar, sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak incelenmektedir. Sonuçta elde edilen sıcaklık kütle eğrilerine termogram veya termal bozunma eğrileri denir. Sıcaklık artışı sonucunda oluşan kütle kayıpları, genel olarak su gibi uçucu bileşiklerin yapıdan ayrılması veya maddenin ayrışmasıyla meydana gelir. FT-IR ürünlerdeki fonksiyonel grupların belirlenmesi amacıyla uygulanan bir yöntemdir (Çepelioğullar 2011).

Xu *et al.* (2022) tarafından yapılan çalışmada maske yüzeylerinin ve kulak askısının termogravimetrik ve FT-IR analizi ile pirolizi sonucu oluşan uçucu ürünlerini incelemiştir. Termogravimetrik analiz ile 10, 20 ve 40 °C' lik ısıtma hızında 30–900 °C aralığında piroliz sırasında maske yüzeylerinin ve kulak askısının kütle kayıplarını ölçmek için bir termogravimetrik analiz cihazı kullanılmıştır. Yaklaşık 8 mg numune bir alümina potaya yüklenerek ve 70 ml/dk'lık bir taşıyıcı gaz (koruyucu gaz için 20 ml; arındırılmış gaz için 50 ml) N₂ atmosferinde ısıtılmıştır. Numunelerin fonksiyonel gruplarını tespit etmek için bir FT-IR spektrometresi kullanılmıştır. Maske yüzeyi ve kulak askısına ait numuneler taşlanmadığı için ölçümlerde zayıflatılmış toplam yansıma (ATR) aksesuarları kullanılmıştır. Kulak askısı ve maske yüzeyinin elementel, yaklaşık ve üst ısı değeri (HHV) analizleri Tablo 14 'te yer almaktadır. Uçucu içerikleri sırasıyla %92,21, %96,62'dir. Kulak askısı, yüksek karbon ve oksijen, ancak düşük hidrojen içerirken, maske yüzeyi yalnızca daha üst ısı değerini belirleyen karbon ve hidrojeni içermektedir. Yüksek HHV tahminleri, termokimyasal dönüşümlerinin ne ölçüde enerji saldıgını göstermektedir. Çalışmada aktivasyon enerjisi kulak askısı için 171.77 kJ/mol ve maske yüzeyi için 232.79 kJ/mol 'dür.

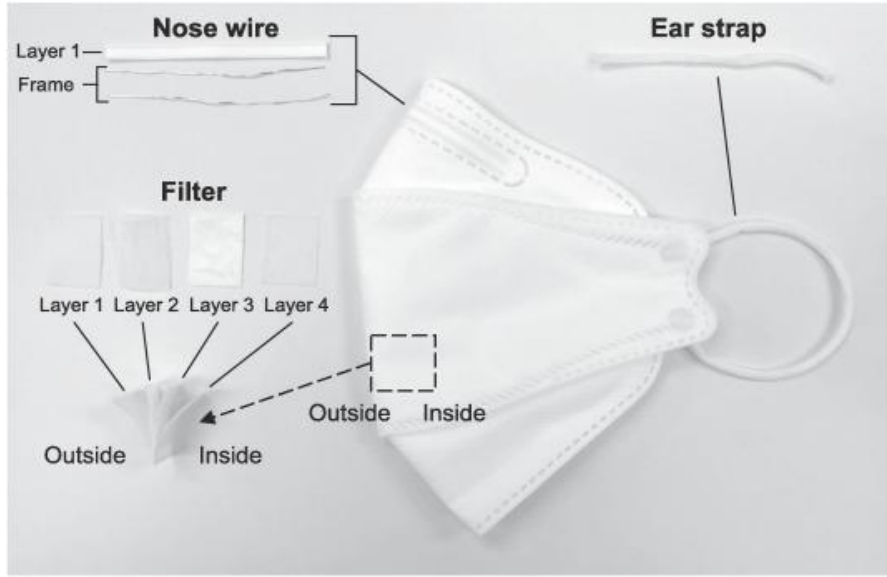
Tablo 2. Maske Yüzeyi ile Kulak Askısının Yaklaşık, Elementel ve HHV Analizleri (Xu *et al.* 2022)

		Kulak Askısı	Maske Yüzeyi
Yaklaşık analiz (% ağırlık)	Nem	0,43	0,42
	Uçucular	92,21	96,62
	Kül	0,27	0,08
	Sabit karbon	7,09	2,87
Elementel analiz (% ağırlık)	C	62,65	85,65
	H	4,78	14,43
	O	31,77	–
	N	0,1	ND
HHV (MJ/kg) (Kcal/kg)		22,79	45,88
		5443,3	10958,25

O (ağırlıkça) = %100 – C – H – N – nem – kül; Sabit karbon (%) = 100 – nem – kül – uçucular; ND: Algılanmadı.

Çalışmada piroliz mekanizması ve uçucu ürünler belirlenirken, kulak askısı ve yüzeyi piroliz cihazı kullanılarak 900 °C' ye ısıtılmıştır. Helyum, 100:1 bölünmüş oranıyla ön girişte 0,80 ml/dk akış hızında temizleme gazı olarak kullanılmıştır. Fırınının sıcaklığı başlangıçta 50 °C'de 1 dakika tutulup, 10 °C/dk ısıtma hızında 300 °C'ye çıkarılarak ve 300 °C'de 1 dakika tutulmuştur. Kulak askısı ve maske yüzeyinin uçucu içeriklerinin tümü %92'den daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Bu atıkların pirolizinin enerji geri kazanımı için büyük potansiyel olduğu, ayrıca zaman ve enerji maliyetinden tasarruf ederken atıkların en aza indirildiği sonucuna varılmıştır.

Jung *et al.* 2021 yaptıkları çalışmada, tek kullanımlık yüz maskesinin ana bileşenleri ve organik/inorganik içeriklerini termal analiz yöntemi ile incelemiştir. Yüz maskesi filtresi (1-4 katman), burun teli (kapak ve metal çerçeve) ve kulak bandı Şekil 27'de gösterildiği gibi parçalara ayrılmıştır. Her bir plastik parçanın içeriği FT-IR spektroskopisi ile kütlesi termogravimetrik olarak analiz edilmiştir. Tek kullanımlık yüz maskesinin farklı parçalarının (filtre, burun teli ve kulak bandı) profillerini incelemek için N₂ ve CO₂ altında, sabit bir ısıtma hızıyla (10°C min⁻¹) 35°C ile 900°C arasında değişen sıcaklıkta termogravimetrik analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada bir piroliz katalizörü olarak Ni/SiO₂ (ağırlıkça %5 Ni) kullanılmıştır. Çeşitli piroliz deneyleri (tek aşamalı, iki aşamalı ve katalitik piroliz) için silindirik fırınlarla boru şeklinde bir reaktör monte edilmiştir. Tek aşamalı piroliz deney düzeneğinde, sabit ısıtma hızıyla (10°C min⁻¹) 35°C ile 600°C arasında çalışan boru şeklindeki reaktörün merkezine 1g (±0,02) yüz maskesi yerleştirilmiştir. İki aşamalı pirolizde, birinci ısıtma bölgesinin (200°C ile 600°C'de çalışan fırın) hemen yanına ek fırın (ikinci ısıtma bölgesi) yerleştirilmiştir. İkinci ısıtma bölgesi sabit bir sıcaklıkta (600°C) çalıştırılmıştır. Katalitik piroliz için, ağırlıkça %5 Ni/SiO₂(1.00 ± 0.01 g) iki aşamalı piroliz düzeneğinde ikinci ısıtma bölgesine eklenmiştir. Tüm deney düzeneklerinde piroliz sırasında N₂ ve CO₂ (100 ml dak⁻¹) bir temizleme gazı olarak boru şeklindeki reaktörden akıtılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler ve grafikler incelenmiş olup yüz maskesinin kimyasal bileşimleri Tablo 15'te yer almaktadır. Yüz maskesinin ana bileşenleri plastik (PP, PE ve naylon) olduğundan, piroliz H₂ ve çeşitli HC'lerin üretilmesine neden olmaktadır. Plastik atıklardan (tek kullanımlık yüz maskesi) ve sera gazından (CO₂) sentez gazı ve HC oluşumu, fosil yakıt üretimini dengeleyerek CO₂ emisyonunun azaltılmasına katkıda bulunabileceği, aynı zamanda katma değerli ürünler üreterek Covid-19 plastik atığını bertaraf etmenin çevre açısından zararsız ve süreç açısından verimli olacağı sonucuna varılmıştır.



Şekil 26. Parçalara Ayrılmış Tek Kullanımlık Yüz Maskesi (Jung *et al.* 2021)

Tablo 3. Tek Kullanımlık Yüz Maskelerinin Kimyasal Bileşimleri (Jung *et al.* 2021)

Kimyasal Bileşimler	Kullanım Yeri	Ağırlık Yüzdesi
Polipropilen	Filtre Katmanı 1,3,4	73,33
Polietilen	Filtre Katmanı 2	13,77
Naylon	Kulak Askısı	8,27
Metaller	Burun Çerçevesi	4,63 (Demir: 4,58 Çinko: 0,02 Titanyum: 0,01 Kalsiyum: 0,01 Manganez: 0,01)

Piroliz ile Enerji Geri Kazanımının Sağlayacağı Çevresel ve Ekonomik Getiriler

Covid-19 pandemisi nedeniyle devasa miktarda oluşan maske atıkları, enerjinin geri kazanımı için potansiyel bir kaynaktır. Maskelerden kaynaklanan atık yükünün çevreye zararını en aza indirmek ve bu atıklardan ekonomik bir getiri sağlanabilmesi atıkların termokimyasal yöntemler uygulanarak dönüştürülmesi ile mümkündür. Termokimyasal yöntem olan gazlaştırmada yüksek enerji ihtiyacı ve oluşan katran maliyeti arttırmaktadır. Sıvılaştırmada ise reaktörler ve yakıt besleme sistemleri pirolizden daha karmaşık ve pahalıdır. Bu nedenlerden dolayı çalışmada yakma ve piroliz detaylandırılmış olup Tablo 16’ da karşılaştırılmıştır. Tablo incelendiğinde yakma yönteminde sadece ısıya geri kazanım olması pirolizde ise hammadde üretme imkanının olması pirolizi daha avantajlı hale getirmektedir.

Tablo 4. Yakma ve Piroliz Yöntemlerinin Avantaj, Dezavantaj ve Zorlukların Karşılaştırılması (Purnomo *et al.* 2021).

Termokimyasal yöntemler	Avantajlar	Dezavantajlar	Zorluklar
Yakma	-Basit proses ve olgun teknolojidir. -Yüksek malzeme esnekliği sağlar. -Dezenfeksiyon aşamasına gerek yoktur. -Düşük yakıt gereksinimi vardır. (Covid-19 tıbbi atıklarının yüksek kalorifik değeri nedeniyle)	-Yüksek karbon emisyonuna sahiptir. -Zararlı veya aşındırıcı gazlar üretmektedir. -Sadece ısıyı geri kazanabilir.	-Baca gazı arıtma teknolojisi gerekmektedir. -CO₂ yakalama ve depolama teknolojisi gerekmektedir.
Piroliz	-Kimyasal hammadde üretme imkanı sağlar. -Koşula bağlı ürün esnekliği sağlar. -Düşük karbon emisyonuna sahiptir. - Ana bileşeni PE ve PP olan Covid-19 tıbbi atıkları için uygundur. -Dezenfeksiyon aşamasına gerek yoktur.	-Gelişen teknoloji nedeniyle daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. -PVC, PET ve kauçuk için uygun değildir.	-Teknolojinin olgunluğa ulaşması gerekmektedir.

Plastik atıkların pirolizi, daha az çevre kirliliğine sebep olması nedeniyle önem kazanmaktadır. Proseste oksijenli bileşiklerin veya oksijenin bulunmaması, daha yüksek sıcaklıklarda oluşan dioksinlerin oluşumuna direnç göstermektedir. Yakmada daha yüksek sıcaklıkta bulunan oksijen, oksijenli bileşikler oluşturmak için ürünle reaksiyona girer ve azotun varlığı, çevreye zararlı azotlu bileşiklerin salınmasına neden olmaktadır. İnert bir atmosfer ve düşük sıcaklık prosesi olan piroliz, dioksin oluşumuna izin vermez, ayrıca karbonmonoksit ve karbondioksit emisyonunu azaltarak karbon ayak izini azaltmaktadır. Mevcut araştırma çalışmalarının çoğu, pirolizde ana ürün olduğu için petrol analizine odaklanırken, ihmal edilemeyecek ve enerji şeklinde ürün geri kazanımında önemli bir role sahip olan, proses sırasında üretilen gaza çok daha az önem verilmektedir. Üst ısı değerinde elde edilen gazlar, güç üretimi veya giriş enerji kaynaklarını azaltmak için prosesin kendisinde kullanılabilmekte ve kendi kendine sürdürülebilir proses haline gelmesine yardımcı olmaktadır (Singh and Ruj 2016)

Piroliz biyokütlenin sıvılaştırılmasında ve enerji yoğunluğunun arttırılmasında etkilidir. Biyokütleden sadece yakılarak enerji üretilmemelidir. Hidrojen, etanol, metanol, metan, piroliz yağı gibi enerji formlarına dönüştürülerek de kullanılmasıyla ülke ekonomisine ve teknolojik gelişime katkıda bulunulacaktır (Üçgül ve Akgül 2010).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda yer almaktadır.

Bingöl Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi ve faaliyetleri yerinde incelenmiştir. Bu kapsamda tesisin ilgili yönetmeliklere uygun olarak işletildiği görülmüştür. Tesis kapasitesinin Bingöl ve Tunceli illerine ait tıbbi atıkların bertarafı için yeterli olduğu, Covid-19 pandemi etkisinin yoğun olarak yaşandığı 2020,2021 ve 2022 yıllarında sağlık kuruluşlarına ait pandemi atıklarının tesiste bertaraf edildiği tespit edilmiştir.

Tesis yetkilisinden alınan bilgi ve belgeler doğrultusunda tıbbi atık miktarları ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır.2018-2022 yılları arasında toplam tıbbi atık miktarının düzenli olarak artmadığı, inişler ve çıkışlar olduğu görülmüştür. Pandemi öncesinde 2018-2019 yılına ait tıbbi atık miktarındaki artış oranı yaklaşık %6 iken, 2019-2020 yılları arasındaki artışın %35 olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca pandemi tedbirleri kapsamında alınan önlemlerin 2022 yılında etkisini gösterdiği tıbbi atık miktarındaki düşüşten anlaşılmaktadır. Bu durum Covid-19 pandemisinin tıbbi atık miktarı üzerindeki etkisi olarak değerlendirilmiştir.

Bingöl ilinde en fazla tıbbi atık üreten sağlık kuruluşunun Bingöl Devlet Hastanesi olduğu, toplam tıbbi atık içindeki yüzdesinin 2018,2019,2020, 2021 ve 2022 yılında sırasıyla %51, %50, %62, %58 ve %40 olduğu hesaplanmıştır.

Bingöl ilinde vaka sayısının en yüksek olduğu hafta 8-14 Ocak 2022 olup 3993 kişi, tıbbi atık miktarının en fazla olduğu hafta ise 21-27 Ağustos 2021 tarihinde olup 7273 kg olarak hesaplanmıştır. Bingöl ili Covid-19 vaka sayısı ve toplanan tıbbi atık miktarının karşılaştırılmasında, vaka sayısı ve tıbbi atık miktarlarında aynı aylar içerisinde orantılı bir artış olduğu tespit edilmiştir.

Bingöl ilinde kişi başına oluşan tıbbi atık miktarı; 2018 yılında 0,57 (kg/kişi-yıl),2019 yılında 0,61(kg/kişi-yıl),2020 yılında 0,82 (kg/kişi-yıl), 2021 yılında 0,87 (kg/kişi-yıl) ve 2022 yılında 0,78 (kg/kişi-yıl) olarak hesaplanmıştır. 2019-2020 yıllarında kişi başına oluşan tıbbi atık miktarı %34,4'lük bir artış göstermektedir. Söz konusu bu artışın nedeni nüfusun artması ve Covid-19 pandemisinin ülkemizde görülmesi şeklinde değerlendirilmiştir. 2022 yılında ülkemizde ve Bingöl ilinde vaka sayılarının düşmesi ile alınan tedbirlerin gevşetilmesi nedeniyle kişi başına oluşan tıbbi atık miktarı 2021 yılına göre %10,3 azaldığı tespit edilmiştir.

2020, 2021 ve 2022 yıllarında Bingöl iline ait maske atık yükü sırasıyla 197,46 ton, 198,56 ton ve 197,83 ton olarak hesaplanmıştır. Aynı yıllarda Bingöl ilinde toplanan tıbbi atık miktarlarının ise 231,365 ton, 245,857 ton ve 219,366 ton olduğu tespit edilmiştir. Toplanan tıbbi atık kapsamında sağlık kuruluşlarında tedavi gören karantina hastalarının kullandığı KKD'ler ve tıbbi atık kapsamına giren tüm atıklar yer almaktadır. Bu sebeple maske atıklarının tamamının kontrol edilemediği öngörülebilmektedir. Tüm bu bilgiler, Bingöl ilinde doğaya atılan veya evsel atıklar ile düzenli depolama tesisinde toprak altına gömülen tonlarca maske olduğunu göstermektedir. Gelecekte yaşanabilecek benzer pandemi şartlarında maske atığı yükünün kontrol edilebilmesi ve getiri sağlanabilmesi için alternatif bertaraf ve enerji geri kazanım yöntemlerinin araştırılması gerekmektedir.

Literatür araştırmaları neticesinde maske atıklarının polipropilen, poliüretan, poliakrilonitril, polistiren, polikarbonat, polietilen ve polyester gibi polimerlerden üretildiği sonucuna varılmıştır. Termokimyasal yöntemler incelenerek, gazlaştırmanın yüksek enerji ihtiyacı ve oluşan katranın maliyeti arttırdığı, sıvılaştırmada reaktörler ve yakıt besleme sistemlerinin pirolizden daha karmaşık ve pahalı olduğu sonucu elde edilmiştir. Yakma sisteminde dioksinler ve furanlar gibi zehirli gazların salındığı, işletme maliyetinin neredeyse yarısının hava kirliliği kontrolü için kullanıldığı ve sadece ısıya geri kazanım olduğu tespit edilmiştir. Piroliz teknolojisinde oksijenli bileşiklerin veya oksijenin bulunmaması, daha yüksek sıcaklıklarda oluşan dioksinlerin oluşumuna direnç göstermektedir. Ayrıca piroliz karbonmonoksit ve karbondioksit emisyonunu azaltarak karbon ayak izini azaltmaktadır. Biyoyağ, kömür ve gaz gibi ürünler piroliz sonucu elde edilmektedir. Üst ısı değerinde elde edilen gazlar, güç üretimi veya giriş enerji kaynaklarını azaltmak için prosesin kendisinde kullanılabilen ve kendi kendine sürdürülebilir proses haline gelmesine yardımcı olmaktadır. Tüm bu nedenlerin termokimyasal yöntemler içinde pirolizi daha avantajlı hale getirdiği sonucuna varılmıştır.

Tıbbi atık kapsamında ele alınan ve geri dönüşüm ve/veya enerji geri kazanımı potansiyeline sahip olabilecek kullanılmış maske, eldiven, koruyucu gözlük, siperlik ve atık dezenfektan kutuları gibi atıklar, diğer tıbbi atıklardan kaynağında ayrılarak çeşitli çevresel ve ekonomik kazanımlar elde edilebilecek proseslerde değerlendirilebilir. Bahsi geçen bu atıkların ve özellikle de maskelerin Covid-19 pandemi sürecinde oldukça yüksek miktarlarda açığa çıktığı ve bu tip küresel salgınların büyük bir olasılıkla gelecekte de yaşanabileceği gerçeği, konunun önemini açıkça ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- Ak, Ö., 2020. Covid-19'un Başka Bir Sonucu: Plastik Salgını. TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, 27-35.
- Akbolat, M., Işık, Oğuz., Dede, C., Çimen, M., 2011. Sağlık çalışanlarının tıbbi atık bilgi düzeylerinin değerlendirilmesi. Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, (3), 131-140.
- Al-Salem, S. M., Antelava, A., Constantinou, A., Manos, G., Dutta, A., 2017. A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). Journal of environmental management, 197, 177-198.
- Alma, M.H., 2022. TÜBA Biyokütle Enerjisi Raporu. Türkiye Bilimler Akademisi. Anonim, 2021. Bingöl Genel Bilgiler. Bingöl Belediyesi, <https://bingol.bel.tr/tr/kente-bakis/ilceler/bingol> (10.04.2023).
- Anonim, 2023a. Covid-19 Bilgilendirme Platformu Covid-19 nedir?. T.C. Sağlık Bakanlığı, <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66300/covid-19-nedir-.html> (10.01.2023).
- Anonim, 2023b. Türkiye İl Haritası, http://cografyaharita.com/turkiye_mulki_idare_haritalari2.html (15.04.2023).
- Anonim, 2023c. Covid-19 Bilgilendirme Platformu Genel Koronavirüs Tablosu. T.C. Sağlık Bakanlığı, <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66935/genel-koronavirus-tablosu.html> (03.02.2023).
- Anonymous, 2001. Harvard Biosafety. New York Times Magazine, <https://web.archive.org/web/20120213165520/http://www.hms.harvard.edu/orsp/coms/biosafetyresources/history-of-biohazard-symbol.htm>, (11.02.2023).
- Anonymous, 2018. Health-care waste, <https://www.who.int/news-room/fact-4sheets/detail/health-care-waste> (03.01.2023).
- Anonymous, 2023. Medical Waste, <https://www.epa.gov/rcra/medical-waste> (01.06.2023).
- Aragaw, T. A., Mekonnen, B. A., 2021. Current plastics pollution threats due to COVID-19 and its possible mitigation techniques: a waste-to-energy conversion via Pyrolysis. Environmental Systems Research, 10, 1-11.
- Arık, F. Ş., 1991. Selçuklular Zamanında Anadolu'da Veba Salgınları. Tarih Araştırmaları Dergisi, 15(26), 27-57.
- Babu B.V., Churasia, A. S., 2002. Modeling Simulation and Optimization of Pyrolysis of Biomass. Department of Chemical Engineering, Birla Institute of Technology and Science, 2135–2158, India.
- Basu, P., 2010. Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory. Academic press, 1-353.
- Budak, M. S., 2017. Biyokütleden hızlı piroliz yöntemi ile biyoyakıt eldesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Ceylan, Z., 2021. Dünyada 2020'de Bir Dakikada 3 Milyon Maske Kullanıldı. Anadolu Ajansı. (Y. Kalyoncuoğlu, Röportaj Yapan)
- Çepelioğullar, Ö., 2011. Farklı biyokütle-plastik atık karışımlarının termogravimetrik analiz yöntemi ile birlikte pirolizi ve elde edilen ürünlerin karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Dharmaraj, S., Ashokkumar, V., Pandiyan, R., Munawaroh, H. S. H., Chew, K. W., Chen, W. H., and Ngamcharussrivichai, C., 2021a. Pyrolysis: An effective technique for degradation of COVID-19 medical wastes. *Chemosphere*, 275(130092), 1-20.
- Dharmaraj, S., Ashokkumar, V., Hariharan, S., Manibharathi, A., Show, P. L., Chong, C. T., and Ngamcharussrivichai, C., 2021b. The COVID-19 pandemic face mask waste: a blooming threat to the marine environment. *Chemosphere*, 272(129601),1-22.
- Emmanue, J.,2001. Non-Incineration Medical Waste Treatment Technologies. *Health Care Without Harm*.
- Eryılmaz, H., Demirarslan, K. O., 2020. 2012-2018 yılları tıbbi atıklarının nüfus ile ilişkilendirilmesi ve mevcut bertaraf yöntemlerinin incelenmesi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2020), 89-103.
- Hantoko, D., Li, X., Pariatamby, A., Yoshikawa, K., Horttanainen, M., Yan, M., 2021. Challenges and practices on waste management and disposal during COVID-19 pandemic. *Journal of Environmental Management*, 286(112140),1-9.
- Harussani, M. M., Sapuan, S. M., Rashid, U., Khalina, A., Ilyas, R. A., 2022. Pyrolysis of polypropylene plastic waste into carbonaceous char: Priority of plastic waste management amidst COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment*, 803(149911), 1-16.
- Ilyas, S., Srivastava, R. R., Kim, H., 2020. Disinfection technology and strategies for COVID-19 hospital and bio-medical waste management. *Science of the Total Environment*, 749 (141652),1-11.
- Jung, S., Lee, S., Dou, X., Kwon, E. E., 2021. Valorization of disposable COVID-19 mask through the thermo-chemical process. *Chemical Engineering Journal*, 405 (126658), 1-9.
- McKendry, P., 2002. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource technology*, 83(1), 47-54.
- Mittal, M., Mittal, D., Aggarwal, N. K., 2022. Plastic accumulation during COVID-19: call for another pandemic; bioplastic a step towards this challenge?. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15.
- Mohana, A. A., Islam, M. M., Rahman, M., Pramanik, S. K., Haque, N., Gao, L., Pramanik, B. K., 2022. Generation and consequence of nano/microplastics from medical waste and household plastic during the COVID-19 pandemic. *Chemosphere*, 311(137014),1-13.
- Nzediegwu, C., Chang, S. X., 2020. Improper solid waste management increases potential for COVID-19 spread in developing countries. *Resources, conservation, and recycling*, 161(104947),1-2.
- Pandit, P., Maity, S., Singha, K., Uzun, M., Shekh, M., Ahmed, S., 2021. Potential biodegradable face mask to counter environmental impact of Covid-19. *Cleaner Engineering and Technology*, 4 (100218), 1-11.
- Prüss, A., Giroult, E., Rushbrook, P., 1999. Safe management of wastes from health-care activities. *World Health Organization*.
- Purnomo, C. W., Kurniawan, W., Aziz, M., 2021. Technological Review on Thermochemical Conversion of COVID-19-Related Medical Wastes. *Resources, Conservation and Recycling*, 167(105429), 1-13.
- Ray, S. S., Lee, H. K., Huyen, D. T. T., Chen, S. S., Kwon, Y. N., 2022. Microplastics waste in environment: A perspective on recycling issues from PPE kits and face masks during the COVID-19 pandemic. *Environmental Technology & Innovation*, 26 (102290), 1-12.

- Resmi Gazete, 2015. Atıkların Karayolunda Taşınmasına İlişkin Tebliğ. Resmi Gazete Sayı: 29301, 20.03.2015, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- Resmi Gazete, 2017. Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği. Resmî Gazete Sayı: 29959, 25.01.2017, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- 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), 1-9.
- Selvaranjan, K., Navaratnam, S., Rajeev, P., Ravintherakumaran, N., 2021. Environmental challenges induced by extensive use of face masks during COVID-19: A review and potential solutions. Environmental Challenges, 3(100039), 1-11.
- Singh, R. K., Ruj, B., 2016. Time and temperature depended fuel gas generation from pyrolysis of real world municipal plastic waste. Fuel, 174, 164-171.
- Tutar, D.Y., 2004. Tıbbi atık yönetimi için yeni bir yaklaşım ve Ankara örneği. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- TÜİK, 2022. İl ve ilçelere göre il/ilçe merkezi, belde/köy nüfusu ve yıllık nüfus artış hızı, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>, (06.05.2023).
- Üçgül, İ., Akgül, G., 2010. Biyokütle teknolojisi. Yekarum, 1(1),3-11. Xu, W., Liu, J., Ding, Z., Fu, J., Evrendilek, F., Xie, W., He. Y., 2022. Dynamic pyrolytic reaction mechanisms, pathways, and products of medical masks and infusion tubes. Science of the Total Environment, 842 (156710), 1-17.
- Yaman, E., 2013. Termogravimetrik Analiz Yöntemi ile Ceviz Kabuklarının Plastik Atıklarla Isıl Bozunma Kinetiğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Yılmaz, M., 2019. Balıkesir ili evsel katı atıklarının bertarafında uygun termal yöntemin seçilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Sevilay SAVAŞ
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu: T.C.	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	
Lisans:	
Yüksek lisans:	
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	