

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DEKİ KATI ATIK DEPO SAHALARINDA MADDE VE
ALAN GERİ KAZANIM POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Fatma Zehra ŞÜKÜR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Bestami ÖZKAYA

Şubat, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'DEKİ KATI ATIK DEPO SAHALARINDA MADDE VE ALAN
GERİ KAZANIM POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Fatma Zehra ŞÜKÜR tarafından hazırlanan tez çalışması 13.03.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bestami ÖZKAYA

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Bestami ÖZKAYA, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet DEMİR, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bülent İNANÇ, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Bestami ÖZKAYA sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Türkiye'deki Katı Atık Depo Sahalarında Madde ve Alan Geri Kazanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardanaldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerineve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımınaksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Fatma Zehra ŞÜKÜR

Şubat, 2019

1994 yılı İstanbul Katı Atık Yönetiminin dönüm noktası ve katı atık sistemlerinin ülkemizde teknik standartlara uygun bir şekilde ilk olarak kurulduğu yılların başlangıcıdır. Bu anlamda ülkemizde ilk ve model çalışmaların yapılmasına vesile olan dönemin Genel Sekreter Yardımcısı Sn. Prof. Dr. Adem Baştürk'e, günümüze kadar birçok akademisyenin ülkemizde bu konuda ilk çalışmaları yapmasına imkan sağlayan ve tez danışmanımın hocası Sn. Prof. Dr. Ahmet Demir'e ve tez jürisi olarak tez savunmamda yer alan Sn. Prof. Dr. Bülent İNANÇ'a şükranlarımı sunarım. Bu doğrultuda, bu tez çalışmasında düzenli depolama sahalarının yeniden değerlendirilmesi konusunu ele alarak hem mesleğimi severek gerçekleştirdiğim kurumum İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB)'nin düzenli depolama sahalarının işletilmesi kapsamındaki faaliyetlerine hem de ülkemizde henüz yapılmamış olan depolama sahası madenciliği çalışmaları için bir temel oluşturulmasına katkı sağlamayı amaçladım. Bukonuyu seçerken kurumumun ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak bu ihtiyaçlara en yenilikçi yaklaşımı sunmaya ve bu yaklaşımın ülkemizde özellikle de atık yönetimi konusunda öncü çalışmalara imza atan İBB'nde uygulanabilirliğini göstermeye gayret ettim. Böylelikle depolama sahalarının yeniden kullanım potansiyelini ortaya koymaya çalıştım.

Bu konuyu seçmemde ve çalışmamda bana gösterdiği rehberlik, sonsuz sabır ve desteklerinden dolayı sayın hocam Prof. Dr. Bestami Özkaya'ya minnet ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca çalışmam için sağladıkları teknik veri ve bilgiler için Esmâ Ersöyleyen ve tüm çalışma arkadaşlarıma, yöneticilerime, yüksek lisans derslerime devam konusunda gösterdiği anlayış için yöneticim Türker Eroğlu Bey'e, en başında beni teşvik eden ve cesaretlendiren can arkadaşım Elif Aynur'a, hep bana inanan ablam Sevinç Gökşen'e ve dostlarım Gülsüm Ursavaş ve Elif Tekneci'ye teşekkürü borç bilirim.

Her zaman yanımda olan ve benden desteklerini esirgemeyen aileme ve nasibimi arttırana sonsuz şükranlarımla...

Fatma Zehra ŞÜKÜR

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	VII
KISALTMA LİSTESİ	VIII
ŞEKİL LİSTESİ.....	IX
TABLO LİSTESİ.....	XI
ÖZET	XII
ABSTRACT.....	XIV
1 Giriş.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	9
1.3 Hipotez.....	9
2 Türkiye’de Atıkların Düzenli Depolanması	10
2.1 Yasal Düzenlemeler	13
2.1.1. Ulusal Mevzuat.....	14
2.1.2. Uluslararası Mevzuat.....	17
2.2. Düzenli Depolama Sahaları	19
2.2.1. Yer Seçimi.....	19
2.2.2. Saha Yapımı	24
2.3 Türkiye’de Depolanan Atıkların Karakteri.....	49
3 Düzenli Depolama Sahalarının Yeniden Değerlendirilmesi.....	52
3.1 Depolama Sahası Madenciliği Prosesi.....	53
3.1.1 Depolama Sahası Karakterizasyonu	57
3.1.2 Depolama Sahasından Numune Alma	59
3.1.3 Analizler	61

3.2 Değerlendirme Potansiyeli.....	66
3.2.1 Materyal Geri Kazanımı.....	73
3.2.2 Enerji Kazanımı.....	73
3.2.3 Alan / Hacimsel Geri Kazanım	77
3.2.4 Çevresel Etki	78
4 Ekonomik Analiz ve Değerlendirme.....	81
4.1 Giderler	89
4.2 Gelirler.....	92
4.3 İstanbul'daki Mevcut Düzenli Depolama Sahaları.....	93
5 Sonuç ve Öneriler	99
Kaynakça.....	102

SİMGE LİSTESİ

K	Jeolojik geçirgenlik
MJ	Mega joule
B _t	t yılına kadar olan toplam fayda
C _t	t yıllık toplam maliyet
n	Yıl bazlı hesaplanmış proje süresi
i _s	Projeye devlet katkısı oranı
Σ	Toplam
\$	ABD doları

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
AT ₄	Nefes Alabilirlik
ATY	Atıktan Türetilmiş Yakıt
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
CBA	Fayda-Maliyet Analizi (Cost-Benefit Analysis)
CVM	Koşullu Değerleme Yöntemi (Contingent Valuation Method)
EHCIP	Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması Projesi
GB ₂₁	Gaz Oluşum Potansiyeli
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MCA	Çok Kriterli Analiz (Multi Criteria Analysis)
NBD	Net Bugünkü Değer
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TOK	Total Organik Karbon
TS	Toplam Katı Madde
UNEP	United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
VS	Uçucu madde
XRF	X Işını Floresans
YDA	Yaşam Döngüsü Analizi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Atık Yönetim Hiyerarşisi.....	11
Şekil 2.2 İBB Eyüpsultan/Odayeri Düzenli Depolama Sahası (2012).	25
Şekil 2.3 Düzenli Depolama Sahası Bileşenleri	25
Şekil 2.4 Sınıflarına Göre Düzenli Depolama Sahalarında Taban Teşkili ve Tabakalar.....	26
Şekil 2.5 İBB Odayeri Düzenli Dep. Sahası Saha Tesviyesi ve Hafriyat Çalışmaları (2012).....	27
Şekil 2.6 Zemin Sularının Drenajı Çalışmaları	27
Şekil 2.7 Kil Serimi Çalışmaları.....	28
Şekil 2.8 Kilitleme Kanalları.....	29
Şekil 2.9 Geomembran Serimi.....	29
Şekil 2.10 Geomembran Kontrolleri.....	30
Şekil 2.11 Geotekstil Serimi.....	31
Şekil 2.12 Drenaj Tabakasının Oluşturulması (Alan Drenajı)	31
Şekil 2.13 Sızıntı Suyu Borularının Sahaya Yerleştirilmesi	32
Şekil 2.14 Odayeri Çöp Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi.....	33
Şekil 2.15 Çöp Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi İş Akış Şeması.....	34
Şekil 2.16 Çöp Gazı Bacası	37
Şekil 2.17 Odayeri Çöp Gazından Elektrik Üretim Tesisi	38
Şekil 2.18 Gaz Motorları.....	38
Şekil 2.19 Kömürçüoda Düzenli Depolama Sahası İçin Çöp Gazı Oluşum Potansiyeli	39
Şekil 2.20 Döküm Platformunun ve Depolama Sahası Hücresinin Oluşturulması.....	40
Şekil 2.21 Sedde Yapımı	41
Şekil 2.22 Depolama Sahasında Çöplerin Sıkıştırılması	41
Şekil 2.23 Ara Örtünün Serilmesi	42
Şekil 2.24 Son Örtünün Serilmesi ve Sahanın Yeşillendirilmesi.....	43
Şekil 2.25 Vahşi Depolama Sahası.....	46
Şekil 2.26 Vahşi Depolama Sahalarının Rehabilitasyonunda Kullanılan Örtü Sistemleri	47
Şekil 2.27 Rehabilit Edilen Vahşi Depolama Sahası	48

Şekil 2.28 Rehabilite Edilmiş Hasdal Vahşi Depolama Sahası.....	48
Şekil 2.29 İBB İstanbul Geneli Kış Sezonu Atık Karakterizasyonu (2017).....	51
Şekil 2.30 İBB İstanbul Geneli Yaz Sezonu Atık Karakterizasyonu (2017).....	51
Şekil 3.1 Düzenli Depolama Madenciliği Prosesi.....	56
Şekil 3.2 Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası Karakterizasyonu.....	59
Şekil 3.3 Kömürcüoda Numune Alma Çalışmaları (2014).....	60
Şekil 3.4 Numune Nokta Sondajları	60
Şekil 3.5 Sahadan Alınan Atık Numunesi.....	61
Şekil 3.6 Bir Depolama Sahası Hücresinin Aerobik Ortama Dönüştürülmesi.....	68
Şekil 3.7 Düzenli Depolama Sahalarındaki Toprak Benzeri Materyallerin Yeniden Değerlendirilme Yolları	73
Şekil 3.8 Yenilenebilir Depolama Sahaları Konseptinin Şematik Gösterimi	76
Şekil 4.1 İstanbul'da Bulunan Atık Depolama Sahalarında Oluşan Çöp Gazının Yıllık Miktarları	95
Şekil 4.2 İstanbul'da Bulunan Atık Depolama Sahalarında Oluşan Çöp Gazında Üretilen Elektrik Enerjisinin Yıllık Miktarları.....	96

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Atık Bertaraf Metotlarının Karşılaştırılması	12
Tablo 2.2 Türkiye'deki Düzenli Depolama Sahalarının Sayısının ve Depolanan Atık Miktarının Yıllara Göre Değişimi	13
Tablo 2.3 Bir Depolama Sahası Yer Seçimi Araştırmasında Kullanılan Eleme Kriterleri.....	20
Tablo 2.4 Depolama Sahası Yeri İçin Araştırılan Saha İçin Azaltıcı Kriterler	20
Tablo 2.5 Depolama Sahası Yer Alternatifleri İçin Çevresel Kriterler.....	21
Tablo 2.6 Depolama Sahası Yer Alternatifleri İçin Planlama Kriterleri.....	22
Tablo 2.7 Değerlendirme Kriterleri Puan Tablosu	23
Tablo 2.8 Yer Alternatifleri İçin Belirlenen Puanların Değerlendirilmesi.....	23
Tablo 2.9 Sızıntı Suyu İzleme Sıklığı.....	44
Tablo 2.10 Depolama Sahası Meteoroloji Verileri İzleme Sıklığı.....	45
Tablo 2.11 Düzenli Depolama Tesislerinde Bertaraf Edilen/Geri Kazanılan Atık Miktarının Atık Türüne Göre Dağılımı (2010).....	50
Tablo 3.1 Depolama Sahalarına Ait Atık Bileşimi	58
Tablo 3.2 Seçilen Numunelerin Elementel Bileşimi (XRF)	63
Tablo 3.3 Depolama Sahalarından Alınan Atık Numunelerinin Biyolojik Stabilité Aralığı	65
Tablo 3.4 Almanya'da Evsel Atık Depolama Sahalarındaki Ham Madde Potansiyeli Aralıkları Ve Yıllık İhtiyacı Karşılama Oranı.....	71
Tablo 3.5 Farklı Yıllarda Depolanmış Atıkların İçerisindeki Plastik Atıkların Özellikleri	75
Tablo 3.6 Sağlanacak Enerji Tasarrufu ve Emisyon Azaltım Miktarı	80
Tablo 4.1 Depolama Madenciliğinin Fayda-Maliyet Analizinin Genel Çerçevesi	84
Tablo 4.2 Depolama Sahası Madenciliğinde Genel Gelir ve Gider Kalemleri	88
Tablo 4.3 Depolama Sahası Madenciliği Araştırma Projelerinde Alternatif Eleme Modeli.....	90
Tablo 4.4 İstanbul'daki Düzenli Depolama Sahalarında Depolanmış Atıkların Miktarları.....	96
Tablo 4.5 İstanbul'daki Depolama Sahaları İçin Ödenen Arazi Tahsis Bedelleri	97
Tablo 4.6 Depolama Sahası Madenciliği Çalışmalarının Avantajları ve Dezavantajları.....	98

Türkiye'deki Katı Atık Depo Sahalarında Madde ve Alan Geri Kazanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Fatma Zehra ŞÜKÜR

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Bestamin ÖZKAYA

Düzenli depolama sahaları düşük maliyeti ve kolay uygulanabilirliği ile atık bertarafında yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk uygulandığı 1953 yılından sonra 90'lı yıllarda gündeme gelen ve günümüze kadar birçok projenin uygulandığı "depolama sahası madenciliği" düzenli depolama sahalarının metal, cam, plastik, toprak geri kazanımı ve sahanın bizzat kendi arazisinin yeniden kullanımı amacıyla geleneksel madencilik yöntemlerini kullanarak kazılması prosesi olarak tanımlanmaktadır. Dünyadaki depolama sahalarında ve diğer atık depolarında bakırın, dünya genelinde bilinen cevherlerde kalan rezervlerin %30'undan fazlasına denk geldiği örneğinde olduğu gibi günümüzde atık depolama sahalarına potansiyel kaynak rezervleri olarak yaklaşılmaktadır.

Depolama sahalarına kaynakların çıkarıldığı bir rezerv olarak yaklaşıp ekonomik ve çevresel performansı bir sistem perspektifinden değerlendirilerek standart bir çerçeve belirlenmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım, ülkemizde atıkların tamamının düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmediği ve vahşi depolama sahalarının kullanıldığı yerlerin olduğu dikkate alındığında ülkemiz için oldukça yenidir.

Özellikle İstanbul gibi büyük metropoller için büyük sıkıntılara sebep olan depolama sahası için uygun yer bulunmasına yönelik oldukça etkin alternatif bir yöntem olarak gözükmektedir. Bu çalışmada öncelikle ülkemizde geçerli olan ulusal ve uluslararası yasal mevzuata değinilerek düzenli depolama sahasının oluşturulması detaylandırılmış ve İstanbul'da bulunan düzenli depolama sahaslarının yapılarına ilişkin teknik bilgiler sunulmuştur.

Düzenli depolama sahası madenciliğinin İstanbul'a uygulanabilirliğini değerlendirmek için öncelikle standart bir çerçevenin geliştirilerek depolama sahası madenciliğinde ihtiyaç duyulan teknolojik kaynakların ve koşulların açıklığa kavuşması ve ekonomik kazanımların ortaya çıkarılması gerekmektedir. Bu çalışma ile dünyada hâlihazırda uygulanmakta olan düzenli depolama sahası madenciliği, teknik ve ekonomik çerçevenin belirlenmesi amacıyla incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmada daha çok kazma ve ayırma işlemleri esnasında ortaya çıkan depolama sahası madenciliğinin çevresel etkilerini ortaya koyabilmek için düzenli depolama sahası madenciliği uygulamaları araştırılarak bütüncül bir bakış açısı oluşturulmaya çalışılmıştır.

Depolama sahası madenciliğinin yalnızca teknik ve çevresel özellikleri değil ekonomik boyutu da önem arz etmektedir. Depolama sahası madenciliği maliyetleri uygulanan her projenin kendi dinamikleri olduğundan oldukça geniş aralıkta farklılıklar göstermektedir. Depolama sahası madenciliği maliyetleri tahmini olarak işlenmiş malzemenin metrik tonu başına 10 ila 100 \$'a kadar değişebilmektedir. Bu çalışmada İstanbul'da uygulanması muhtemel bir depolama sahası madenciliği projesi için tespit edilmesi gereken ekonomik koşullar, fayda-maliyet analizi bileşenleri ortaya konularak konuya ışık tutması bakımından İstanbul'da bulunan düzenli depolama sahasına dair ekonomik değerlendirilmelere yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düzenli depolama sahası, düzenli depolama sahası madenciliği, geri kazanım, geri dönüşüm.

Evaluation of Landfill Mining Potential In Turkey

Fatma Zehra ŞÜKÜR

Environmental Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Bestami ÖZKAYA

Landfills are a common used method in waste disposal because of low cost and easy applicability. Landfill mining, which was first implemented 1953 and then in 90s implemented in many countries widely, is defined as “the process of excavation of old landfills by using traditional mining methods for recycling of metal, glass, plastic, soil and the land area or volume itself”. As in case, copper in the world's landfills and other waste deponies is equivalent to more than 30% of world copper ore reserves; it arises clearly that landfills are potential material and energy resource reserves.

Therefore a standard framework in a system perspective should be identified by evaluating economic and environmental performance of landfills as a reserve where resources are excavated from.

When we consider that all of wastes in our country are not disposed of in landfills and still open dump areas are used, this approach is quite new for our country and seems to be a very effective alternative method for finding suitable places for storage areas, which is a great challange especially for metropolitan cities such as Istanbul.

In this study, first of all, building a landfill site has been explained and then technical information on structure of landfills in Istanbul has been presented.

In order to assess the applicability of landfill mining to Istanbul, a standard framework should be developed and essential technological resources and conditions in landfill mining should be clarified and economic aspects should be revealed. In this study, previously applied landfill mining projects have been examined and evaluated in order to determine technical and economic framework. On the purpose of presenting environmental impacts of landfill mining, which are mostly effective during excavation and sorting operations, it has been tried to create a holistic perspective by investigating landfill mining applications which are evaluated by using evaluation methods such as life cycle analysis.

In landfill mining operations, not only technical and environmental characteristics but also economics are important. The cost of landfill mining varies considerably depending on implemented project dynamics. A typical cost of landfill mining can be estimated to range from \$ 10 to \$ 100 per metric ton of processed material. In this study, economic data on landfill sites in Istanbul were shared to aim sorting out economic conditions, cost-benefit analysis components which should be determined more detailed for a landfill mining project in Istanbul.

Keywords: Landfill, landfill mining, recovery, recycling.

1.1 Literatür Özeti

Çalışmada kullanılan kaynakların büyük çoğunluğunu akademik makaleler oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra konuyla ilgili yasal mevzuat ile bazı ulusal ve uluslararası dökümanlara atıfta bulunulmuştur. Depotech gibi uluslararası düzenlenen depolama sahalarına yönelik koferanslarda sunulan bildirilerden yararlanılmıştır.

Depolama sahası madenciliği üzerine yapılan araştırmaların hemen hemen tamamında sonuçların sahaya özel olduğuna vurgu yapılmış değişkenlerin ve parametrelerin her depolama sahası için son derece farklı ve çeşitli olduğu belirtilmiştir.

Hollanda'da yapılan bir araştırmada Hollanda'da 20 yıldan beri süregelen atıkların depolanmasının azaltılması çalışmaları analiz edilmiş ve düzenli depolama sahası madenciliğine götüren süreçlerin yasal düzenlemeler ile bağlantısı ortaya konmuştur. Çalışmaya göre modern atık mevzuatı kaynak verimliliğini ve atıkların depolanarak bertarafına azaltmayı amaçlamakta bu bağlamda düzenli depolama yönetmeliği, düzenli depolama vergisi ve düzenli depolamada getirilen yasaklar atıkların düzenli depolanması sürecine önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Bu üç yasal düzenlemenin kombinasyonu ile atıkların depolama sahalarında bertarafının azaltımı ve bu sahaların çevreye olumsuz etkilerinin giderilmesi hedeflemektedir. Çalışmada depolama sahası işleten firmalar arasında bertaraf edilecek kalan atıklar için önemli bir rekabet alanı oluşturduğu belirtilerek bu rekabetin 2013'te Hollanda atık depolama sektörü yıllık 58 milyon Euro depolama maliyetlerinden yıllık 40 milyon Euro gelir elde ederek karşılayabilmiş ve yıllık 18 milyon Euro zarar etmesi ile sonuçlandığı ifade edilmiştir.

Hali hazırda Hollanda'da yılda 1,5-2 milyon ton atık depolanmaktadır. Bu miktar yılda toplam 60 milyon ton olan toplam atık miktarının sadece%2 ila 3'üdür. Hollanda'da bulunan depolama sahalarını işleten firmalar yapılan sıkı yasal kısıtlamalar nedeniyle kapatma ve bakım sonrası finansal yükümlülüklerini yerine getirmekte zorlanmaktadır. Henüz ortaya çıkmasa da ilerleyen zamanlarda "kirleten öder" prensibine zıt olarak depolama sahasının kapatma sonrası bu maliyetleri ilave olarak topluma yansıtılacak, vatandaşa mali yük getirecektir. Mevcut 22 depolama sahası kapatıldığında kapatma sonrası bakım ve kontrol maliyeti olarak vatandaşa 0,5 milyar Euro'luk bir ekonomik yük oluşabilecektir.

Bertaraf için atık ihracatını yasaklayan AB düzenlemeleri ile depolama sahaları için alınan vergi oranlarında ülkeler arasında ciddi farklılıklar, atıkların sınır ötesi nakliyesine ve kendi kendine yeterlilik ve yakınlık ilkelerine uyulmamasına neden olmaktadır. Atıkları düzenli depolama sahalarında bertaraf eden bir toplumdan atıkların geri dönüştürüldüğü bir topluma dönüşüm sırasında ülkelerin ihtiyaç duydukları gerekli kapasiteyi dikkatli bir şekilde planlamasını ve atık depolama sektörünün yeniden düzenlenmesini gerektirmektedir. Bu durum düzenli depolama sahası madenciliğini bir alternatif olarak ortaya koymaktadır. Ayrıca belli bir noktaya gelindiğinde atıkları düzenli depolama sahalarında bertaraf etmek artık ekonomik olarak da geçerliliğini kaybetmektedir. Kamu kuruluşlarının veya devletin, atık yönetiminde ve bu sahaların bakım ve işletilmesinde bir "güvenlik ağı" nın sürdürülmesinden sorumlu olması da alternatif arayışlarını hızlandırmaktadır [27].

Avrupa'da depolama sahası madenciliğine yönlendiren bu etkenler yapılan saha çalışmalarını önceden planlayarak özellikle ekonomik açıdan uygulanabilir olup olmadığının incelenmesine sebep olmaktadır. Araştırmalarda depolama sahaları depolama sahası madenciliği yönünden ele alınırken farklı alternatiflerin ekonomik açıdan kıyaslanması yer almaktadır. İsveç'te yürütülen bir çalışmada bir depolama sahasına varsayımsal olarak iki rehabilitasyon senaryosu tasarlanmış birinci senaryo yalnızca sahanın iyileştirilmesini kapsarken, ikinci senaryodaki reahabilitasyon projesine materyal geri kazanımını da eklenmiştir.

İkinci senaryo A ve B durumu olarak iki gruba ayrılmış A durumunda, yeniden depolanan atıklar için atık depolama vergisinin ödenmesi gerekmekte ve depolama sahası işletmecisine ait kombine bir ısı ve enerji üretim tesisi olmadığından atıkların bertarafı için ayrıca atık imha bedeli ödenmesi varsayılmıştır. B durumunda ise, depolama sahası işletmecisi atık depolama vergisinden muaf olduğu ve atıktan enerji üretim tesisini kendi ilettiği dolayısıyla atıkların bertarafı için ayrıca bedel ödemediği varsayılmıştır. Araştırmanın sonuçları ilk senaryodaki iyileştirme projesinin maliyetinin 23 €/ton civarında olduğunu göstermektedir. A durumunda olduğu gibi senaryoya material geri kazanımı eklenmesi maliyetleri 36 €/ton'a çıkarırken, B durumu için sonuç 14 €/ton'dur. Bu sonuçlar depolama sahası madenciliği işlemlerinde atık depolama vergilerinin ve atık yakma tesisine erişimin önemini göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre depolama alanındaki materyal bileşimi, kullanılan ayırma teknolojisinin etkinliği ve satılabilir malzemenin fiyatları çalışmanın maliyetlerine etki eden diğer önemli faktörler olarak yer almaktadır.

Diğer Avrupa ülkelerinde olduğu gibi İsveç'te de düzenli depolama, son yıllarda atıktan enerji kazanımının ön planda olmasından dolayı ciddi bir düşüş göstermektedir. İsveç'te belediye katı atıklarının% 1'inden daha azı depolanarak bertaraf edilirken, yaklaşık% 50'si ısı ve enerji tesislerinde yakıt olarak kullanılmaktadır. İsveç'te 4.000'den fazla belediye depolama sahası bulunmaktadır. Bu sahaların çoğu eski saha olup uygun kirlilik önleme ve kontrol teknikleri olmadan yönetilmekte ve kapsamlı bir rehabilitasyona ihtiyaç duymaktadır. Mevcut depolama sahalarından yaklaşık 100 tanesi hali hazırda aktif olarak kullanılır durumdadır ve depolanarak bertaraf edilen atıklar; atık yakma tesislerinin külleri, beton ve yalıtım malzemesi gibi inert atıklardan oluşmaktadır.

Çalışmalarda, eski depolama sahalarının yenilere göre daha fazla metal içerdiğini göstermektedir. Yeni atık depolama sahalarının eskilere göre daha yüksek miktarda plastik ve yanabilen atık içermesi son zamanlarda depolanan atıklar için yürütülen depolama sahası madenciliğinde daha etkin bir ön işlem planlanması gerektiğini göstermektedir.

Çalışmalarda ortaya konan depolama sahası madenciliği maliyetlerini projeye dâhil edilen gelir getirici unsurların önemli oranda düşürdüğü görülmektedir. Örneğin İsveç'te yürütülen bu çalışmada bir saha rehabilitasyon projesi ile material geri kazanımının birleştirilmesi belirli koşullar altında proje maliyetini daha gerçekçi olarak azaltabileceği ve daha uygulanabilir hale getirebileceği ortaya çıkmıştır. Diğer taraftan depolama sahası madenciliği işlemleri sonucunda yeniden depolanması gereken atıklar için atık depolama vergisinin ödenmesi (projenin toplam maliyetinin yarısına kadar ulaşabilmektedir) gerekip gerekmediği, yanabilen atıkların tesislere taşınmasının ek maliyetler veya gelirler gerektirip getirmediği, depolama sahası sahibinin depolama sahası madenciliği sonucu ayrılan yanabilen atıkların bertarafı için ödeme yapmak zorunda olup olmadığı gibi faktörler depolama sahası madenciliği projelerinin maliyetlerinde önem arz etmektedir [7].

Depolama sahası madenciliği projelerinde önemli bir gelir kalemi olarak değerlendirilen atıkların yakılarak bertarafı birçok depolama sahası madenciliği çalışmaları için projeyi uygulanabilir kılan bir element olarak görülmektedir. Danimarka'da yapılan bir çalışmada düzenli depolama sahası madenciliği çalışmalarında çıkarılan atıkların termo kimyasal teknolojiler kullanılarak değerlendirilmesinin potansiyeli ele alınmıştır. Çalışmada atığın değerlendirilmesi için seçilecek proses ile tam olarak eşleşmesi gerektiği ve bazı termo kimyasal işlemlerde bu eşleşmenin hem materyal kazanımı hem de atıktan enerji kazanımına imkan sağladığı ortaya çıkmıştır. Enerji ve material kazanımı için Plazma gazlaştırma / vitrifikasyon yöntemi uygun bir yöntem olarak ortaya çıkmış olup Plazma gazifikasyonun belediye atığı veya ATY (depolama sahası madenciliğinden çıkan atıklar dahil) için teknik uygulanabilirliği, pilottan tam ölçeğe kadar olan tesislerde kanıtlanmıştır.

Çalışmada 2005 yılında, Danimarka'daki elektrik tüketiminin %4,8'i ve toplam evsel ısı tüketiminin %13,7'si atık yakma tesislerinden karşılandığı belirtilmektedir. Bu durum, düzenli depolama sahalarının, materyallerin ileride işlenerek çıkartılacağı geçici depolama yerleri olarak değerlendirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir.

Diğer bir ifadeyle depolama sahası madenciliği, depolama sahalarındaki depolanmış atıkların teknolojiye bağlı olarak, materyal geri kazanımı veya enerji kazanımı amacıyla değerlendirilmesine hizmet eden ve depolanmış atıkların içerisindeki belli türdeki atıkları girdi olarak kullanan yeni bir sektör olarak ortaya çıkmaktadır.

Depolama sahası madenciliği potansiyeli belirlenirken depolanan atıkların kalitatif ve kantitatif analizleri, material geri kazanımı veya enerji kazanımı prosesleri için hammadde olarak uygunlukları kıyaslanırken çevresel etkiler de göz önünde bulundurulmaktadır [2].

Depolama sahası madenciliği çalışmalarının çevresel etkilerini ortaya koymak projenin halk tarafından kabul edilebilirliğini kolaylaştırırken gerekli tedbir ve önlemlerin alınmasıyla sosyal etkiyi azaltmaktadır. Letonya'da yürütülen bir çalışmada düzenli depolama sahası madenciliği saha içi ve saha dışı madencilik şeklinde iki farklı senaryo için incelenmiş saha içi madencilik, depolanan atığın kazılmadan toprağın ve topraktaki suyun kirlenmesinin ortadan kaldırılması; saha dışı madencilik, atık malzemelerin daha fazla geri kazanımı ve geri dönüşümü için depolanmış atıkların kısmen veya tamamen kazılmasıyla geri kazanılması olarak tanımlanmıştır. Senaryoların toplam etkileri karşılaştırıldığında, 1. senaryo (depolama sahasında geri dönüşüm) sisteminin, çevre için 2. senaryodan (merkezi tesisteki atıkların sınıflandırılması) %28 daha az çevresel etki yarattığı sonucuna varılmıştır. Her iki senaryoda da, daha büyük etkiler özellikle kazı, pompalama ve nakliye işlemleri için yakıt başta olmak üzere kaynak tüketimi ile ilgili olduğu ortaya çıkmış; atıkların kazılarak çıkarılması işlemi başlı başına "Ekosistemler" ve "İnsan sağlığı" kategorilerindeki daha yüksek etkilerden sorumlu olduğu belirtilmiştir. Bu bakımdan düzenli depolama sahası madenciliği işlemlerinde atıkların kazılarak çıkarılması süreçlerinde ortaya çıkan emisyonların etkisi dikkate alınmalı; kazı işlemi (sondajdan ve araçlardan gelen titreşim ve gürültü, toprağa uygulanan mekanik hareketler, vb.) doğal süreçleri etkilendiğinden hali hazırda depolama sahasının üzerinde bulunan toprak dolguya ve örtü tabakasına (çim ve çalılar ile yeşillendirilen kısımlara) zarar vermemesi için gerekli tedbirler alınmalıdır.

Depolama sahası madenciliğinin “İklim değışikliği” kategorisine etkileri ise iki kaynakta oluşmaktadır: Makine ve araçların çalışması için motor yakıt kullanımı ve atık kazı ve delme işlemleri sırasında metan gazı salınımı.

Letonya’daki A. Deglava depolama sahası madenciliği projesi için saha içi mobil atık ayırma olarak tanımlanan yerinde atık ayırma işlemi, merkezi atık ayırma tesisinde atık ayırma ile karşılaştırıldığında daha az çevresel etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir [10].

Depolama sahası madenciliği projelerinde ekonomik ve çevresel etkiler ortaya konulurken oluşturulan modelin uygunluğu projenin en doğru şekilde ortaya konması bakımından önem arz etmektedir. Farklı modelleme sistemleri kullanılarak depolama sahası madenciliğine uyarlanabilmekte ve proje test edilebilmektedir.

Belçika’da yapılan bir araştırmada yanabilen atık fraksiyonunun termal bertaraf işlemleri (gaz-plazma teknolojisi ve yakma) ve belirli paydaşların faydaları (kamuya karşı özel bakış açısı) için farklı alternatifleri temsil eden dört senaryo incelenmiştir. Fosil Enerji ve Mineral Rezervleri ve Kaynakları İçin Birleşmiş Milletler ereve Sınıflama Sistemi (UNFC-2009) modeli kullanılmış modelin basamakları:

1. Boyut: Sosyo-ekonomik uygulanabilirlik;
2. Boyut: Sahanın proje durumu ve teknik fizibilite;
3. Boyut: Jeolojik yapı bilgisi.

şeklinde depolama sahası madenciliği prosesine uyarlanmıştır.

Net bugünkü değerler, dört senaryo için de negatif olarak bulunmuş olup bu da projenin varyasyonlarının hiçbirinin şu anda ekonomik olarak uygun olmadığını göstermiştir. Ekonomik performansın ana etkenleri, yanabilen atık fraksiyonunun termal bertarafı ve geri kazanılmış metallerin satışıyla ilgili parametrelerdir.

UNFC-2009'un depolama sahası madenciliğine uygulanabilirliği başarılı bir şekilde kanıtlanmış olsa da, UNFC-2009 kapsamında çeşitli antropojenik kaynak türlerini sınıflandırmak için genel olarak uygun kriterleri tanımlamak için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Depolama sahası madenciliği projelerinin maliyetlerini ve faydalarını değerlendirmedeki ana zorluklar, projenin sosyo ekonomik uygulanabilirliğini etkileyen faktörlerin değiştirilmesinin her bir alan için farklılık göstermesinden ve genellikle yüksek belirsizliklerle bağlantılı olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, elek altı ince fraksiyonun potansiyel işlem masrafları, büyük ölçüde kirlilik seviyesine ve dolayısıyla depolama sahasının kendi atık bileşimine bağlıdır.

UNFC-2009 çerçevesinin eksenlerine ve sınıflarına benzer şekilde, depolama sahası madenciliğine standart bir prosedür oluşturmak için, depolama sahası madenciliği projelerini ve diğer depolama sahalarını sınıflandırmak için sahaya spesifik, ölçülebilir kriterlerin ve göstergelerin tanımına odaklanılarak bir çerçeve oluşturulabilir. Bu model, farklı depolama sahası türleri ve atık kaynakları arasındaki sistematik karşılaştırmalara imkan sağlayacak nihai hedef, doğal olarak oluşan ve depolama sahalarını ham madde kaynağı olarak tanımlamak ve değerlendirmek için ortak bir platform oluşmuş olacaktır [43].

Depolama sahası madenciliği çalışmaları enerji ve materyal geri kazanımına odaklansa da Çin gibi ülkelerde depolama alanının geri kazanımı da ön plana çıkmaktadır. Depolama sahası madenciliği işlemleri ile biyo-gübreler, metaller ve camlar gibi geri dönüştürülebilir malzemelerin geri kazanımı ayrıca depolama alanlarının geri kazanılması için potansiyel oluşturmaktadır. Toprak benzeri materyaller, atık depolama sahası madenciliği projelerinin ekonomik uygulanabilirliğini değerlendirmek için kilit konulardan biridir. Daha önceki araştırmalara göre, toprak benzeri materyaller biyo bozunmuş atık, toprak, kum ve diğer ince fraksiyonlardan oluşmaktadır ve toplam depolanmış atıkların % 50-60'ını oluşturmaktadır. Yanabilen atık fraksiyonları ise % 20-30'dur. Diğer kısım ise metal, beton, taş ve cam gibi inorganik malzemeler olup yaklaşık olarak % 10 oranındadır.

Çin'de yapılan bir araştırmada Yingchun depolama sahası incelenmiştir. Saha, 1989 yılında inşa edilmiş ve 2004'te kapatılmıştır. Jingmen City'den gelen belediye katı atıklarının bertarafı için kullanılan saha 28 dönümlük bir alanı kaplamaktadır. Sahada kontrolsüz depolama gazı emisyonları olup günde yaklaşık 80 m³ sızıntı suyu oluşmaktadır. Tüm depolama sahasının kapanmasından sonra 50 cm yerel toprak ile son örtüsü serildiği tespit edilmiştir. Depolama sahası madenciliği ile çıkarılan atıklardan toprak benzeri materyaller bir dizi kırma eleme işlemi ile ayrılmış ve şu analizlerden geçirilmiştir:

- Depolanan atıkların bileşimi
- Toprak benzeri materyallerin fiziko kimyasal özellikleri
- Toprak benzeri materyallerde organik karbon ve besin maddeleri
- Toprak benzeri materyallerde ağır metaller
- Toprak benzeri materyallerde gübre etkileri

Asya'da normal bir süs bitkisi türü olan ve Çin'de bahçelere ve yeşil şeritlere yaygın şekilde uygulanan *Impatiens balsamina* L. bitkisi toprak benzeri materyallerin gübre etkilerini test etmek için deney bitkisi olarak seçilmiştir.

Toprak benzeri materyallerin, yerel doğal topraklara kıyasla daha yüksek bir organik madde ve besin düzeyine sahip olduğu ve doğal bitkilerin (*Impatiens balsamina* L.) büyümesini ve çiçeklenmesini önemli ölçüde destekleyebileceği sonucuna varılmıştır. Toprak benzeri materyallerin ağır metal içeriği Çin'deki yasal sınırların altında olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak mevcut ağır metal konsantrasyonlarının çevre risklerini ortaya çıkarmaya ve ağır metallerin birikmesi ve potansiyel metallerin birikmesinin sonuçlarını keşfetmeye yönelik araştırmaların devam etmesi gerekmektedir.

Düzenli depolama sahası madenciliği ile katı atık depolama alanlarından elde edilecek toprak benzeri materyaller, toprakta değişiklik yapan, organik-inorganik bileşik gübrelerin üretilmesi için substrat ve ham madde yetiştiren, değerli bir rezerv olarak biyo-kaynak şeklinde değerlendirilebilecektir [47].

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı son yıllarda yurt dışına birçok ülkede uygulanan ve düzenli depolama sahalarının geri dönüşüm malzemelerinin ve toprak benzeri materyallerin geri kazanımı ve sahanın bizzat kendisinin yeniden kullanımı amacıyla geleneksel madencilik yöntemlerini kullanarak kazılması olarak tanımlanan düzenli depolama sahası madenciliği çalışmalarının İstanbul'da bulunan düzenli depolama sahalarında uygulama potansiyelini ortaya koymaktır.

1.3 Hipotez

Düzenli depolama sahaları atık bertarafında ülkemizde yaygın olarak kullanılan bir bertaraf yöntemi olmasına rağmen uzun vadede metan gazı emisyonları ve şehirlerdeki yerleşim yerleri sıkıntısından dolayı önemli bir çevresel etki kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bu bakımdan farklı ülkelerde depolama sahalarında depolanmış atıklardan geri kazanılabilir malzemelerin çıkarılması için yürütülen depolama sahası madenciliği çalışmaları önemli bir çözüm olarak görünmektedir.

Ancak kaynağında ayrı toplama oranı yaklaşık %6 oranında olan ülkemizdeki depolama sahaları için depolama sahası maddenciliği potansiyeli kayda değer görünse de, düzenli depolama sahası madenciliğinin ekonomik ve çevresel performansının bir sistem perspektifinden değerlendirilmesine; bir çerçeve geliştirilmesine ve daha önce uygulanan projelerin ve ülkemizdeki sahalaraya yönelik teorik araştırmaların bir kombinasyonu içeren çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Türkiye’de Atıkların Düzenli Depolanması

Ülkemizde ilk katı atık düzenli depolama çalışmaları, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından gerçekleştirilmiş ve bu yıllarda yapılan çalışmalar ülkemiz için model çalışmalar olmuştur. Bunun yanında kompost tesisi, yakma tesisi, sterilizasyon tesisi gibi tesisler de model tesisler olarak ülkemize kazandırılmış ve bu konuda öncü çalışmalar yapılmıştır [1], [5], [22].

Literatürde ve mevzuatta¹ “üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan” ve “üreticisi tarafından atılmak istenen ya da atılması zorunlu olan; çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken herhangi madde veya materyal” şeklinde tarif edilen “atık”, çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmaktadır. Fiziki durumuna göre katı, sıvı ve gaz olarak ayrılan atıklar, oluştuğu kaynağa göre evsel, endüstriyel, zirai, tıbbi v.s. atıklar olmak üzere kısımlara ayrılır. Atıklar içerdikleri bileşenlerin çevre ve insan sağlığına etkisi bakımından ise tehlikeli ve tehlikesiz atık şeklinde ayrılmaktadır [1]. Atıkların hava, su ve toprak kirliliğine sebep olmadan, biyoçeşitliliğe zarar vermeden ve doğal kaynakların korunması amacını taşıyacak şekilde yönetilmesi için son yıllarda “entegre atık yönetimi” kavramı ön plana çıkmıştır. Entegre atık yönetiminde, atık yönetiminin tüm bileşenleri bir bütün olarak ele alınarak hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilirliğin sağlanması hedeflenmektedir. Bu bağlamda atıkların sürdürülebilir yönetimi için stratejiler belirlenmiş olup bu stratejiler öncelik sırasına göre Şekil 2.1’de gösterilmektedir.

¹ United Nations Environment Programme (UNEP-<http://www.unep.org/>); Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive); Atık Yönetimi Yönetmeliği (Tarih: 02.04.2015 Sayı:29314)



Şekil 2.1 Atık Yönetim Hiyerarşisi

Atıkların azaltılması ile genellikle atığın oluşmadan önlenmesi ya da oluşan atık miktarının azaltılması anlaşılmaktadır. Tasarım ve üretimde daha az hammadde kullanımı ve gereksiz tüketimin azaltılmasını kapsamaktadır. Çevreye zararlı maddelerin ambalajlarda kullanılmaması, yazışmalarda elektronik ortamın kullanılması gibi örnekler atık azaltımı için verilebilir [24].

Yeniden kullanım ise ürünlerin ya da atık olmayan bileşenlerin tasarlandığı şekilde aynı amaçla kullanılmasıdır. Ambalaj atıklarının depozito sistemleri gibi yöntemlerle sisteme geri dönmesi örnek olarak verilebilir. Böylelikle üretilen ambalajların daha uzun ömürlü ve tekrar kullanıma müsait olarak seçilmesi ile atıkların çevreye olası zararlarının önlenmesi sağlanmaktadır.

Geri dönüşüm, organik maddelerin tekrar işlenmesi dâhil atıkların işlenerek asıl kullanım amacı ya da diğer amaçlar doğrultusunda ürünlere, malzemelere ya da maddelere dönüştürüldüğü atığın doğrudan ya da dolaylı yollar ile üretim sistemine geri dönmesi şeklinde tanımlanmaktadır.

Geri kazanım ise atığın enerji şeklinde sisteme geri kazandırılmasıdır. Piyasada ya da bir tesiste kullanılan maddelerin yerine ikame edilmek üzere atıkların faydalı bir amaç için kullanıma hazır hale getirilmesidir. Enerji geri kazanımı atıktan oksijensiz çürütme ve termal yöntemlerle yakıt, ısı ve elektrik geri kazanımıdır.

Hiyerarşide son hedef olan atıkların nihai bertarafı ile genellikle atıkların düzenli depolanması kastedilmektedir [38].

Hiyerarşiden de anlaşıldığı üzere atık üretiminin ve atığın zararlılığının kaynağında önlenmesi ve azaltılması esastır. Atık üretiminin kaçınılmaz olduğu durumlarda tekrar kullanım, geri dönüşüm ve ikincil hammadde elde etme amaçlı diğer işlemler ile atığın geri kazanılması veya enerji kaynağı olarak kullanılması önceliklidir. Bu bakımdan depolanan atık miktarlarındaki düşüş ve atık azaltım oranları sürdürülebilir entegre atık yönetiminin başarı ve verimliliğinin önemli bir göstergesidir. Çevresel etkiler, enerji verimliliği, maliyet gibi bazı parametreler bu atık bertaraf yöntemlerinin tercih edilmesinde yaygın olarak değerlendirilmektedir. Entegre atık yönetiminde kullanılan atık bertaraf metotlarının karşılaştırılması Tablo 2.1’de verilmiştir [29].

Tablo 2.1 Atık Bertaraf Metotlarının Karşılaştırılması

Parametre	Düzenli Depolama	Termal Yöntemler	Biyolojik Yöntemler
Maliyet	Düşük	Yüksek	Orta
Hacimsel Azalma	Düşük	Yüksek	Yüksek
Çevresel Riskler	Yüksek	Orta	Düşük
İşletme Hassasiyeti	Kolay	Zor	Zor

Yüksel hacimsel azalma ve enerji kazanımı sağladığından termal yöntemler ön plana çıksa da uygulama kolaylığı ve düşük maliyetler nedeniyle nihai bertaraf yöntemi olarak düzeli depolama yöntemi daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Özellikle Avrupa Birliği’ne üyelik sürecinde başlatılan müzakereler ile hız verilen atık yönetimi konusundaki çalışmalarda AB direktifleri ile uyumlu şekilde hazırlanan ulusal atık mevzuatının uygulamalara şekil vermiş ve atık yönetiminde önemli gelişmeler sağlanmıştır.

“Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması (EHCIP) Projesi 2005 yılında geliştirilmiş; proje kapsamında Türkiye 3 ana ve 11 alt bölgeye ayrılarak mevcut atık yönetimi durumu incelenmiş ve yatırım ihtiyaçları tespit edilmiştir [23].

Bu çalışmanın neticesinde ise çalışmanın hal-i hazırda kullanılan açık çöp döküm sahalarının (düzensiz sahalar) rehabilitasyon ve kapatılması maliyetlerini kapsamamasına rağmen ıslah edilen belediye çöplüklerinin yanı sıra yeni düzenli depolama sahalarının oluşturulması hız kazanmış ve düzenli depolama sahalarının sayısı giderek artmıştır.

Türkiye'deki düzenli depolama sayılarının ve bu sahalarda bertaraf edilen toplam atık miktarının yüzde olarak değişimi Tablo 2.2'de yıllara göre verilmiştir. Ancak düzenli depolama sahalarının yapımında artış olsa da 2008 yılı itibariyle Türkiye genelinde 2000 küçük ölçekli ve 50 büyük ölçekli düzensiz depolama bulunmaktadır. Ayrıca 2016 yılı verilerine göre Türkiye'de toplanan evsel atığın %28,8'i açık çöp döküm sahalarında bertaraf edilmektedir [36].

Tablo 2.2 Türkiye'deki Düzenli Depolama Sahalarının Sayısının ve Depolanan Atık Miktarının Yıllara Göre Değişimi

Yıl [-]	Düzenli Depolama Sahası Sayısı [-]	Düzenli Depolanan Atık Miktarı [%]
1995	5	6,9
2006	22	37,3
2010	52	54,4
2014	113	63,6
2016	134	61,2

Düzenli ve düzensiz atık depolama sahaları çeşitli yasal düzenlemeler ile kontrol altına alınmakta böylelikle atıkların çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden bertaraf edilmesine hizmet etmektedir.

2.1 Yasal Düzenlemeler

Türkiye'de çevre konusundaki mevzuat 1983 yılında çıkarılan Çevre Kanunu ile şekillendirilmiş, katı atıklar konusundaki düzenlemelere ise 1991 yılında çıkarılan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği gibi yönetmelikler ile yön vermeye başlanmıştır. AB üyeliği sürecinde ise uyum stratejisi gereği entegre atık yönetimi kapsamında hedef ve stratejiler belirlenmiştir.

Yasal düzenlemeler AB sürecine uyumlu hale getirilmeye çalışılmış AB Entegre Çevre Uyum Stratejisi Projesi yürütülerek öngörülen hedef ve stratejilerin, müktesebat uyumunun ve yatırımların 2007-2014 dönemi için güncel gerçekleşme durumları değerlendirilmiştir. Projenin ikinci aşaması Avrupa Birliği Çevre Entegre Uyum Stratejisi'nin (UÇES) Güncellenmesi Projesi 2017 yılında tamamlanarak "2016-2023 Avrupa Birliği Çevre Entegre Uyum Stratejisi" hazırlanmıştır [31].

2.1.1. Ulusal Mevzuat

Genel olarak atıkların düzenli depolanması konusu bir yönetmelik ve üç genelge ile düzenlenmiş Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan bir kılavuz yayınlanarak sahaların işletilmesi çerçeveye alınmıştır².

- 2872 sayılı Çevre Kanunu [32]:

09.08.1983 tarihli ve 18132 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren 2872 sayılı Çevre Kanununun 11. Maddesinde "atıkların üretiminin ve zararlarının önlenmesi veya azaltılması ile atıkların geri kazanılması ve geri kazanılabilen atıkların kaynağında ayrı toplanması esas" alınmıştır. Kanunun bu maddesinde bu konudaki esasların ve atık yönetim planlarının hazırlanmasının Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yönetmelikler ile düzenlediği ancak geri kazanım imkânı olmayan atıkların yine yönetmeliklerle belirlenen uygun yöntemlerle bertaraf edilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Ayrıca atık bertaraf tesislerinin kurulması ve işletilmesi görevi belediyelere verilmiştir. Atık bertarafı için kurulacak bu tesislerin hizmetlerinden yararlanacaklar ise belirlenecek tarifelere göre bertaraf ücreti ödemek ile yükümlüdür (3. Madde: kirleten öder ilkesi). Atık hizmetlerinden yararlananlardan alınan bu ücretler atıkla ilgili hizmetler dışında kullanılamamaktadır.

²<http://www.mevzuat.gov.tr> ve <http://www.csb.gov.tr/gm/cygm/index.php>

Atık bertaraf tesislerinin kurulması görevi verilen belediyeler, diğer atık bertaraf yöntemlerine göre daha ekonomik ve uygulaması daha kolay yöntem olarak düzenli depolamayı tercih etmektedir. Bu nedenle nihai bertaraf metodu olarak düzenli depolama için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından “Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik” oluşturulmuştur.

- Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik [33]:

Bertaraf yöntemine ilişkin hazırlanan “Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik”, 27533 sayılı Resmi Gazete’de 26.03.2010 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin amacı atıklar düzenli depolama yöntemi ile bertaraf edilirken;

a) Oluşabilecek sızıntı sularının ve depo gazlarının toprak, hava, yeraltı suları ve yüzeysel sularının üzerindeki olumsuz etkilerinin asgari düzeye indirilerek çevre kirliliğinin önlenmesi,

b) Atıkların türüne göre uygun depo tabanı teknik tasarımlarının yapılması ve düzenli depolama tesislerinin inşa edilmesi,

c) Düzenli depolama tesislerine atık kabulü işlemleri, düzenli depolama tesislerinin işletilmesi, kapatılması ile kapatma sonrası kontrol ve bakım süreçlerinin ve mevcut düzenli depolama tesislerinin ıslahı, kapatılması ve kapatma sonrası bakım süreçlerinin düzenlenmesi,

d) İşletme, kapatma ve kapatma sonrası bakım süreçlerinde sera etkisi de dâhil olmak üzere çevre ve insan sağlığı açısından risk teşkil edebilecek olumsuzlukların önlenmesidir.

Böylelikle düzenli depolama tesislerine ilişkin teknik esaslar belirlenmiş atıkların düzenli depolama tesislerine kabulü ve atıkların düzenli depolanmasına ilişkin usul ve esaslar ile alınacak önlemler, yapılacak denetimler ve tabi olunacak sorumluluklar ortaya konmuştur. Ayrıca düzenli depolama sahalarına alınabilecek arıtma çamurlarının da niteliği belirtilerek bu atıkların sahalarda bertarafına onay verilmiştir.

Yönetmelikte depolanacak biyobozunur atıkların azaltılması için yıl bazlı hedefler öngörülmekte daha az atığın depolanması için sınırlamalar getirilmektedir. Yönetmeliğe göre; yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden itibaren 5 yıl içerisinde depolanacak olan biyobozunur atık miktarı, 2005 yılında üretilen toplam biyobozunur atık miktarının ağırlıkça %75'ine, 8 yıl içinde % 50'sine ve 15 yıl içinde ise %35'ine indirilmesi gerekmektedir.

Yönetmeliğin belirlediği sahanın kurulmasından işletilmesine, oluşan sızıntı sularının bertarafından oluşan gazın değerlendirilmesine, sahaların kapatılmasından kontrol ve izleme süreçlerine kadar tüm yönleriyle düzenleme altına alınan atık depolama sahaları için ayrıca üç genelge yayınlanmıştır.

- Genelgeler³

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe İlişkin Genelge (2010/16): Yayınlanan bu genelge ile yönetmeliğin belirlediği usullere açıklık getirilerek sınıflarına göre düzenli depolama tesislerine kabul edilecek ve edilmeyecek atıklara, düzenli depolama tesislerine atık kabul işlemlerine, düzenli depolama tesislerinin inşasına ve lisans başvurusuna dair uygulamaların belirtilen esaslara göre yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Düzenli Depolama Tesisleri Uygulama Projesi Hazırlanmasına İlişkin Genelge (2014/13): Bu genelge, düzenli depolama sahalarını işleten kurum, kuruluş ve belediyelerin bu sahaları verimli, çevreye hassas ve ekonomik bir şekilde kullanması amacıyla oluşturulmuştur. Genelge ile ülke genelindeki düzenli depolama tesisleri uygulama projelerinin hazırlanması konusunda birliktelik sağlanmasını öngörülmüş ve bunun için gerekli olan esasları belirtilmiştir.

Düzenli Depolama Tesisleri Denetim Talimatnamesi (2011/13): Yönetmelik gereği mevcut düzenli depolama sahalarını işleten kurum ve kuruluşların lisansa müracaat etmesi ve düzeltici faaliyetlerini kapsayan bir iyileştirme planı oluşturması zorunluluğu olduğu için bu kurumların öncelikle düzenli depolama sahalarının mevcut durumunu ortaya koymaları gerekecektir.

³<http://www.csb.gov.tr/gm/cygm/index.php>

Bu nedenle düzenli atık depolama sahalarının mevcut durumlarını tespit etmek ve bir veri tabanı oluşturmak üzere yapılması gereken iş ve işlemleri kurulacak komisyonları belirten bu genelge oluşturulmuştur.

- Kılavuzlar: Düzenli Depolama Tesisleri Saha Yönetimi ve İşletme Kılavuzu [29], Vahşi Depolama Alanlarının Islahı Kılavuzu [28]

Katı atıkların olumsuz çevresel etkilerini azaltmak için düzenli depolama alanlarının kurulmasının yanında çöplerin rastgele depolandığı eski çöp sahalarının da kapatılarak rehabilite edilmesi için oluşturulan “Vahşi Depolama Alanlarının Islahı Kılavuzu”nda eski çöp sahalarının kapatılmasının teknik esasları anlatılmaktadır.

Böylelikle vahşi çöplüklere sahip yerel yönetimlere bu alanlarda hava, su ve toprak kirliliğinin önüne geçilerek çevre ve insan sağlığının korunması için ve bu sahaların olumsuz etkilerinden, görüntü kirliliğinden, sıkışan gaz v.s. gibi olası tehlikelerine karşı tedbir almaları için destek olunmak hedeflenmiştir.

Düzenli Depolama Tesisleri Saha Yönetimi ve İşletme Kılavuzu’nda ise Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik çerçevesinde yürütülen düzenli depolama tesislerinin yer seçimi, teknik tasarımlarının yapılması, inşa edilmesi, işletilmesi, kapatılması ile kapatma sonrası kontrol ve bakım süreçleri gibi aşamalarda yaşanabilecek sorunların önüne geçilmesi için önlemler ve öneriler yer almaktadır. Mevcut düzenli depolama tesislerinin tekniğine uygun olarak kurulması ve verimli bir şekilde işletilmesinin sağlanması için çeşitli paydaşların katkılarıyla hazırlanan kılavuzda düzenli depolama sahaları ile ilgili deneyimler paylaşılmıştır.

2.1.2. Uluslararası Mevzuat⁴

Atıkların düzenli depolanması konusunda oluşturulan ulusal mevzuatı etkileyen en önemli uluslar arası düzenleme Avrupa Birliği Direktifidir. Avrupa Komisyonu’nun 1999/31/EC sayılı Düzenli Depolama Direktifi minimum seviyede tutulması gereken atık depolama konusundaki üye ülkelerin uyması gerektiği koşulları belirlemektedir.

⁴http://ec.europa.eu/environment/waste/landfill_index.htm

Direktife göre üç kategoriye ayrılan atık bertaraf sahalarına (tehlikeli atık bertaraf sahası, tehlikesiz atık bertaraf sahası ve inert atık bertaraf sahası) ön işlem den geçirilmeden atığın kabulü mümkün olmamaktadır. Bu üç türdeki sahaya ayrı ayrı kabul edilecek atık türleri direktifin ekinde verilen genel prensipler dikkate alınarak üye ülkelerce uyumlu hale getirilmektedir.

Direktife göre, atık sıvılar, yanabilen ve tutuşabilen materyaller, tıbbi atıklar, ömrünü tamamlamış araç lastikleri gibi atıklar her üç tipteki sahaya da kabul edilememektedir.

Atık depolama sahalarının işletme şartları, atık kabul kayıtları, depolanan atık miktarları, sahanın kapasitesi, saha hazırlama ve kapatma prosedürleri ile izleme ve kontrol şekilleri gibi bilgileri içeren bir etki değerlendirmesi çalışmasını zorunlu kılan direktif, üye ülkelere direktif şartlarını sağlamayan mevcut düzenli depolama sahalarının işletilmeye devam edilmesinin önüne geçilmesini zorunlu kılmaktadır.

Direktife göre depolanan biyobozunur atık miktarını hedefleri şu şekildedir: Atıklarının %80'ini depolayan üye ülkeler, 1995'de oluşan toplam biyobozunur atık miktarının 2006 yılına kadar ağırlıkça %75'ine, 2009 yılına kadar %50'ine ve 2016 yılına kadar ise %35'ine indirilmesi gerekmektedir. Avrupa Birliğinin geçmişteki bu hedeflerini ortalama olarak yaklaşmasının ardından Avrupa Birliği Komisyonu 2015 yılında yeni bir düzenlemeye giderek "Döngüsel Ekonomi Strateji Belgesini" yayınlamıştır. Döngüsel ekonomi paketinde belirlenen hedefler şu şekildedir: Birlik ülkeleri 2030 yılı itibarıyla genel olarak evsel atıkların %65'ini geri dönüştürecek, ambalaj atıklarının %75'ini geri dönüştürecek ve evsel atıkların en fazla %10'unu düzenli depolama sahalarında bertaraf edebilecektir.

Avrupa Birliği içerisinde kapatılan düzenli depolama sahalarının yeniden değerlendirilmesi ve kullanılması için ayrı bir düzenleme yapılmamıştır. Ancak konuyla ilgili yönetmelikler kullanılarak çalışmalar yürütülmektedir. Örneğin Avusturya'da konuyla ilgili kullanılan yönetmelikler şunlardır: Atık Yakma Yönetmeliği, Atık Yakma ve Toplama Yönergesi, Atık Yönetimi Kanunu, İyileştirme (remedasyon) Kanunu [37].

2.2. Düzenli Depolama Sahaları

Ekonomik avantajları ve işletme kolaylığı nedeniyle atıkların bertaraf edilmesinde yaygın olarak kullanılan düzenli depolama yönteminde amaç yeraltı ve yüzey sularının kalitesinin korunması, hava kalitesinin korunması, gaz toplama amaçlı sistemler ile enerji kazanma, depo sahasının etkili ve uzun süreli kullanımı, depolama sona erdiğinde sahanın değerlendirilmesidir.

Ülkemizde evsel atıkların yönetiminden sorumlu belediyeler (ya da birlikler) tarafından kurulan ve işletilen düzenli depolama tesislerinin yasal ve teknik yeterlilikleri ile işletme durumları Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından takip edilmektedir. Düzenli depolama tesisi kurmak isteyen belediyeler öncelikle kuracakları tesisin Yönetmeliğin [30] ve diğer hukuki ve teknik düzenlemeler ile talep edilen şartları sağlamak zorundadır. Yönetmeliğin ve Kılavuzun [29] belirlediği çerçevede oluşturulan düzenli depolama sahaları uygulamaları için uygun yerin seçimi uzun vadeli olan bu yatırımın önemli bir aşamasıdır.

2.2.1. Yer Seçimi

Teknik olarak mümkün olabilecek depolama sahası alanlarının çevreye muhtemel olumsuz etkileri bakımından değerlendirmek oldukça zordur. Buna rağmen depolama sahaları için belirlenen yerler değerlendirilebilir.

Yönetmeliğe [33] göre; düzenli depolama tesis sınırlarının yerleşim birimlerine uzaklığı I. sınıf düzenli depolama tesisleri için en az 1 km, II. sınıf ve III. sınıf düzenli depolama tesisleri için ise en az 250 m olmak zorundadır.

Düzenli depolama tesisinin yer seçiminde; düzenli depolama tesisinin hava ulaşım güvenliğini etkileyip etkilemediği, orman alanları, ağaçlandırma alanları, yaban hayatı ve bitki örtüsünün korunması gibi özel amaçlarla koruma altına alınmış alanlara uzaklığı dikkate alınmaktadır. Depolama sahası için uygun yer araştırılmasında kullanılan elemekriterleri Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Bir Depolama Sahası Yer Seçimi Araştırmasında Kullanılan Eleme Kriterleri⁵

Eleme Kriterleri	
1. Yerleşim birimleri içinde	Evet/hayır
2. Bir yerleşim birimi civarının 250m içerisinde	Evet/hayır
3. Su elde edilen alanların etki bölgesi içinde	Evet/hayır
4. a. Ekolojik, bilimsel veya tarihi değer alanlarının içinde b. Korunmuş bir alanın 150m mesafesinde	Evet/hayır
5. Askeri bir alanda	Evet/hayır
6. Sel bölgesinin içinde	Evet/hayır
7. Havaalanına 5 km mesafede	Evet/hayır
8. Mezarlıklara 100 m mesafede	Evet/hayır
9. Tapulu mülk arazisi içinde	Evet/hayır

Ayrıca bölgede bulunan yeraltı ve yüzeysel su kaynakları ve koruma havzalarının durumu, yeraltı su seviyesi ve yeraltı suyu akış yönleri, sahanın topografik, jeolojik, jeomorfolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik durumu, taşkın, heyelan, çığ, erozyon ve yüksek deprem riski, hâkim rüzgâr yönü ve yağış durumu, doğal veya kültürel miras durumu dikkate alınır. Sahada akaryakıt, gaz ve içme-kullanma suyu naklinde kullanılan boru hatları, yüksek gerilim hatları bulunmamalıdır. Bu bakımdan yer alternatifleri için oluşturulan azaltıcı kriterler Tablo 2.4'te belirtilmiştir.

Tablo 2.4 Depolama Sahası Yeri İçin Araştırılan Saha İçin Azaltıcı Kriterler

Yer Alternatifleri İçin Azaltıcı Kriterler	
1. Toplama bölgesinden uzaklık	Evet/hayır
2. Ulaşımın kötü olması	Evet/hayır
3. Alt yapı koşulları	Evet/hayır
4. Jeolojik kısıtlamalar	Evet/hayır
5. Hidrojeoloji ve toprak kısıtlamaları	Evet/hayır
6. Taban ve yüzey örtü malzemelerinin mevcudiyeti	Evet/hayır
7. Turistik bölge ve eğlence alanı içinde	Evet/hayır
8. Sanayi bölgesi içinde	Evet/hayır

⁵ İSTAÇ A.Ş. "Katı Atık Düzenli Depolama Sistemleri Eğitimi" Sunumu, 09-12 Mayıs 2005.

Farklı arazi kullanım bölgelerine uzaklık (tampon bölge), eğim hesabı ve uygunluk açısından yeniden sınıflandırma vb. pek çok konumsal analizler gerçekleştirildikten sonra araştırma neticesinde ortaya çıkan yer alternatifleri kıstaslara göre puanlanarak değerlendirme yapılabilmektedir.

Karar verme sürecinde hangi faktörlerin göz önüne alınacağını ve hangilerinin hariç tutulacağı; ya da bu faktörlerin verilecek kararı hangi düzeyde etkileyeceği etkin ve tarafsız bir şekilde belirlenerek puanlama tabloları oluşturulmakta ve kriterler için belirlenen puanlar her bir saha için toplanarak değerlendirilmektedir. Çevresel kriterler için oluşturulan Tablo 2.5'te görüldüğü üzere beş farklı depolama sahası yer alternatifi puanlanarak değerlendirilebilmektedir.

Tablo 2.5 Depolama Sahası Yer Alternatifleri İçin Çevresel Kriterler

Çevresel Kriterler	Yerler				
	A	B	C	D	E
Alt katmanların geçirgenliği					
Depo tabanı altında geçirgenliği olmayan katmanların mevcudiyeti					
Toprak konsolidasyon hassasiyeti					
Yer altı suyu hareketinin (hareketsiz) savunmasız objelere ilişkin pozisyonu					
Yer altı suyunun hızı					
Yer altı ve nehir suyu seviyeleri					
Yüzey suyu akış hızı					
Komşu alanlar için koku ve toz sorunu					
Meydana gelen trafik sorunu					
Komşu alanlar için riskler					
Komşu alanlar için diğer sorunlar					
Toplam puan (her bir yer için toplam)					
Ortalama sıralama skoru					

Çok sayıda faktör değerlendirilirken ve uygun karar alınırken çevresel ve sosyal unsur ve hassasiyetler göz önüne alınmakta; ekonomik, teknik ve çevresel açıdan en sürdürülebilir ve tüm taraflarca kabul edilebilir yer seçilmektedir.

Seçilen sahanın uzun vadede aktif olarak kullanılması, kapatıldıktan sonra bakım, işletim ve kapatılan sahanın yeniden değerlendirilmesi gibi konularda yapılacak planlama için oluşturulan kriterler ise Tablo 2.6'da gösterilmiştir.

Tablo 2.6 Depolama Sahası Yer Alternatifleri İçin Planlama Kriterleri

Planlama Kriterleri	Yerler				
	A	B	C	D	E
Yüzeyin brüt-net ilişkisi					
Altyapı kullanımına engel olma durumu					
İskan alanına uzaklık					
Endüstriler, turistik/eğlence alanlarına uzaklık					
Doğal koruma alanlarına uzaklık					
Ana yola olan uzaklık					
Oluşan atık lokasyonu ve konsantrasyonu arasındaki uzaklık					
Tarımsal alan olarak planlama					
Değerli bir nihai kullanım için imkanlar					
Toplam puan (her bir yer için toplam)					
Ortalama sıralama puanı					

Kılavuzda [29] belirtilen yedi yer seçim kriterinin alabilecekleri maksimum puanlar Tablo 2.7’de belirtilmiş olup bu puanların değerlendirilmesi Tablo 2.8’de görülmektedir.

Tablo 2.7 Değerlendirme Kriterleri Puan Tablosu

Değerlendirme Kriterleri	Maksimum Pozitif Puan
Hacmin alana oranı	7
Yapılara olan uzaklık	20
Rüzgâr istikameti	7
Dış görünüş (manzara)	7
Yandaki trafiğe tesiri	13
Bitmiş tesisten kazanç	13
Suya tesiri	33
TOPLAM	100

Değerlendirme puanlarına göre sıralanan yer alternatiflerinden depolama sahası olarak kullanılacak olan seçenek tespit edilirken yakınlarında bir düzenli depolama sahasının yapılmasına karşı çıkabilecek halk göz önünde bulundurulmalıdır. Olası tepkiler halkın paydaş olarak katılımı sağlanarak, atık yönetim sistemi ve düzenli depolama tesisleri, çevresel etkileri, alınacak önlemler hakkında bilgilendirilerek giderilebilir.

Tablo 2.8 Yer Alternatifleri İçin Belirlenen Puanların Değerlendirilmesi

Puanlar	Uygunluk
90-100	İdeal
80-89	Çok iyi
70-79	İyi
60-69	Uygun
50-59	Kabul edilebilir
0-49	Uygun değil

Düzenli depolama tesisinin yer seçimi ve tasarımı, toprağın, yüzeysel suların ve yeraltı sularının kirlenmesini önleyecek şekilde yapılmaktadır. Depolama sahasının kapatılması sonrası bu korumanın sağlanması için üst örtü tabakası serilerek sahanın bakımı ve izlenmesine devam edilmektedir.

Özellikle İstanbul gibi büyükşehirlerde depolama sahası için uygun yerlerin bulunması gün geçtikçe zorlaşmakta, sahanın kapatılması sonrası bakım ve izleme maliyetleri de artmaktadır. Bu bakımdan depolama sahası yer seçimi, özellikle sahanın yeniden değerlendirilmesi için büyük önem arz etmekte; planlama yapılırken uzun vadede hem maliyetler hem de çevresel etkiler bakımından alınacak kararları önemli ölçüde etkilemektedir.

2.2.2 Saha Yapımı

İçinde su olmayan eski maden, taş, kum, çakıl ve kil ocakları; kurak, susuz, çorak ve düşük değerli araziler gibi büyük ulaşım yollarının bağlantı yerleri arasında kalan düzenli depolama sahası yapılmaya uygun yerlerden 2.2.1 Yer Seçimi başlığında detaylarıyla anlatılan kriterlere göre belirlenen alanların düzenli depolama sahası olarak kullanılmak üzere hazırlanması gerekmektedir.

Depolama sahası madenciliği açısından hem düzenli depolama sahaları hem de rehabilite edilen vahşi depolama sahaları ile konunun doğrudan ilgisi olduğundan bu başlıkta her iki nokta da detaylandırılmaktadır.

- **Düzenli Depolama Sahalarının Yapımı**

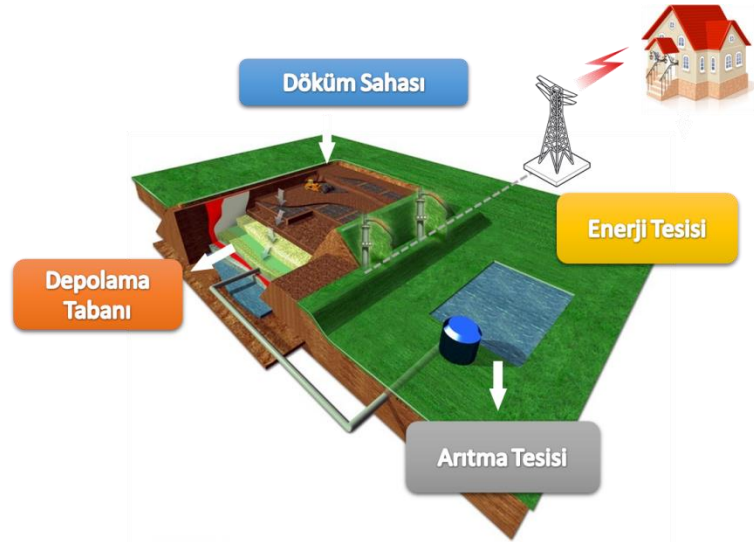
Düzenli depolama sahalarının neden olabileceği çevresel etkilerin azaltılabilmesi için saha tabanında oluşturulan geçirimsizlik tabakası sayesinde sahada oluşan çöp sızıntı sularının toplanarak yeraltı sularının ve yüzeysel suların kirlenmesi önlenmekte, sahada oluşan depo gazı kontrol altına alınarak depo gazının çevreye olumsuz etkileri azaltılmaktadır. Örneği Şekil 2.2'de görülen depolama sahalarını vahşi döküm sahalarından ayıran en önemli bu iki özellik aynı zamanda saha hazırlama ve işletme maliyetlerinin de büyük kısmını oluşturmaktadır.



Şekil 2.2 İBB Eyüpsultan/Odayeri Düzenli Depolama Sahası (2012)

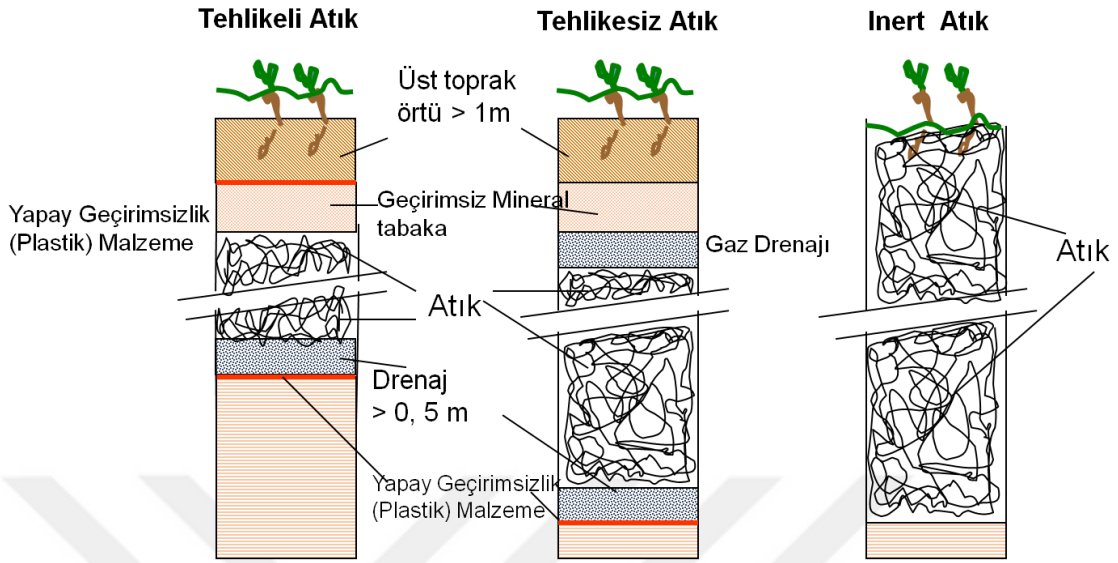
Düzenli depolama sahalarının yapımında yasal zorunluluk olan ve Şekil 2.3’de gösterilen beş önemli element bulunmaktadır [33]:

- o Taban geçirimsizliği
- o Sızıntı suyu yönetim sistemi
- o Depo Gazı Yönetimi (gaz toplama, değerlendirme ve yakma)
- o Üst örtü
- o İzleme sistemi



Şekil 2.3 Düzenli Depolama Sahası Bileşenleri

Yönetmeliğe göre sınıflarına göre düzenli depolama sahalarında Şekil 2.4'te gösterilen tabakalar oluşturulmaktadır.



Şekil 2.4 Sınıflarına Göre Düzenli Depolama Sahalarında Taban Teşkili ve Tabakalar

Tehlikeli atıkların bertaraf edildiği I. Sınıf Düzenli Depolama Sahalarında tabanın asgari sağlaması gereken jeolojik geçirgenlik $K < 10^{-9}$ m/s ve 5m taban kalınlığıdır. Evsel atıkların ve tehlikesiz atıkların depolandığı II. Sınıf Düzenli Depolama Sahalarında ise tabanın asgari $K < 10^{-9}$ m/s geçirimsizlik ve 1m kalınlık özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Taban geçirimsizliği asgari $K < 10^{-7}$ m/s ve taban kalınlığı 1m olması özelliğine sahip sahalar ise III. Sınıf Düzenli Depolama Sahaları olarak nitelendirilmekte ve bu sahalar inert atıklar bertaraf edilmektedir.

o Taban geçirimsizliği

Depolama sahalarında bertaraf edilecek atıklar döküme başlanmadan önce atığın depolanacağı ve bir nevi biyoreaktör görevi görecektir olan depolama hücresi hazırlanmaktadır. Hücrenin yapılacağı sahada bitkisel toprak varsa sıyrılarak son örtüde kullanılmak üzere uygun bir alanda geçici depolanmaktadır. Sahanın kotlarına göre depolama sahası tabanı; kil, membran serimine ve sızıntı suyu drenajına uygun hale getirmek için Şekil 2.5'te örneği görüldüğü üzere boyuna eğim en az %3 olacak şekilde tesviyesi yapılmaktadır.



Şekil 2.5 İBB Odayeri Düzenli Dep. Sahası Saha Tesviyesi ve Hafriyat Çalışmaları (2012)

Gevşek zeminler alınarak sağlam toprak ile kontrollü sıkıştırma yapılmakta böylelikle gevşek zeminler sağlamlaştırılmaktadır.

Sahada yeraltı suyu veya zemin suyu bulunması durumunda bu sular toplanarak dışarı verilmesi gerekmektedir. Zeminden saha tabanına su girişini önlemek için; zemin suları uygun eğimli drenaj kanalları yapılarak saha dışına drene edilmektedir.



Şekil 2.6 Zemin Sularının Drenajı Çalışmaları

Zemin drenaj çalışmaları Şekil 2.6'daki gibi yürütüldükten sonra sahanın geçirimsizliğinin sağlanmasının diğer adımı olan kil serimine geçilmektedir.



Şekil 2.7 Kil Serimi Çalışmaları

Kilden geçirimsizlik tabakası oluşturulurken; her biri 25 cm kalınlığında iki aşamalı sıkıştırılmalı toplamda en az 50 cm olacak şekilde serim yapılmaktadır. Ezici ve çığneyici olarak Şekil 2.7’de görülen kompaktör ve dozerler kullanılmakta; kilin toprak kısmı parçalanarak greyder yardımı ile tesviye edilmektedir. Kil sıkıştırma işlemi yapılırken uygun nem muhtevası için sulama yapılmakta ve taban zemini vibratörlü silindirler yardımı ile sıkıştırma yapılarak, olası oturmalar minimize edilmektedir. Sahada kullanılacak kil için Permeabilite (hidrolik iletkenlik) analizi, nem muhtevası, Atterberg limitleri (likit limit, plastik limit, plastisite indeksi), özgül ağırlık, partikül boyut dağılımı, maksimum kuru yoğunluk / optimum nem içeriği oranı, organik madde içeriği, sıkışma testi gibi analizler yapılmaktadır.

Kil seriminin tamamlanmasının ardından Şekil 2.8'deki gibi geomembran için kilitleme kanalları açılmaktadır.



Şekil 2.8 Kilitleme Kanalları

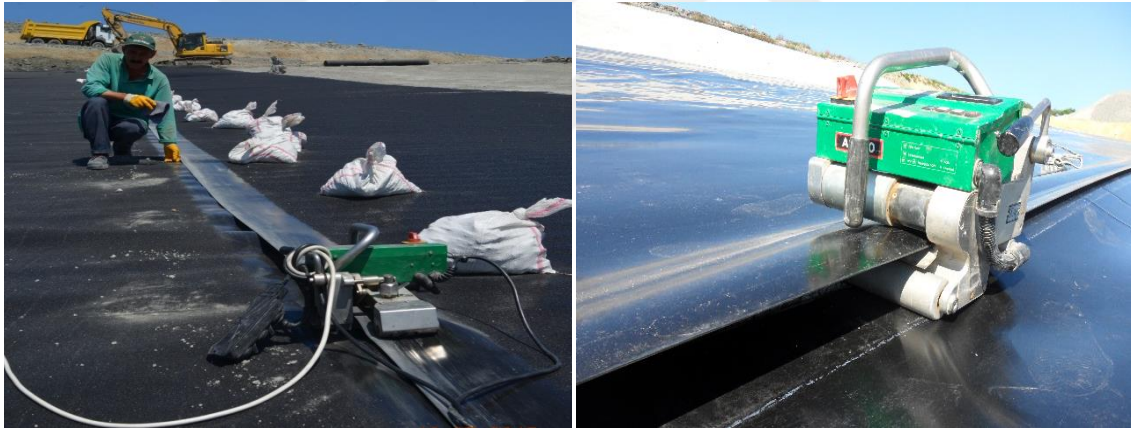
Geomembran kilitleme kanalları yapımı (ankraj hendekleri) geomembran serilmeden önce uygulama projelerinde planlandığı gibi hendek köşeleri hafifçe yuvarlatılarak, geomembranın hendekle birleştiği yerlerde keskin kıvrımlardan kaçınılarak oluşturulmaktadır. Ankraj hendeği, keskin kenarlı taş, çakıl gibi kesici ve delici malzeme içermeyen dolgu malzemesi ile sıkıştırılmaktadır. Daha sonra sahanın geçirimsizliğini sağlayan ikinci katman olan geomembran serimine geçilmektedir.



Şekil 2.9 Geomembran Serimi

Geomembran, kimyasal maddelere karşı yüksek direnç gösterdiği, çekme mukavemeti yüksek, geçirgenliği düşük, delinme ve çatlamalara karşı son derece dayanıklı olduğu için sızmalara karşı üstün bir koruma oluşturmaktadır. Geomembran, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) olup yaklaşık 2-10 mt genişliğinde rulolar halinde, 60-190 mt uzunluklarında üretilmektedir. Kalınlıkları 2 ile 8 mm arasında değişmektedir. Sahaya serimi Şekil 2.9'da görülen katı atık depolama alanlarında kullanılacak geomembran ve geotekstil için gerekli özellikler TS EN 13257, TS EN 13257/AC, TS EN 13257/ A1, TS EN 13493 standartlarında belirtilmektedir.

Geomembran sahaya serildikten sonra yüzeyi gözle kontrol edilerek imalat sırasında oluşabilecek yırtıklar ve delinmeler tespit edilmektedir. Yırtık ve delinmelerin tespiti halinde Şekil 2.10'daki gibi elektro füzyon kaynağı ile onarımı yapılmakta ve hava basıncı testi ile geomembran birleşme noktaları kontrol edilmektedir.



Şekil 2.10 Geomembran Kontrolleri

Sahada geçirimsizliğin son aşaması Şekil 2.11'deki geotekstillerin serilmesidir. Geotekstilller, uzama özelliği sayesinde yüksek bölgesel yüklere dayanıklı malzemelerdir. Gözenek yapıları suyun geçişine müsaade ederken silt veya kum gibi ince taneli malzemeleri tutulmasını sağlamaktadır. Geotekstillerin özel yapısı sayesinde geomembranın zarar görmesini engellemektedir. Geotekstil füzyon kaynağı ile geomembranlara yapıştırılarak çöpün dökülmeye başlamasıyla alt tabakada kayması engellenmektedir.



Şekil 2.11 Geotekstil Serimi

Sahanın geçirimsizliği sağlandıktan sonra sahada oluşacak olan çöp sızıntı sularının gerek toprağa gerekse yer altı ve yer üstü su kaynaklarına zarar vermemesi için gerekli önlemler alınmaktadır.

o Sızıntı suyu yönetim sistemi

Depolanan çöp içerisinde, yüzeeye çıkan metan gazıyla birlikte tabana çökelen sızıntı suyu oluşur. Sahada oluşan çöp sızıntı sularının toplanması için sahaya drenaj tabakası yapılarak drenaj boruları döşenmektedir.



Şekil 2.12 Drenaj Tabakasının Oluşturulması (Alan Drenajı)

Depolanan çöplerden sızan sızıntı suyunu borulara kadar ulaşmasını sağlayacak şekilde Şekil 2.12'deki gibi çakıl filtre tabakası serilmektedir. Sızıntı suyu dren borularının üzeri ve çevresinde oluşturulan bu alan drenajının boru sırtından itibaren yüksekliği minimum 50 cm olacak şekilde tasarlanmaktadır.



Şekil 2.13 Sızıntı Suyu Borularının Sahaya Yerleştirilmesi

Sızıntı suyu toplama boruları; boru et kalınlığı HDPE PN 10 ve üzeri, saha içerisinde kalan kısımlar 1/3 dolu kesit 2/3 delikli kesite sahip ve dış basınca dayanıklı olarak seçilmektedir. Dren boruları, münferit borular şeklinde, yatayda ve düşeyde kıvrım yapmadan doğrusal olarak depo sahası dışına kadar uzanacak şekilde döşenmektedir. Ayrıca tesisi çıkışında Şekil 2.13'te görüldüğü üzere sızıntı suyu kontrol bacaları oluşturulmaktadır.

Drenaj hatlarıyla toplanan sızıntı suyu yeraltı ve yerüstü doğal kaynaklarına zarar vermemesi için arıtma tesisinde işlemlere tabi tutulmaktadır.

Depolama sahasına düşen yağış sularının, buradaki katı atık kütlesi arasından süzülmesi esnasında çeşitli kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar gerçekleştiğinden çok farklı inorganik ve organik bileşikler atıktan sızıntı suyuna geçmektedir. Sızıntı suyunun çok sayıda bileşen içermesi ve bu bileşenlerin çok değişken olmasına rağmen sızıntı suyu izlenerek, bir depolama sahasındaki atığın yaşı ya da stabilizasyon durumu hakkında önemli bilgiler elde edilebilmektedir.

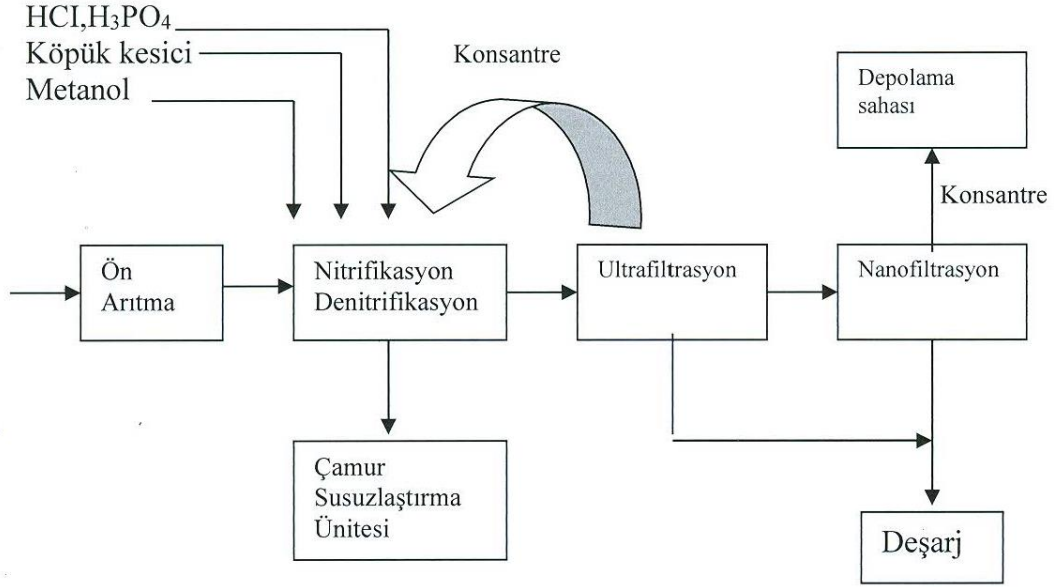
Düzenli depolama alanlarında oluşan sızıntı suları; atıkların sıkıştırılmasından, atıkların aerobik ve anaerobik parçalanmasından ve yüzeysel ve yeraltı sularının atıkların içerisinden süzülmesi sonucu açığa çıkmaktadır.

Sızıntı sularının içeriği depolanan atığın muhtevasına, depolama sahasının yaşına ve hidrolojik durumuna, depolama sahasındaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik aktivitelere, atığın nem miktarına, sıcaklığa, pH'a, Redox potansiyeline, şev stabilizasyonuna, depolama alanında depolanan atığın yüksekliğine ve iklim koşullarına bağlıdır. Sızıntı suyunda bulunan kirletici ana parametreler ise şunlardır: Total Organik Karbon (TOK); Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ); Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ); Uçucu Yağ Asitleri; Azot Grupları (NH₃-N, organik azot vb).



Şekil 2.14 Odayeri Çöp Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi

Çöp sızıntı sularındaki kirlilikleri gidermek için kurulan örnek bir tesis Şekil 2.14'te gösterilmektedir. Bu sızıntı suyu arıtma tesisi, sızıntı sularının toplama havuzunda biriktirilmesi, ön çöktürme işleminden sonra biyolojik arıtmaya alınması, biyolojik arıtma işleminden sonra da ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon membranlarından geçirilerek dereye ve kanala deşarj standartlarına uygun olarak tahliye edilmesini kapsamaktadır.



Şekil 2.15 Çöp Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi İş Akış Şeması

Sızıntı suyunun içerisindeki yoğunluğu sudan fazla olan parçacıkların çöktürülerek çamur havuzuna atılması, geri kalan sızıntı suyunun da biyolojik kısma gönderilmesi için oluşan sızıntı suları ön çöktürme havuzuna alınmaktadır. Ön çöktürme havuzunun içerisindeki mevcut sıyrıcı çalıştırılarak dibe çöken çamur, çamur havuzuna gönderilirken çamurdan arınmış sızıntı suyu biyolojik kısma verilmesi amacıyla pompalanır.

Ön çöktürme tankına gelen giriş sızıntı suyundan çıkan çamur ve aerobik tankta KOİ giderimiyle oluşan çamur bir havuza alınarak çamur susuzlaştırma ünitesine iletilmektedir. Çamur susuzlaştırma ünitesinde; polimer çözeltisi hazırlama ünitesi, yoğunlaştırıcı ünitesi ve dekantör ünitesi bulunmaktadır. Biyoreaktörde oluşan fazla çamur ile ön çöktürmeden alınan ham sızıntı suyu çamuru, çamur havuzunda karıştırılarak susuzlaştırma işlemine tabi tutulmaktadır. Çıkan kek şeklindeki çamur kamyonlarla taşınırken sızıntı suyu biyoreaktöre tekrar geri beslenmektedir.

Ön çöktürme havuzunda askıda katı maddesi (AKM) %30-50 arasında giderilen sızıntı suları Nitrifikasyon/Denitrifikasyon kısmına iletilmektedir. Bu kısımda sızıntı sularının biyolojik arıtılması amacıyla organik kirleticilerin mikroorganizmalar ve bakteriler tarafından oksitlenmesi gerçekleştirilmektedir.

Anoksik kısma gelen suyun öncelikle nitrifikasyona uğramış olması gerekli olduğundan aerobik havuz ile anoksik havuz arasında sürekli bir sirkülasyon olmaktadır. Bu sirkülasyon anoksik havuzun dibindeki sirkülasyon pompaları ile sağlanmaktadır. Anoksik havuzda, aerobik havuzdan gelen ve nitrifikasyon sonrası nitrit ve nitrate dönüşmüş olan amonyum, denitrifikasyon sonucunda azot gazına dönüşerek atmosfere karışmaktadır. Denitrifikasyonun gerçekleştirebilmesi için sıcaklığın optimum 20°C, pH'ın 7,5-8,5 ve havuzun oksijensiz şartlarda olması gerekmektedir. Anoksik havuzda NO₃⁻ giderimi > % 90, P_{top} giderimi > %90 ve BOİ giderimi > %90 olmaktadır.

Aerobik havuzda gerçekleşen nitrifikasyon işlemi ile sızıntı suyu içerisindeki azot bileşikleri nitrit ve nitrate dönüştürülmektedir. Nitrifikasyon bakterilerinin 13-15 °C sıcaklıktan düşük seviyelerde mikrobiyal aktiviteleri düştüğünden dolayı bu sıcaklığın korunması gerekmekte; pH'ın 7,5-8,5 arasında ve çözülmüş oksijenin de en az 1,5-2 mg/l seviyelerinde olması sağlanmaktadır. Böylelikle sızıntı suyunun içerdiği amonyum ve KOİ giderimi için uygun şartlar yeri getirilmektedir. Sızıntı suyu arıtma tesislerinin aerobik havuzunda oksijen kaynağı olarak yüzey aeratörler ve jet aeratörler kullanılmaktadır.

Biyolojik arıtmanın başında KOİ 15.000-25.000 mg/l civarındayken, biyolojik arıtma sonucunda KOİ değeri 1.200-1.300 mg/l (Amonyum ve organik azot giderimi: > %90 ve KOİ giderimi: > %90) mertebelerine inmektedir.

Biyolojik arıtmadan sonra sızıntı suları Şekil 2.15'te özetlenen iş akışında görüldüğü üzere partiküllerden arındırılmak amacıyla ultrafiltrasyon ünitesine alınır. Ultrafiltrasyon (UF) sisteminde polimerik ya da mineral membranlar kullanılmaktadır. İşletme basınçları 2-10 atm olan ve filtreleri 30 nm çapında gözeneklere sahip ultrafiltrasyon membranlarından çözülmüş bileşenler geçerken, yüksek moleküler ağırlıklı bileşenler tutulmaktadır. UF Membran ünitesi toplam 42 adet modülden oluşmakta ve burada 30 mikrondan büyük makro partiküller ve virüs giderimi % 100 gerçekleştirilmektedir.

Arıtılan sızıntı suyunun geçtiği son ünite nanofiltrasyon ünitesidir. Nanofiltrasyon (NF) ters ozmos membranlarının biraz daha gevşek halidir.

Bu yarı geçirgen membranlar poliamidler, sulfane sülfonlardan ve diğer ince filmli birleşiklerden üretilmektedir. Nanofiltrasyon sonrası çıkış suyu alıcı ortama deşarj edilebilecek seviyeye gelmektedir. Nanofiltrasyon membranları ile bakteriler, virüsler, pestisitler, organik maddeler, ağır metaller ve bazı tuzlar sudan uzaklaştırılmaktadır. Membranlara yaklaşık 8-17 bar'lık basınçla modüllerin en altından giriş yapan UF çıkış suyu filtre gözenekleri 10 nm çapına sahip nanofiltrelerden geçirilerek deşarj kriterlerinde su arıtılmaktadır.

Sızıntı suyu arıtma tesisi, depolama sahalarının işletilmesinde ve kapatılan sahaların bakım ve izlenmesinde önemli bir maliyet kalemi olarak yer tutmaktadır. Bu nedenle sızıntı suyunun arıtılmasına alternatif bir yöntem olarak sızıntı suyu, aktif depolama sahasının içine ya da üzerine geri devrettirilebilmektedir. Toplanan sızıntı suyu, atık sahası üzerine püskürtülerek veya enjeksiyon kuyularına verilerek geri devir işlemi gerçekleştirilmektedir. Böylelikle atık içinde bulunan organik maddelerin stabilizasyonu hızlandırılmakta; başlangıçta aerobik şartlar hüküm sürerse de genellikle anaerobik şartlarda arıtım yapılmaktadır. Sızıntı suyunun bu şekildeki geri devri, depolama sahasındaki atıkların anaerobik ayrışımı için gereken biyokimyasal çevrenin homojen hale gelmesini sağladığından önemli bir fayda sağlamakta; atıkların stabilizasyonu için gereken zaman %80-90 oranında düşürülebilmektedir. Ayrıca geri devirden sonra arıtımın, sızıntı suyunun doğrudan arıtılmasına göre %75'lere varan oranlarda maliyet azalması temin ettiği görülmektedir.

- Depo Gazı Yönetimi

Depolama yapılan sahada çöp içerisinde bulunan organik maddeler havasız ortamda çürümeye başlamakta ve metan gazı oluşmaktadır.



Şekil 2.16 Çöp Gazı Bacası

Depolama sahalarında oluşan ve metan gazı ağırlıklı olmak üzere karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak ve azot bileşikleri içeren çöp gazı, yatay ve düşey gaz toplama sistemi ile toplanmaktadır. Gaz bacalarının yapım amacı ileriye dönük enerji dönüşümü ve depolamadan kaynaklanan gazların kontrol altına alınması, yangın v.b risklerin minimize edilerek pasif kontrolünü sağlamaktır. Gaz bacası yapımında Şekil 2.16'da görüldüğü gibi 140 mm. HDPE delikli boru, çelik hasır(5-15 cm) ve çakıl malzemeleri kullanılmaktadır. Pasif Gaz Toplama bacaları 50-75 metre aralıklarla depolama alanına projeye uygun olarak döşenmektedir. Depolama sahasında oluşan çöp gazı aralıklarla kuyular açıp atık derinliğinde oluşan gazın dışarı alınmasıyla toplanıyorsa aktif toplama; depolama sahasının yüzey örtüsü altında uygun aralıklarla yatay toplama boruları döşenerek yüzeye doğru hareket eden gazı atmosfere kaçması engellenerek toplanıyorsa pasif toplama yapılmaktadır.

Toplanan çöp gazı ya elektrik veya ısı üretilerek ya da yakılarak bertaraf edilmektedir.



Şekil 2.17 İBB Odayeri Çöp Gazından Elektrik Üretim Tesisi

Elektrik enerjisi üretecek kapasitede gaz oluşmuyorsa ya da yatırım maliyeti yüksekse, toplanan gaz kontrollü amacıyla çöp gazı yakılarak (flare) bertaraf edilmektedir. Gaz motorları kullanılarak çöp gazından elektrik enerjisi veya buhar (ısı) üretilebilmektedir.



Şekil 2.18 Gaz Motorları

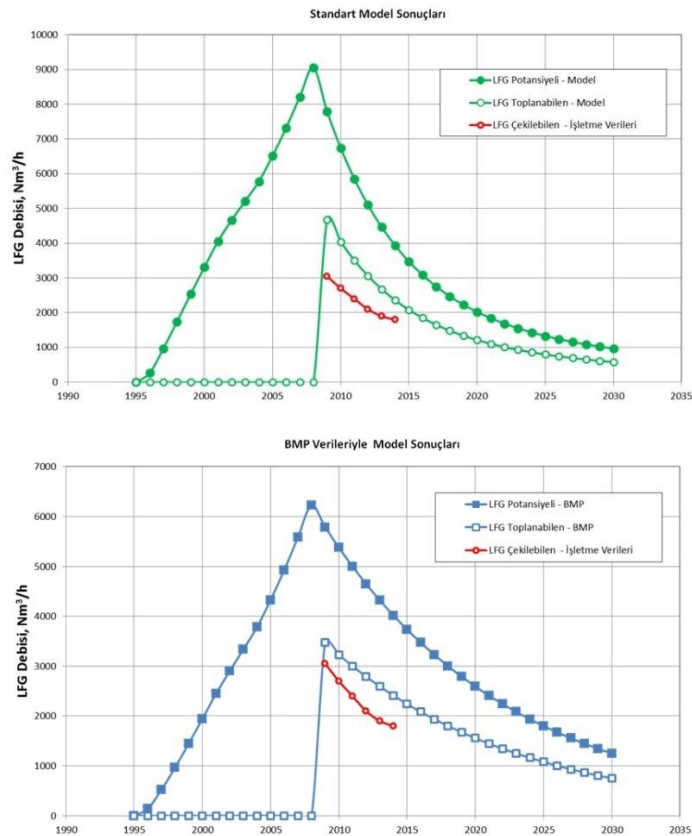
Toplanan çöp gazı, Şekil 2.17'de örneği görülen tesiste ön işlemler sonrasında, gaz motorlarında elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Ortalama 28 m derinliğinde açılan kuyulardan belirli bir vakum ile çekilen çöp gazı (LFG) ayrı ayrı hatlarla gaz kollektörüne (Manifold) iletilmektedir. Her bir manifoldda ortalama 8-12 adet kuyu bulunmaktadır.

Sahadan çekilen çöp gazı ilk önce “Isı Eşanjörü” ünitesinden geçirilerek belirli sıcaklığa kadar soğutulmakta ve nemini salması sağlanmaktadır, hemen ardından gelen “Demister” ünitesinde de oluşan yoğunlaşma suyu toplanarak uzaklaştırılmaktadır.

Arıtılmış çöp gazı Şekil 2.18’teki gibi motorlarda yakılarak önce mekanik enerjiye, ardından da elektrik enerjisine çevrilmektedir. Tesiste elde edilen enerji, tüketiciye sunulmak üzere ulusal elektrik şebekesine iletilmektedir.

Bertaraf edilen evsel atığın her bir tonu, depolama sahasının ömrü boyunca yaklaşık olarak 170 m³ çöp gazı oluşturmaktadır. Çöp gazının %60’ı atık depolandıktan sonra 10 sene içinde oluşmaktadır. Bu miktar 15-20 yıl içinde %90 seviyesine çıkmaktadır.

Evsel atık için toplama sistemli gaz üretiminin yıllık değişimi örnek olarak standart model bazlı ve BMP bazlı modellere göre Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.19 Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası İçin Çöp Gazı Oluşum Potansiyeli

○ Çöpün Sahaya Dökülmesi ve Üst örtü

Depolama sahasında atık taşıyan araçların dolgu yapılan depolama hücresine ulaşmalarının sağlanması için saha içi yolların oluşturulması ve atıkların hücrelere doldurulması eğimin yukarisından aşağıya doğru olduğundan araçların atık boşaltmaları için uygun şekilde Şekil 2.20'deki gibi döküm platformu yapılması gerekmektedir.

Depolama sahalarına atıklar, depolama sahası kantar girişinden giriş yapıp tartımı tamamlanan araçlar ile sahadaki trafik güvenlik ve yön tabelaları hazırlanmış bağlantı yolları kullanılarak döküm sahasına ulaşmaktadır. Gelen atık araçları saha üzerindeki kurulu platform üzerinden ilgili hücreye dökümü gerçekleştirmektedir.



Şekil 2.20 Döküm Platformunun ve Depolama Sahası Hücresinin Oluşturulması

Katı atık düzenli depolama sahalarında atıkların depolanacağı hücreler için Şekil 2.21'deki gibi ara ve son seddeler oluşturulmaktadır. Bu seddeler depo sahasında şev stabilitesini sağlamak, işletme yollarının inşasına yardımcı olmak ve nihai şevlerde uygun eğimi vermek vb. amaçlarla inşa edilmektedir.



Şekil 2.21 Sedde Yapımı

Kullanılan ara seddeler genelde geçici olup, sıkıştırılmış 30-100 cm'lik kil tabakalarından oluşmaktadır. Ara seddeler depolama sahasının işletilmesi esnasında sızıntı sularının saha dışına çıkmasını ve çevre sularının saha içerisine girmesini engellemek için; son seddeler ise düzenli depolama alanının sınırları boyunca nihai örtüye kadar yükseltilecek şev stabilitesini sağlamak için yapılmaktadır.



Şekil 2.22 Depolama Sahasında Çöplerin Sıkıştırılması

Dökümü yapılan atıkların, dozer ile alana serimi işlemi yapıldıktan sonra kompaktörün 3-5 sefer üzerinden geçmesi ile de çöpün sıkıştırılmaktadır. Atıkların Şekil 2.22'de görüldüğü şekilde sıkıştırılmasıyla depolanma sahasının ömrünün uzatılması amaçlanmaktadır.

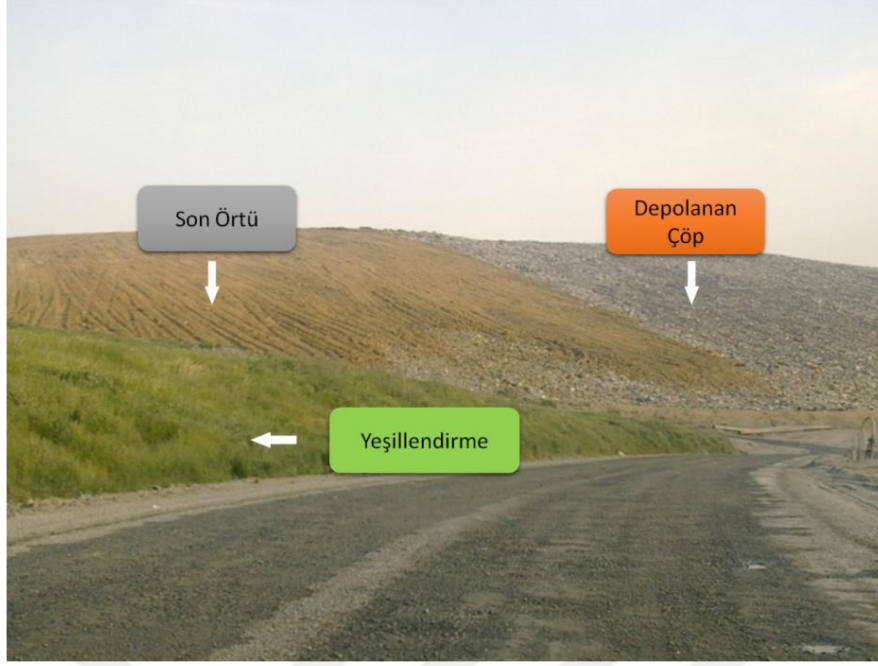


Şekil 2.23 Ara Örtünün Serilmesi

Rüzgârda uçabilecek atıkların çevreye yayılmasının önlenmesi, depolanan atıklardan oluşan kokunun kontrol altına alınarak azaltılması, etraftaki hayvanların hastalık taşımasının ve yaymasının engellenmesi amacıyla depolama sahasında gerçekleşen dökümün ardından ara örtü serimi uygulanmaktadır.

Kontrolsüz depo gazı sızmalarının Şekil 2.23'deki gibi serilen ara örtüler ile önüne geçilerek atık tabakalarının hava ile teması kesilmekte böylelikle anaerobik faaliyetlerin hızlanmasına ve atıkların kısa sürede stabilize olmasına katkı sağlanmaktadır.

Depolama sahasında dökümü gerçekleştirilen atığın yüksekliği işletme planında belirtilen maksimum yüksekliğe ulaştığında atığın üzerine 30 cm kadar son örtü serilmektedir.



Şekil 2.24 Son Örtünün Serilmesi ve Sahanın Yeşillendirilmesi

Atığın üzerine Şekil 2.24'deki gibi son örtü serildikten sonra depolama hücresinin kapatılması için mineral geçirimsizlik tabakası en az 25 cm kalınlığında iki tabaka halinde toplam 50 cm kalınlığında uygulanmaktadır. Bu tabakanın üst eğimleri %5 ile %15 arasında olacak şekilde yapılmaktadır ve en az $K > 1 \times 10^{-4}$ m/sn geçirgenliğe sahiptir. Tasarım tesviyesi gerçekleştiğinde geçirgenliği 1×10^{-9} ya da daha az olan 25 cm kalınlığında bir kil tabakası serilmektedir. En üstte bulunan üst örtü toprağı ise daha sonradan bitkilerin yetiştirilmesini sağlayacak şekilde yetiştirilecek bitki türüne bağlı olarak en az 50 cm kalınlığında uygulanmaktadır.

İstanbul'da Odayeri Düzenli Depolama Sahasında 1995 yılında ilk katı atığın depolandığı Şekil 2.24'de görülen hücre, 14.000 m² yüz ölçümüne sahip olup ortalama 25 metrelik atık tabakası serilmiştir. Bu hücrede 350.000 m³ katı atık bertaraf edilerek kapatılmış ve peyzaj çalışmaları yapılarak son şeklini almıştır.

- İzleme sistemi

Yönetmelik gereği I. sınıf ve II. sınıf düzenli depolama tesislerinin bulunduğu alanlar, depo hizmet süresini doldurduktan sonra lisans koşullarında belirtilen süre boyunca (en az otuz yıl) izlenmekte ve denetlenmektedir.

Düzenli depolama sahasının tamamen ya da kısmen kapatılması; lisansta belirtilen koşullar gerçekleştiğinde veya işletmecinin talebi ve Bakanlığın onayıyla veya Bakanlığın gerekçeli kararıyla gerçekleştirilmektedir.

Bakanlık tarafından tesiste nihai saha denetiminin yapılması ve işletmeci tarafından sunulan bütün raporların değerlendirilmesi sonucu işletmeciye kapatma için onay verilmektedir. İzleme ise sızıntı suyu ve depo gazı yönetimi üzerinden gerçekleştirilmektedir.

Yüzey suların izlenmesi biri menbada diğeri mansapta olmak şartıyla ve akıntı yönünü de dikkate alarak en az iki ayrı noktada yapılmaktadır. Yüzeysel suların kalitesinin izlenmesine ilişkin numune alma, analiz sıklığı ve analizde bakılacak parametreler, konu ile ilgili mevzuat hükümlerine göre belirlenmekte ve uygulanmaktadır. İşletme aşamasında sızıntı suyu hacmi aylık olarak takip edilirken kapatma sonrası izleme aşamasında altı ayda bir takip edilmektedir (Tablo 2.9).

Tablo 2.9 Sızıntı Suyu İzleme Sıklığı

Parametre	İşletme Aşaması	Kapatma Sonrası Bakım Aşaması
Sızıntı Suyu Hacmi	Aylık	Her altı ayda bir
Sızıntı Suyunun Kompozisyonu	Üç ayda bir	
CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S, O ₂ ve H ₂ Emisyonları	Aylık	Her altı ayda bir

Sızıntı ve yağış sularından dolayı tesiste olabilecek olumsuzlukları engellemek amacıyla meteorolojik veriler izlenmektedir. Meteorolojik veriler sızıntı suyu oluşumuna ilişkin hesaplamalara katkı sağlamaktadır. Bağıl nem, yağış hacmi, rüzgar yönü, sıcaklık ve buharlaşma ölçülen meteorolojik veriler olup işletme esnasında günlük kapatma sonrası izleme esnasında ise aylık olarak gerçekleştirilmektedir (Tablo 2.10).

Tablo 2.10 Depolama Sahası Meteoroloji Verileri İzleme Sıklığı

Parametre	İşletme Aşaması	Kapatma Sonrası Bakım Aşaması
Yağış Hacmi (mm/gün, mm/ay)	Günlük	Aylık ortalama
Sıcaklık (En düşük, en yüksek ve yerel saatle 14:00'te °C)	Günlük	Aylık ortalama
Rüzgarın yönü ve hızı (m/s)	Günlük	-
Buharlaşma (mm/gün, mm/ay)	Günlük	Aylık ortalama
Bağıl nem	Günlük	-

Atıkların olumsuz çevresel etkilerini azaltmak için düzenli depolama alanlarının kurulmasının yanında çöplerin rastgele depolandığı eski çöp sahalarının da kapatılarak rehabilite edilmesi önemli bir adımdır. Bu nedenle Türkiye genelinde 2008 yılı itibariyle sayısı 2.000 küçük ölçekli ve 50 büyük ölçekli olan düzensiz depolama sahasından her geçen yıl daha fazla sayıda saha rehabilite edilmektedir.

- **Vahşi Depolama Sahalarının Rehabilitasyonu**

Hiçbir çevresel tedbir almadan atıkların rastgele döküldüğü vahşi depolama alanlarının insan ve çevreye olan zararlı etkilerini önlemek aynı zamanda bu etkileri minimum seviyeye indirmek için yapılan rehabilitasyon işlemi, vahşi depolama alanlarının tekniğine uygun şekilde kapatılarak uzun vadede kontrollerinin yapılmasını sağlamaktadır. Böylelikle vahşi depolama sahalarının oluşturduğu görüntü kirliliği, koku, yüzey suyu ve yeraltı suyu kirliliğinin yanı sıra atıkların çevreye dağılması, kirliliğin atıklardan beslenen canlılar tarafından yerleşim bölgelerine taşınması v.b. gibi etkiler giderilerek bu sahalar değerlendirilebilmektedir.

Vahşi depolama sahalarının rehabilitasyonu şu aşamalardan oluşmaktadır [28]

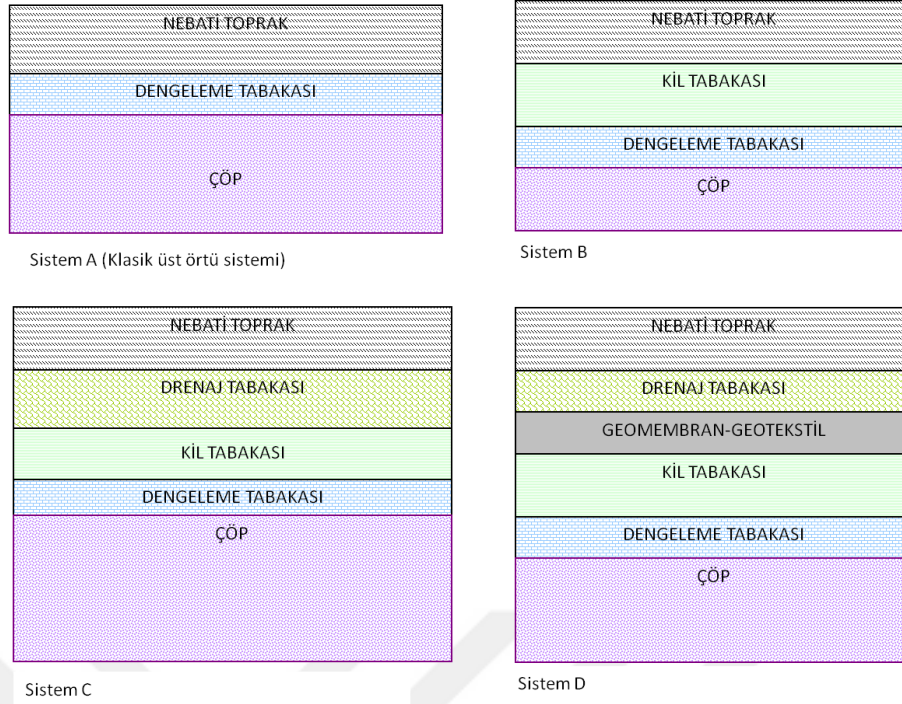
- Saha mevcut durumunun tespiti: Vahşi depolama alanlarının ıslahı çalışmasında öncelikli olarak mevcut durumun iyi analiz edilmesi, sahaya ait tüm bilgi ve verilerin toplanması ve değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Şev tanzimi planlarının hazırlanması
- Yüzey suyu, Sızıntı suyu ve Çevre sularının kontrolü
- Yer altı suyu kirliliği kontrolü
- Biyogaz yönetimi
- Saha çevresi ve giriş kontrolü
- Nihai kullanım ve izleme

Vahşi depolama sahaları düzenli depolama sahalarından farklı olarak yer seçimine özen gösterilmeyen, şehre çok yakın noktalara alelade dökümler yapılarak oluşan yerlerdir. Zemin etüdü, geçirimsizlik tabakası ve çevre izolasyonu yapılmadığından ve atıklar kontrolsüz olarak döküldüğünden Şekil 2.25'te örneği görülen sahalarda kesif kokular oluşmakta ve yüksek oranda yangın çıkma olasılığı bulunmaktadır.



Şekil 2.25 Vahşi Depolama Sahası

Rehabilitasyon çalışmalarında örtü serimi dört farklı şekilde yapılabilmektedir. Düzenli depolama sahaları tabanında teşkil edilen geçirimsiz tabaka gibi uygulanan, gaz ve suya karşı geçirimsiz özellik taşıyan, esnek malzeme veya malzemeler ile Şekil 2.26'daki tabakalar oluşturulmaktadır.



Şekil 2.26 Vahşi Depolama Sahalarının Rehabilitasyonunda Kullanılan Örtü Sistemleri

Vahşi depolama sahasına çevreden yüzeysel akışla gelen suların girişinin engellenmesi ve depo yüzeyinden gelen yağmur sularının tahliyesi için yol kenarlarında inşa edilen su drenaj hendekleri gibi çevre hendekleri oluşturulmaktadır. Bu hendekler ile toplanan sular sahanın bulunduğu havzalara göre yönlendirilmektedir (Şekil 2.27).

Sızıntı suları çıkış noktalarından toplanarak, uygun arıtmayla sonlanan bir kanalizasyon sistemine verilebilir ya da toplanan sızıntı suları uygun bir metotla arıtılabilmektedir. Bu durumda sızıntı suyunun miktarı ve ne kadar süreyle çıkacağına hesabı önem kazanmakta rehabilite edilen sahanın işletilmesi ve izlenmesi maliyetleri artmaktadır.



Şekil 2.27 Rehabilit Edilen Vahşi Depolama Sahası

Düzenli depolama sahalarında toplanan çöp gazında olduğu gibi vahşi depolama sahalarında oluşturulan gaz toplama bacalarından toplanan çöp gazından elektrik ve/veya ısı üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Çöp gazından elektrik ve/veya ısı üretilmemesi durumunda ise Yönetmelik gereği Flare ile yakılarak bertarafı sağlanmaktadır. Şekil 2.28’de görülen eski Hasdal vahşi depolama sahası gibi rehabilite edilen sahaların üzeri en son bitkisel toprak ile örtülmektedir. Eski sahanın üzerinde oluşan bu yeşil alanın başka amaçlı kullanımına imkân sağlayan bu üst örtü malzemesinin seçimi bitkilendirme işleminde bitki köklerinde su ihtiyacını uzun süre karşılaması bakımından önem arz etmektedir.



Şekil 2.28 Rehabilit Edilmiş Hasdal Vahşi Depolama Sahası

Gerek vahŖi depolama sahalarında gerekse dzenli depolama sahalarında bertaraf edilen atıkların turleri hem sahaların omru hem de sahaların bakım ve izleme maliyetleri bakımından onemli bir etkiye sahiptir.

2.3 Turlkiye'de Depolanan Atıkların Karakteri

Ulkemizde depolama sahalarında daha cok evsel atık bertaraf edilmektedir. TUIK 2016 yılı verilerine gore toplam kapasitesi 834 milyon m³ olan 134 dzenli depolama tesisinde 6 milyon tonu tehlikeli olmak uzere 44 milyon ton atık bertaraf edilmiŖtir [35]

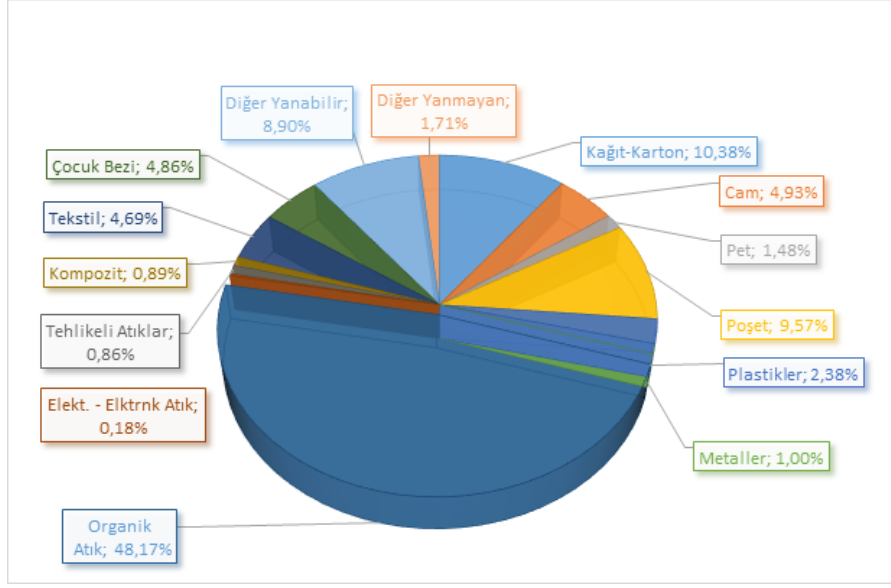
Depolanarak bertaraf edilen atıkların Tablo 2.11'de verilen 2010 yılı karakterizasyonunda goruldugu gibi demir gibi metal atıkların depolanma sahasında bulunmadigi gorulmekte ve hurda ekipman miktarının cok az oldugu (binde 0.03 kadar) anlaŖılmaktadır.

Tablo 2.11 Düzenli Depolama Tesislerinde Bertaraf Edilen/Geri Kazanılan Atık Miktarının Atık Türüne Göre Dağılımı (2010)

Atık Tipi	Düzenli Depolanan Atıklar	
	Tehlikeli [ton]	Tehlikesiz [ton]
Kimyasal Atıklar	40	624
Endüstriyel Atıksu Arıtım Çamurları	181	52 992
Atık İşleme ve Bertarafından Kaynaklanan Çamurlar ve Sızıntı Suları	586	724
Tıbbi Atıklar	32 471	13 883
Demir Esaslı Atıklar ve Hurdaları	-	-
Demir Dışı Metal Atıklar ve Hurdaları	-	-
Karışık Metal Atıklar	-	-
Cam Atıklar	-	145
Kağıt ve Karton Atıklar	-	75
Plastik Atıklar	-	1 661
Tekstil ve Deri Atıkları	-	3 466
Diğer Hurda Ekipmanlar	-	432
Pil ve Akü Atıkları	173	-
Gıda hazırlama ve Ürünlerinin Hayvansal ve Karışık Atıkları	-	569
Gıda hazırlama ve Ürünlerinin Bitkisel Atıkları ve Park Bahçe Atıkları	-	1 825
Evsel ve Benzeri Atıklar	-	13 774 249
Karışık ve Ayrıştırılmayan Atıklar	2 672	136 895
Atıkların Ayrıştırılmasından Kaynaklanan Artıklar	-	37 112
Evsel Nitelikli Atıksu Arıtma Çamurları	-	182 069
Su Arıtım Çamurları	-	1 848
Yapı İnşaat ve Yıkım Atıkları	833	20 563
Asbest Atıkları	1 096	-
Doğal Olarak Oluşan Mineral Atıkları	-	22 577
Yanma (Combustion) Atıkları	9 779	264
Yapay Mineral ve Refrakter Malzeme Atıkları	1	9
Taş ve Toprak Atıkları	439	244
Atık İşleme ve Bertarafından Kaynaklanan Mineral Atıklar ve Stabilize Edilmiş Atıklar	7 965	894
Toplam	56 236	14 253 120

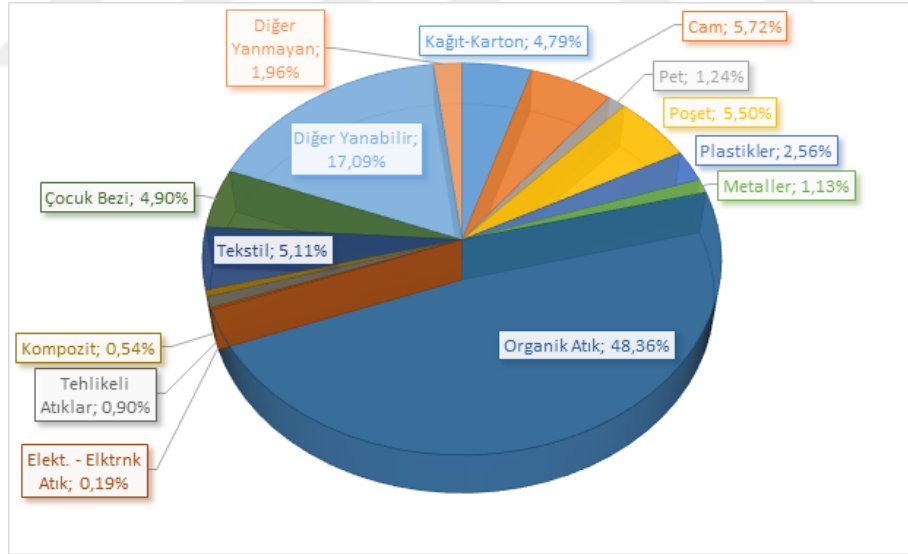
Yıllık toplamda verilen bu miktarlar ülke genelindeki depolanan tüm atıkların ortalaması olduğundan sahaya özel spesifik bir karakter yansıtmamaktadır. Bu nedenle depolanan atıkların nitelikleriyle ilgili daha iyi fikir edinebilmek için İstanbul için yapılan karakterizasyon çalışması verileri incelenebilir.

Buna göre 2017 yılında yapılan depolama sahasına gönderilen evsel atıkların karakterizasyonu kış sezonu için Şekil 2.29 ve yaz sezonu için ise Şekil 2.30'da özetlenmiştir.



Şekil 2.29 İBB İstanbul Geneli Kış Sezonu Atık Karakterizasyonu (2017)

Karakterizasyon sonuçlarına göre evsel atıkların ortalama %50'sini organik atıklar oluşturmaktadır. Ortalama %20 civarında ambalaj atığı kaynağında ayrı toplanmadığı için karışık atıkların içerisinde düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmektedir.



Şekil 2.30 İBB İstanbul Geneli Yaz Sezonu Atık Karakterizasyonu (2017)

Düzenli Depolama Sahalarının Yeniden Değerlendirilmesi

Düzenli depolama sahaları düşük maliyeti bakımından atıkların bertarafı konusunda uygun bir yöntem olarak yaygın şekilde kullanılsa da şehir planlamasında kısıtlamalara neden olması, uzun vadeli metan gazı emisyonları ve şehirlerdeki yerleşim yerleri sıkıntısından dolayı önemli bir bölgesel kirlilik meselesi olarak durmaktadır. Bu bakımdan depolama sahası madenciliği; kazı, işleme, bertaraf ve depolanmış malzemelerin geri dönüşümü gibi süreçleriyle bu gibi problemlerin çözüm kaynağı olan adres olarak gözükmektedir.

Depolama sahası madenciliği; metal, cam, plastik, toprak geri kazanımı ve sahanın bizzat kendisinin yeniden kullanımı amacıyla geleneksel yüzey madenciliği yöntemlerini kullanarak bir düzenli depolama sahasının kazılması prosesi olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalarda gelişmiş depolama madenciliği (Enhanced Landfill Mining-ELFM) kavramı öne sürülerek “Yenilenebilir dönüşüm teknolojilerini kullanarak ve en zorlu sosyal ve ekolojik kriterlere uyarak, hem materyal hem de enerji geri kazanımı gibi depolanan atık akımlarının, güvenli hale getirilmesi, kazılması ve entegre olarak değerlendirilmesi” olarak tanımlanmıştır [46].

Daha önceden depolanarak bertaraf edilen atık maddelerden mineraller veya diğer katı doğal kaynakların çıkarılarak yapılan depolama sahası madenciliğinin daha ayrıntılı bir diğer tanımı ise şu şekilde verilmiştir: “aktif veya aktif olmayan bir depolama sahasındaki atıkların; depolama sahası alanının korunması, depolama sahası için alan ihtiyacını azaltılması, potansiyel bir kontaminasyon kaynağının ortadan kaldırılması, mevcut bir kontaminasyon kaynağının etkisinin azaltılması, kazılarak çıkartılan atıktan enerji geri kazanımı, geri kazanılan malzemelerin yeniden kullanımı, atık yönetim sistemi maliyetlerinde azaltımı ve kazanılan alanın yeniden gelişiminin sağlanması gibi sebeplerden dolayı kazılarak çıkartılması ve işlenmesidir [16].

İlk bilinen depolama sahası madenciliği İsrail'de 1953 yılında yapılmıştır. Ancak en yoğun şekilde 1995-2000 yılları arasında uygulanmıştır. ABD'de depolama madenciliğine iten temel sebep atık mevzuatında yapılan değişiklik (depolama sahalarının kapatılması ve bakımı için sıkı şartlar konulması) olmuştur. Burada yapılan depolama sahası madenciliği çalışmalarının temel sebebi depolama sahalarında oluşan çöp sızıntı suyunun kirliliğe neden olmasının önüne geçilmesidir [9]. Avrupa ve Asya'da ise depolama sahalarının rehabilitasyonu, yer sıkıntısı ve şehirlerin büyümesi bu çalışmaların sayısında artış olmasına neden olmuştur [16]. Avusturya Viyana'da bulunan eski evsel atık depolama sahasının 1990 yılında kazılarak aerobik şartlandırma ile kazanılan yer yerleşim bölgesi olarak kullanılmıştır. Almanya'da 1993 yılında Burghoff/Horrheim Depolama Sahasının kazılmasıyla başlanan depolama sahası madenciliğine 90'lı yıllarda tüm Avrupa'da hız verilmiş; 1994'te İtalya'da, 1997'de İsveç'te depolama sahası madenciliği çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sadece Avrupa ile sınırlı kalmamış diğer ülkelerde de uygulanmıştır. Örneğin Birleşik Arap Emirliklerinde Sharjah depolama sahası yeniden kazılarak 6,4 milyon m³ kazı çıkarılmış ve kazanılan alan yerleşime açılmıştır [9].

3.1 Depolama Sahası Madenciliği Prosesi

Depolama sahası madenciliği prosesleri sahaya özel yapılan ön araştırmalar neticesinde her projeye özel olarak tasarlanmaktadır. Ancak yapılacak işlemlerin bir standardı ve genel bir yol haritasının belirlenebilmesi amacıyla ABD'de depolama sahası madenciliğine özel mevzuat hazırlanmıştır. Buna göre ABD'deki depolama madenciliği projeleri için beş adım ile tanımlanan uyulması zorunlu prosedür bulunmaktadır. Bu zorunlu beş adım şu şekildedir:

- o Bir saha karakterizasyonu çalışması yapılması
- o Potansiyel ekonomik faydaların değerlendirilmesi
- o Mevzuat gereksinimlerini araştırılması
- o Bir ön iş sağlığı ve güvenliği planı oluşturulması
- o Proje maliyetlerini değerlendirilmesi [16].

Bu bağlamda her ne kadar Avrupa'da ve diğer ülkelerde depolama sahası madenciliğine özel yönetmelik bulunmasa da yapılan çalışmalar kazma işlemleri, hazırlama ve sınıflandırma, geri dönüştürülebilir malzemelerin hazırlanması, geri kalan malzemelerin işlenmesi ve bertarafından oluşan belli bir genel çerçeve içerisinde yürütülmüştür [9].

Bir depolama sahası madenciliği çalışmasına başlamadan önce yürütülecek projenin fizibilite çalışması büyük önem arz etmektedir. Çalışmanın sonuçlarının, veriminin ve etkilerinin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için yapılacak fizibilite çalışması; depolama madenciliği yapılacak sahadaki depolanmış atıkların çeşidi, miktarı hakkında bilgi sağlayarak sahadan çıkacak olası geri kazanılabilecek materyal türleri ve bu materyallerin potansiyellerini sunacak şekilde oluşturulmaktadır. Bu sayede sahada yapılması planlanan depolama sahası madenciliği projesinin ekonomik ve ekolojik şartları ortaya konularak uygulanabilirliği üzerinde değerlendirme yapılabilmektedir.

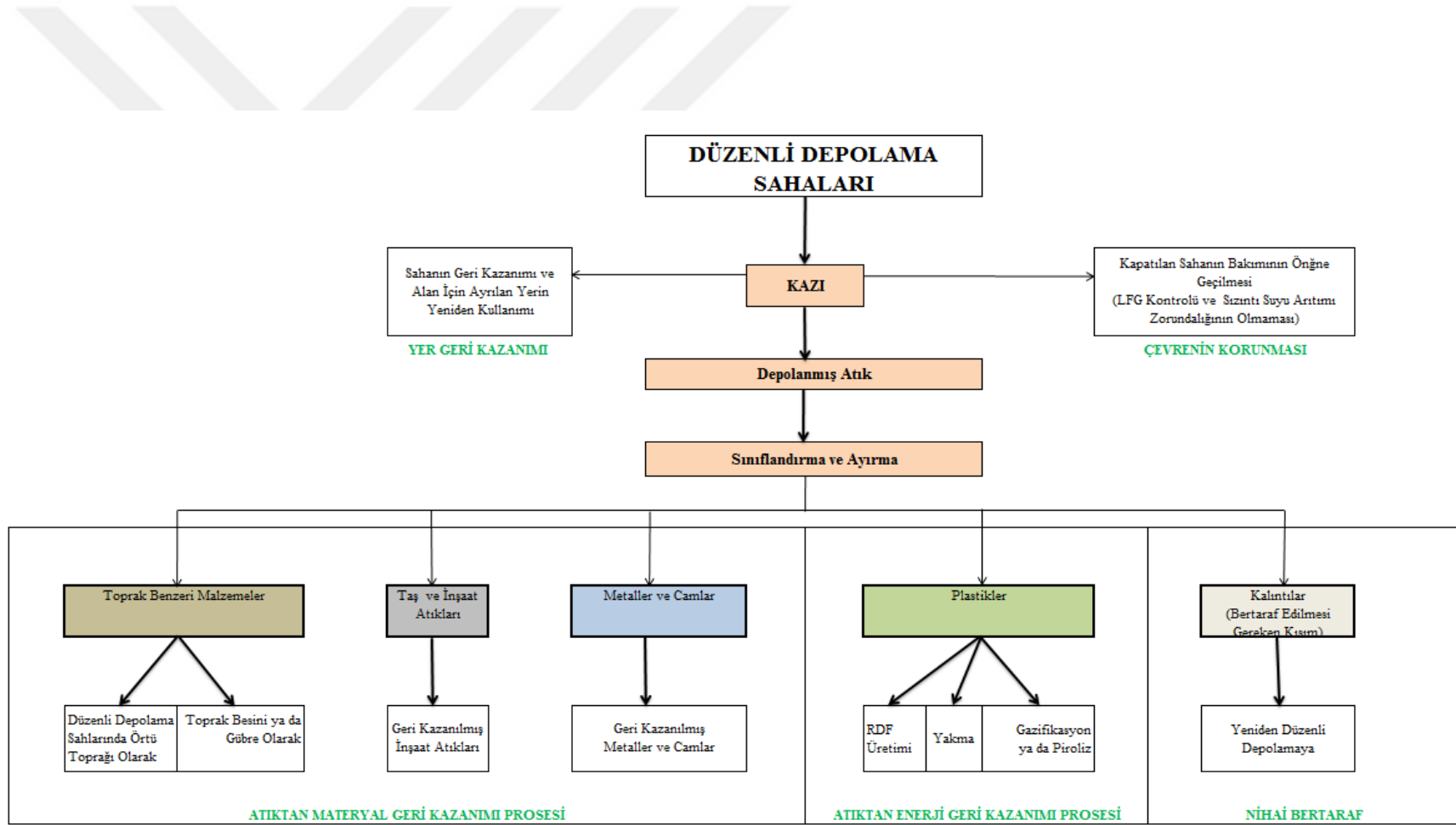
Depolama sahasındaki atık bileşimi ve sahanın yaşı nedeniyle oluşan çöp gazının depolama sahası madenciliği esnasında ortaya çıkarak sorunlara sebep olmaması için sahaya hava basılarak aerobik stabilizasyon işlemi uygulanması sahanın kazılarak materyallerin ayrılmasında büyük kolaylık sağlamaktadır. Havalandırma esnasında uygulanan çekme işlemi, hem sahada oluşan depolama gazının sürekli aratarak devam etmesine engel olmakta hem de sıvı bileşenlerin sahadan uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Sahadan toplanan gazlar çok basamaklı filtrelerden geçirilerek arıtılmaktadır. Çöp gazının bu şekilde bertarafı sahadan kaynaklanan emisyonların ve kokunun giderilmesine katkı sunarken depolanmış çöp içindeki nemin uzaklaşmasını temin ettiğinden atığın mekanik olarak işlenmesini kolaylaştırmaktadır [9].

Depolama sahasının aerobik koşullarda işlem görmesinin ardından depolama sahasından kazılarak çıkarılan depolanmış atık çeşitli yollarla ayrılarak sınıflandırılmaktadır. Toprak benzeri materyaller tambur eleklerin altında kalan fraksiyondur. Elek üstü kısım ise plastikler, taşlar ve metallerdir. Bu kısım manyetik ayırıcı ve havalı sınıflandırıcılar ile birbirinden ayrılır [46].

Bu aşamaya kadar süren işlemler Şekil 3.1’de görüldüğü üzere tüm depolama sahası madenciliği çalışmaları için yaklaşık olarak aynı olmakla birlikte materyallerin sınıflandırılarak fraksiyonlarına göre ayrılmasından sonraki işlemler çalışmaya özel olarak belirlenmektedir. Bu kısımda materyal fraksiyonlarının değerlendirilmesi için üç farklı işlem uygulanabilmektedir:

- o Materyal geri kazanım
- o Termal bertaraf
- o Nihai bertaraf

Materyal geri kazanımı depolama sahasından çıkarılan atıkların mekanik olarak işlenmesiyle mümkün olmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu tür atıkları işlemenin mobil tesislerde yapılabileceği belirtilerek dört süreçten oluşan (yıldız elek; havalı ayırıcı; manyetik ayırıcı ve Eddy akım ayırıcısı) tüm materyali hızlı ve verimli bir şekilde ayırabilen bir sistem model geliştirilebileceği önerilmektedir. Önerilen bu işlemde, depolanan atık ilk olarak kazılarak çıkartılmakta ve tehlikeli ürünleri (örneğin, buzdolapları ve petrol varilleri) ve geri dönüşemeyen malzemeyi ayıran kaba elek üzerine dökülmektedir. Daha sonra malzemenin geri kalanı, yoğun olarak biyo bozunmuş atık içeren, yeniden depolanacak “elek altı” olarak adlandırılan malzeme ile örtü malzemesi kategorisini ayıran yıldız eleğe girmektedir. Elek üstü son olarak havalı ayırıcıya alınarak kağıt, tekstil ve plastik gibi yanabilen malzemeler ayrılmaktadır. Magnetik ayırıcı ve Eddy akım ayırıcısı, sırasıyla demir ve demir dışı metalleri ayırmaktadır. Eğer geri dönüşebilen malzemeleri ayırmak için mobil tesis kurulmayacaksa alternatif olarak mevcut ayırma tesislere taşınması mümkündür.



Şekil 3.1 Düzenli Depolama Madenciliği Prosesi

Kazılarak çıkarılan malzeme kaba elekten geçirilip toprağın depolama alanından sabit tesise taşınmasını azaltmak için depolama sahasında bulunan yıldız eleğe alınmaktadır. Aynı zamanda büyük tehlikeli ürünler (örneğin, buzdolapları ve petrol varilleri), kalıntıların ve çoğunlukla biyo-bozunmuş atıklar (elek altı) büyük oranda ayrılarak gereksiz yere ayırma tesisine taşınmasının önüne geçilmektedir. Geri dönüşebilen malzeme kamyon ile ayırma tesisine iletilerek geri dönüştürülebilir malzemeler ilgili geri dönüşüm tesislerine gönderilirken yanabilen malzemeler yakma tesisine yönlendirilmektedir [8].

Depolama sahalarından depolama sahası madenciliği yoluyla elde edilen malzemelerden RDF üretilmesi, ayrılan yanabilen malzemenin yakma tesisinde veya gazifikasyon tesisinde enerjiye dönüştürülmesi termal bertaraf metotları arasında yer almaktadır. Bu ayırma işlemleri esnasında ortaya çıkan ve değerlendirilemeyen atıklar, eğer toprak benzeri malzeme ise depolama sahalarında örtü toprağı olarak yeniden kullanılmakta veya doğrudan depolama sahasında bertaraf edilmektedir.

3.1.1 Depolama Sahası Karakterizasyonu

Depolama sahası madenciliği üzerine yapılan araştırmaların çoğu depolanmış atıkların bileşenlerine yer vermiştir. Bu çalışmalarda depolanan belediye atıklarının % 50-60'ının toprak benzeri materyallerden oluştuğı, %20-30'u yanabilen atıklar (plastik, kağıt, ahşap v.b.) olup %10'unun inert malzeme olduğu tespit edilmiştir. Depolanan atıkların çok az kısmı metal olup depolanan atıkların içerisinde tehlikeli atıkların oranı çok azdır ve %1'den bile daha az seviyede olabilmektedir [16].

Çin'de bir depolama sahasında bertaraf edilen katı atıkların ortalama bileşimi analiz edildiğinde toprak benzeri malzemelerin ilk sırada %75,02 yer aldığı; ardından yanabilen atıkların %14,69 ve taş ve minerallerin %8,26; diğer bileşenler sadece %2,03 olduğu görülmüştür [16].

Avrupa ülkelerinde yapılan benzer depolama sahası karakterizasyon çalışmalarında ise depolama sahalarında bulunan metaller oldukça dikkat çekmektedir (Tablo 3.1) [8], [9].

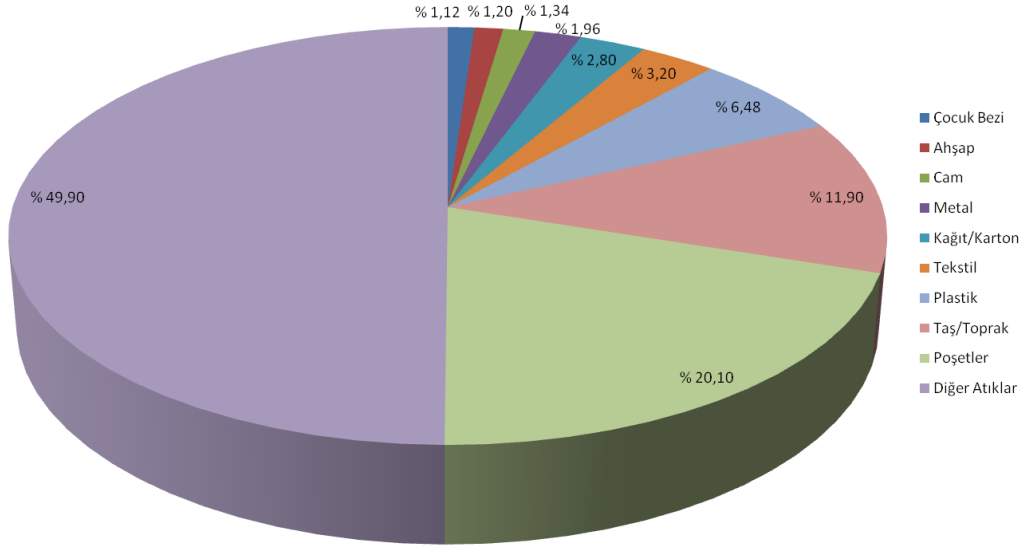
Tablo 3.1 Depolama Sahalarına Ait Atık Bileşimi (Ağırlıkça %)

Materyal	Ortalama Değer	
	İsveç	Almanya
	[%]	[%]
Toprak Benzeri Materyaller	56.3	30-75
Kağıt	7.9	8-6
Plastik	8.1	4-9
Ahşap	7.4	3-10
Tekstil	3.3	1-3
İnert Malzeme	9.7	2-4
Organik Atık	2.7	6-12
Demir Benzeri Metaller	3.6	1-4
Demir Dışı Metaller	0.8	0,3-0,8
Tehlikeli Atıklar	0.2	-
Aritma Çamurları	-	1-3

Ülkemizde ise evsel atıkların depolandığı II. Sınıf düzenli depolama sahalarında depolanan atığın yarısı tekrar depolanarak bertaraf edilmesi gereken diğer atıklardan oluşurken metaller yalnızca yaklaşık %2 civarında bulunmaktadır. Ahşap, poşet, ambalaj gibi yanabilen malzemeler ise ortalama % 15 oranında yer almaktadır.

İBB Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası'nda yapılan karakterizasyon çalışmasının ayrıntılı sonuçları Şekil 3.2'de gösterilmiştir [21].

Kömürçüoda Depolama Sahası Atık Karakterizasyonu



Şekil 3.2 Kömürçüoda Düzenli Depolama Sahası Karakterizasyonu

Yapılan karakterizasyon çalışmalarının verimli olması ve doğruya en yakın sonuca götürmesi için sahadan alınacak numune noktalarının sahayı yansıtacak şekilde seçilmesi ve numune alınması için açılacak deliklerin derinliğinin sahanın gerçek yapısını en iyi gösterecek şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

3.1.2 Depolama Sahasından Numune Alma

Depolama sahası madenciliğinin ilk adımı olan sahaya ait bilgi ve verilerin toplanması için önemli adımlardan biri de sahadaki atığın karakterizasyonunun belirlenmesidir. Karakterizasyon için sahadan numune alınması, sahanın farklı katmanları ve heterojen yapısı göz önünde bulundurularak yapılan delme çalışmalarıyla başlamaktadır. Saha grid bölgelere ayrılarak belli büyüklükteki matkap uçlarıyla farklı derinliklere kadar inilerek sahanın değişik noktalarından numuneler çıkartılmaktadır. Örneğin yapılan bir çalışmada 12 cm'lik matkap ucu takılı bir delme makinesi kullanılarak, katı atıklardan grid noktalarından (100 m—100 m) örnekler alınmış, her bir örnekleme noktasından elde edilen örneklerin sayısı sahanın yapısına göre farklı seçilmiştir. Ayrıca her bir örnekleme yeri için depolama katmanı tabakalarının kalınlığı farklı olduğundan farklı derinliklerden numune alınmıştır.

Sahadan çıkarılan numuneler Şekil 3.1.15'deki gibi 1m X 1m X 0,5m ölçülerindeki sabit hacim kabı ile ölçülerek laboratuvar ve madde analizleri için hazırlanmaktadır.



Şekil 3.1.15 Sahadan Alınan Atık Numunesi

Hazırlanan numunelerde madde grubu analizi için Çevre ve Şehircilik Bakanlığının hazırladığı Atık Karakterizasyonu kitapçığı kullanılmaktadır. Bu kitapçıkta çıkarılan atık numunelerinin sınıflandırılması için 16 atık bileşeni belirlenmiştir. Ayrılan her bir atık bileşeni darları alınmış kaplarda ıslak ağırlıkları alınarak tartılmakta sonuçta ise % cinsinden oranları hesap edilmektedir. Madde grubu analizlerinden sonra laboratuvar analizlerine geçilmektedir.

3.1.3 Analizler

Depolama sahalarından alınan numuneler üzerinde yapılacak analizler partikül boyutu analiziyle başlamaktadır.

- Partikül Boyutu Analizi

Bu analizde alınan numuneler partikül boyutuna göre sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırma, yapılacak çalışmaya özel, analizlerde sahayı en iyi şekilde temsil edecek şekilde oluşturulmaktadır.

Örneğin partikül boyutu 20 mm'den küçük, 20 mm-50 mm arası ve 50 mm'den büyük şeklinde sınıflandırılarak yürütülen bir çalışmada sahanın daha çok moloz atıklarının depolandığı kısımdan alınan numunelerin 20 mm altının miktarının fazla olması beklenirken; evsel iri atık ve inşaat atıkları depolanan kısımlardan alınan numunelerin 50 mm üstü fraksiyon daha fazla miktarda olmaktadır. Genel olarak, partikül boyutu dağılımı sonuçları, görsel yapılan gözlemlerle desteklenerek, her bir depolama alanında depolanmış atık türüne ve ilgili kaynak potansiyeline göre yapılacak depolama sahası karakterizasyonunu ortaya koymaya imkan tanımaktadır [20].

Kimyasal analizler ve biyolojik analizlerin 10 mm ve 4 mm altı ile çalışıldığı bir çalışmada Toplam Organik Karbon (TOC) analizleri 2 mm altı ile gerçekleştirilmiştir [28]. Depolama sahasından alınan atığın içerisindeki yanabilen materyallerin yarı kantitatif bileşimi 70 mm üzeri numuneler üzerinde yapılabilmekte iken kalorifik değer ve tespit için yapılan XRF (X Işını Fluresans) Analizi gibi analizler için numuneler 20 mm altı ve 30 mm altı numuneleri kullanılabilir [15].

Analizlerin yapılacağı partikül boyutu sınıfları sınıflandırma sonucu ortaya çıkan fraksiyonların yüzde cinsinden miktarının büyüklüğü ile bağlantılıdır. Yapılacak analizin depolama sahasını yansıtmaları için bu çoğunluğu sağlayan partikül sınıfları için çalışmanın yürütülmesi önem arz etmektedir. Belçika'da yapılan çalışmalarda endüstriyel atık depolama sahalarından alınan numunelerin % 65'inin 10 mm altı olarak sınıflandırılabilirdiği evsel atık depolama sahalarından alınan numunelerin ise % 44'ünün bu fraksiyon yer aldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmalarda numune 70 °C'de kurutulduğu için bu kadar yüksek oranda ince fraksiyon oluşması muhtemeldir. Ancak daha sonra evsel atık düzenli depolama sahası madenciliği esnasında alınan ham numune üzerinde yapılan çalışmada ise 24 mm altı fraksiyon oranı % 55 olarak gerçekleşmiştir [15].

- XRF (X Işını Fluresans) Analizi

Partikül analizi ile sınıflandırılan atık numunelerinin her bir numune sınıf üzerinde elementel analizler gerçekleştirilmektedir. Bu elementel analizlerin gerçekleştirildiği metot ise XRF (X Işını Fluresans) Spektroskopisidir.

Tablo 3.2 Seçilen Numunelerin Elementel Bileşimi (XRF)

Element	20 mm Altı Yanabilen [%]		70 mm Altı Havalı Ayırıcı Üstü [%]	
	Orta Katman	Alt Katman	Orta Katman	Alt Katman
Al	1,5	2,2	1,2	2,5
Ba	0,03	0,02	0,06	0,05
Br	<0,01	0,02	0,01	<0,01
Ca	3,0	3,8	3,8	3,9
Cl	1,6	1,2	0,59	2,1
Cr	0,01	0,01	0,01	0,02
Cu	0,04	0,04	0,01	0,04
F	<0,01	0,06	<0,01	<0,01
Fe	1,1	2,0	1,9	2,0
K	0,52	0,48	0,52	0,52
Mg	0,40	0,41	0,35	0,34
Mn	0,03	0,04	0,04	0,04
Na	0,71	0,60	0,52	0,45
Ni	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
P	0,10	0,10	0,08	0,1
Pb	0,03	0,03	<0,01	0,03
S	0,57	0,65	0,9	0,71
Sb	0,03	0,04	<0,01	0,3
Se	<0,01	<0,01	0,02	<0,01
Si	5,0	4,1	3,6	3,8
Sr	0,02	0,01	0,01	0,02
Ti	0,44	0,36	0,55	0,45
Zn	0,10	0,06	0,09	0,07
Zr	<0,01	0,01	<0,01	0,01
K + Na	1,2	1,1	1,0	0,97

Cihazda alınan farklı numuneler tek tek analiz edilerek atığın element yapısı hakkında genel fikir edinilmektedir.

Bu sonuçlardan bir örnek Tablo 3,2'de gösterilmiştir.

Depolama sahasının orta ve alt katmanından alınan atıkların manuel ayıklanması ile ayrılan kâğıt, karton, plastik gibi yanabilen malzemelerin 20 mm elekten geçirildikten sonraki alt fraksiyonu ile mekanik ayırıcı sistemde havalı ayırıcıdan ayrılan light fraksiyonun 70 mm elekten geçirildikten sonraki alt fraksiyonu analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarında Klor miktarı dikkat çekmektedir. Mevzuata göre atıktan türetilmiş yakıt olarak kullanımda yanabilen malzemedeki klor oranı %1'den küçük olması gerekmektedir. Burada çıkan yüksek miktardaki klor yakma esnasında HCl'e dönüşebilmekte ve korozyon etkiye sahip olmaktadır. Ayrıca HCl, Pb ve Zn gibi metallerin baca gazına geçmesine neden olabilmektedir [15].

- Net Kalorifik Değer

Depolama sahası madenciliğinde ve atıkların bertarafında atığın kalorifik değeri önemli bir yer tutmaktadır. Atıkların bertaraf metodu seçilirken özellikle termal bertaraf yöntemlerinin tercih edilebilmesi için atığın kalorifik değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Alınan numunelere göre ayrı ayrı kuru madde üzerinden hesaplanan kalorifik değer atığın ATY olarak kullanılması durumunda mevzuata göre 2.500 kcal/kg'dan fazla olması gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda kuru madde oranı %80 ile 95 arasında değişen yanabilen atıklar için net kalorifik değerinin 20-25 MJ/kg KM arasında değiştiği görülmektedir [15].

- Toplam Organik Karbon

Depolama sahasından alınan numunelerde Toplam Organik Karbon (TOK) analizleri yapılmaktadır. Bu analizler sahadaki organik bozunmanın ne kadarının gerçekleştiği ya da sahadan alınan atıkların biyolojik yöntemler ile ne kadar değerlendirilebileceğine dair bilgi sunmaktadır. Yapılan çalışmalarda depolama sahasının alt katmanlarından alınan numunelerin TOK değerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak ise sızıntı suyu ile aşağı katmanlara doğru süzülen Cl ve S'ün organik karbonun bozunmasını sağlaması gösterilmektedir [15].

- Biyolojik Metan Potansiyeli

Depolama sahası madenciliğinde biyolojik metan potansiyeli (BMP), sahanın çöp gazı oluşturma potansiyelini ve sürecini takip ederek çöp gazı toplama verimine bakılması bakımından önemlidir.

Yapılan çalışmalarda depolama sahası madenciliği artık çöp gazı çıkışının olmadığı ya da çok olduğu kapatılan eski depolama sahaları üzerinde yapılmıştır. Bu nedenle düzenli depolama sahası madenciliği yapılacak sahaya karar verilirken sahanın biyolojik metan potansiyeline bakılarak sahanın ömrü ve projenin yürütüleceği zaman için tahminde bulunulabilmektedir.

Depolama sahası madenciliğinde elde edilen atıklar oldukça az miktarda biyolojik aktiftir. Almanya’da uygulanan farklı depolama sahası madenciliği projelerinden ve en az 15 yıllık sahalardan alınan atıkların biyobozunurluğu için yapılan analizlerin sonuçları Tablo 3.3’te verilmiştir [9].

Tablo 3.3 Depolama Sahalarından Alınan Atık Numunelerinin Biyolojik Stabilitite Aralığı

Parametre	Değer Aralığı
Nefes Alabilirlik (AT_4)	1,2-6,8 [mg O_2 /g TS]
Toplam Organik Karbon (TOC_{eluat})	21-200 [mg/L]
Gaz Oluşum Potansiyeli (GB_{21})	1,1-11,6 [Nl/kg TS]

Ayrıca depolama sahasından alınan numuneler üzerinde Toplam katı madde (TS), Uçucu madde (VS), Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) ve Sızıntı suyunda kimyasal oksijen ihtiyacı ve amonyum analizleri gerçekleştirilmektedir. Ancak bu analizler depolama sahası madenciliği ile sahaların değerlendirme potansiyeline doğrudan etki etmediğinden burada açıklanmamıştır.

Yapılan düzenli depolama sahalarının madenciliği çalışmalarında sahanın karakteristiğine göre değerlendirme potansiyeli ortaya konmuştur. Düzenli depolama sahaları genel olarak üç farklı ana başlıkta toplanan amaç çerçevesinde yeniden değerlendirilmektedir:

- Materyal Geri Kazanımı
- Enerji Kazanımı
- Alan / Hacimsel Geri Kazanım

Depolama sahasında bulunan ambalaj atıkları, metal gibi değerli malzemeler ile biyobozunur maddeler düzenli depolama sahası madenciliğini materyal geri kazanıma doğru yönlendirirken kağıt, tekstil, plastik gibi malzemelerin varlığı veya yanabilen kısmın kolay elde edilebilirliği depolama sahası madenciliğini atıktan türetilmiş yakıt üretimine veya doğrudan atıktan enerji elde edilmesine götürmektedir.

3.2 Değerlendirme Potansiyeli

Depolama sahalarında atıkların biyolojik bozunması sonucu açığa çıkan çöp gazı ve çöp sızıntı suları önemli bir emisyon kaynağı olarak görülmektedir. Aktif sahalarda sızıntı suyu arıtımı ve çöp gazının toplanmasıyla bu emisyonların önüne geçilmekte çevreye zararı engellenmektedir.

Maliyetlerin önemli bir kısmı olan bu işlemler depolama sahasının kapatılması esnasında ve kapatıldıktan sonraki bakım sürecinde de devam etmektedir.

Depolama sahalarının kapatma işlemleri tamamlandıktan sonra bakım ve izleme çalışmaları sahanın durumuna göre 30 ila 200 yıl arasında değişebilmektedir. Almanya'da 2009 yılına kadar kapatılan 200 evsel atık depolama sahası ve 200 endüstriyel atık depolama sahasının kapatılma işlemleri için 2 ila 6 milyar € harcanmıştır ve bu sahaların bakımı için de 15 ila 30 milyar € ayrılacağı tahmin edilmektedir [9].

Hem çevresel etkilerini azaltmak hem de ekonomik olarak daha uygun değerlendirme yöntemlerini ortaya koymak için yapılan depolama sahası madenciliği çalışmalarında depolanmış atığın çıkartıldıktan sonra işlenerek metallerin ve inşaat atıklarının geri kazanımı mümkündür. Bu atıkların ayrılmasından sonra geriye kalan toprak benzeri malzeme bahçe ve yeşil alanlar için organik gübre olarak kullanılabilir. Kalorifik değeri yüksek malzemeler ise enerji ve materyal geri kazanımı için kurulan Atıktan Enerji Geri Kazanım Tesislerinde (yakma, gazifikasyon, piroliz, plazma teknolojileri ya da bu teknolojilerin değişik kombinasyonları gibi) değerlendirilebilmektedir [46].

Çin'de yapılan bir depolama sahası madenciliği çalışmasında yanabilen atık bileşimi dikkate alınarak hesaplanmış ve ortalama ısı değeri 23.564 kJ/kg olarak bulunmuştur.

Çalışmada bu atıkların yakma tesislerinde değerlendirilebileceği tespit edilmiş ve depolama sahası madenciliği projesi tamamlandığında 551.000 m³ boş alan ve 11,3 ha arazi geri kazanıldığı hesaplanmıştır.

Laboratuvar test sonuçlarında ise toprak benzeri malzemelerin ortalama ağır metal içeriğinin, Çin'in ulusal standardının sınırlarının altında olduğundan bu kısımların yine örtü toprağı olarak kullanılabilceğı belirlenmiştir [46].

Dünya çapındaki depolama sahalarından hacmi 10 bin m³'ten büyük 77 saha için yapılan çalışmalar göstermiştir ki depolama sahası madenciliği projelerinin %33'ü yer altı sularının korunması amacıyla başlatılmıştır. Diğer sebepler ise %21 hacimsel geri kazanım, %13 maddesel geri kazanım, %13'ü depolama sahasına ait önlemler kapsamında ve son olarak %12'si yerleşim alanı kazanımı ve %8'i kapatma sonrası depolama sahası bakım masraflarının önlenmesi olarak tespit edilmiştir [9].

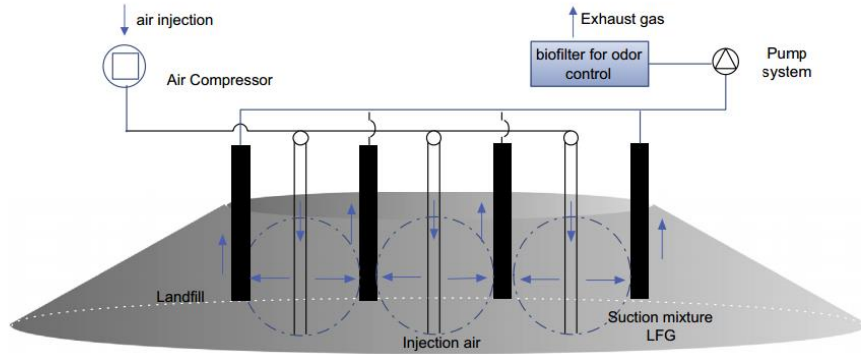
3.2.1 Materyal Geri Kazanımı

Düzenli depolama sahalarında atıkların özellikle biyolojik kısımları zamanla bozunmaktadır ancak uzun yılların ardından toplam atık miktarının yaklaşık % 60-80'i, ayrışmadan depolama sahalarında kalmaktadır ve depolama sahaları bünyelerinde büyük miktarlarda malzeme bulundurmaktadır. Bu nedenle belirli bir depolama sahası için malzeme geri dönüşüm potansiyelini belirlemek için, depolanan atık fraksiyonlarının niceliksel ve niteliksel analizi için sahaya özel araştırmalar gerekmektedir. Depolama sahasına ait giriş kayıtları, veriler, depolanan atıkların türü depola sahası kompozisyonu için fikir vererek atık depolama sahasında mevcut olan malzemelerin geri dönüşümü için yapılacak işlemleri belirleyebilmektedir. Metaller, plastikler, kağıtlar gibi değerli malzemelerin özellikleri, depolama sahasında uzun süreli depolamadan sonra farklılık gösterip göstermediğı kontrol edilerek bu tür atıkların diğer depolanmış atıklar arasında bileşen olduğuna kanaat getirilmelidir.

Depolama sahasında yapılan keşif kazılarında alınan 200–500 kg gibi bir numunenin karakterizasyonu da depolama sahaslarında bulunan malzemelerin değişkenliği ve kalitesine dair bilgi sunabilmektedir.

Yapılan araştırmalarda atık bertarafından 10 yıl sonra atığın termal ve mekanik özellikleri çok büyük oranlarda değişim göstermez iken plastik atıkların tüm atık miktarına olan oranı %10'dan %25'e kadar yükseldiği gözlenmiştir [48].

Düzenli depolama sahası madenciliği çalışmalarına sahanın anaerobik ortamdan aerobik ortama geçirilmesiyle başlanılmaktadır. Sahaya hava basılması, hem sahanın kazılması esnasında koku emisyonlarının azalmasına hem de plastik, kağıt gibi malzemelerin kurumasiyla daha verimli bir materyal geri kazanımına katkı sağlamaktadır. Bunun için Şekil 3.6'da görüldüğü üzere depolama sahası hücreesine açılan kuyular ile basınçlı hava enjekte edilmekte ve gaz toplama bacalarından çekilen hava biyofiltreden geçirilerek atmosfere salınmaktadır [48].



Şekil 3.6 Bir Depolama Sahası Hücresinin Aerobik Ortama Dönüştürülmesi

Plastikler son yıllarda en çok tüketilen malzemelerden biri olarak depolama sahası madenciliğinden elde edilen başlıca ürünlerin başında gelmektedir. Depolama sahası madenciliğinde elde edilen plastiklerin karakteristiği ve bunların geri kazanım potansiyeli, depolama sahası madenciliği projelerinin fizibilitesini belirleyen temel noktalardır. Bu nedenle depolama sahaslarından çıkarılan malzemelerin geri kazanımında bozunma süresi çok uzun yıllar süren plastikler önemli yer tutmaktadır. Teorik olarak plastik atıkların değerlendirilmesinin dört yolu vardır: Yeniden ekstrüzyon, mekanik işlemler, kimyasal işlemler ve enerji geri kazanımı [45].

Çin’de yapılan bir depolama sahası madenciliği çalışmasında farklı yıllarda depolanmış atıklar içerisinde manuel olarak ayrılmış plastik atıklar incelendiğinde bu atıkların %70’e yakınının plastik poşetler, %30’unun ise PVC, PP ve PS gibi diğer plastik türleri olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan analizlerde ise bu atıkların kalorifik değerinin $43,18 \pm 1,49$ MJ/kg olduğu tespit edilmiştir. Yıkama ve temizleme öncesi kirlilik oranı %70 civarında olan plastik atıkların nem oranının %20 civarında olması bu atıkların yanabilirliğini yükseltmektedir. Depolama sahası madenciliği kazılarında çıkarılan bu plastiklerdeki kirliliğin giderilmesi için normal tekniklerle yapılan temizleme işlemleri (kaynağında ayrı toplanan plastik atıklar için uygulanan temizleme yöntemleri) maddesel geri kazanım ve piroliz, gazlaştırma, hidrojenasyon gibi kimyasal işlemler ile geri dönüşüm yapılmasını güçleştirmektedir. Bu nedenle depolama sahası madenciliğinden elde edilen plastiklerin özellikle poşet oranı yüksek ise ATY üretilerek ya da doğrudan yakma ile enerji kazanımı şeklinde değerlendirilmesi yaygın olarak kullanılmaktadır [45].

Depolama sahasından geri kazanılacak materyallerin ayırma işlemleri önce görsel olarak manuel yapılmakta daha sonra kırma, parçalama, öğütme ve bir dizi eleme işlemleri şeklinde gerçekleştirilmektedir. Yoğunluğa göre ıslak ayırma işlemleri 10 mm altı fraksiyonlar için kullanılmakta iken 10 mm üstü kısım havalı ayırıcılar, manyetik ayırıcılar ve eddy akım ayırıcılarında geçirilerek ayrılmaktadır. Depolama sahasından çıkarılan atıkların 0-10 mm arası eleme ve ön işlemleri esnasında ayrılan fraksiyonların içerisinde çok az miktarda toz materyaller yer almaktadır. Bu durum ilk aşamada kullanılan eleklerin çapının ikinci safhadaki eleklerle daha küçük olmasından kaynaklanmaktadır [14].

Depolama sahası madenciliğinin maddesel geri kazanım için gerçekleştirilebilmesi için depolama sahasında daha önceden depolanmış atıkların bileşimini bilmek önem arz etmektedir. Evsel atıklar için belediyeler tarafından atık kompozisyonunu belirlemek için çalışmalar yapıldığından depolama sahasında bertaraf edilen atığın karakterizasyonunu ortaya koymak oldukça kolaydır.

Evsel karışık atığın içerisinde yeterince verimli şekilde kaynağında ayrılmayan yeniden dönüştürülebilir ve geri kazanılabilir materyaller depolama sahalarında özellikle metaller olmak üzere önemli miktarlarda geri dönüştürülebilir malzeme bulunmasının ana kaynaklarından biridir. Depolama sahalarında bulunan metallerin ekonomik değeri, madencilik yoluyla elde edilmesi kadar dikkat çekmektedir.

Depolama sahası madenciliğinden metallerin geri kazanılmasının ekonomik olarak uygulanabilir olması için atık işleme maliyetlerinin düşük olması gerekmektedir. Geri kazanılacak metallerin miktarının tahmini için depolama sahasında depolanmış atıkların içerisindeki oranı tespit edilebilir veya saha seçiminde yakma tesislerinin külleri, cürufırları v.b metal içeriği yüksek atıkların depolandığı sahalarda tercih edilebilir. Yakma külleri, cürufırlar gibi atıkların depolandığı sahaların alan değeri daha yüksek olduğundan bu gibi sahalarda yapılan madencilik çalışmalarından kazanılan alan ekonomik olarak daha değerli olmaktadır. ABD’de yapılan bir çalışmaya göre yalnızca küllerin depolandığı bir sahada yapılan depolama sahası madenciliği işlemlerinden 7,42 milyon \$ değerinde metal geri kazanılmış; oluşan 10 bin 194 m³’lük sahanın ekonomik değeri 267 bin \$ olarak ortaya çıkmıştır. Metal geri kazanımının maliyeti ise 158 \$/Mt olarak hesaplanmıştır [41].

İngiltere’de 4.000’den fazla düzenli depolama alanının dördü üzerinde araştırma yapılmış; depolama sahalarında bulunan metallerin geri kazanılması için yapılan çalışmada nadir toprak elementleri ve ağır metallerin konsantrasyonlarının çok düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Bu konsantrasyonun depolama sahası madenciliğine başlanması için yeterince ekonomik olmayacağı tespit edilmiştir. Diğer taraftan yüksek değerli metaller olan Alüminyum ve Bakır’ın bu depolama sahalarında 400 milyon dolarlık bir potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak ekonomik olarak depolama sahası madenciliğinin metal geri kazanımı amacıyla yapılabilmesi için metallerin yanı sıra plastik, kâğıt gibi diğer geri dönüştürülebilir malzemelerin de geri kazanılabilmesi gerekmektedir [11].

Almanya'da depolanan 2,5 milyar ton evsel atık içerisindeki geri kazanılabilecek bakır ve alüminyumun değerinin yaklaşık olarak 9 milyar € olduğu tahmin edilmektedir. Almanya'da yapılan ve 1975-2012 yılları arasında depolanmış atıkları kapsayan depolama sahası madenciliği çalışmasının sonuçlarına göre elde edilebilecek ham maddeler ve bu hammaddelerin Almanya'nın yıllık ihtiyacını karşılama oranı Tablo 3.4'de gösterilmiştir [9].

Tablo 3.4 Almanya'da Evsel Atık Depolama Sahalarındaki Ham Madde Potansiyeli Aralıkları Ve Yıllık İhtiyacı Karşılama Oranı.

Ham Madde	Miktar [Milyon ton]	Yıllık İhtiyacı Karşılama Oranı [%]
Alüminyum	0,5-0,7	50-65
Demir	20-28	100-180
Bakır	0,9-0,2	140-170
Fosfat	0,35-0,65	270-350
Yanabilen Malzemeler	250-400	50-80

Buna göre Almanya'da depolanan atıkların içerisindeki yanabilen atıkların miktar olarak fazla olmasına rağmen ihtiyacı karşılama bakımından karşılığı oldukça düşüktür. Diğer taraftan depolanmış atıkların içerisindeki demir ve bakır oranı dikkat çekmekte bu ham maddelerin geri kazanılmasıyla ihtiyacın oldukça büyük kısmı fazlasıyla karşılanabilmektedir [9].

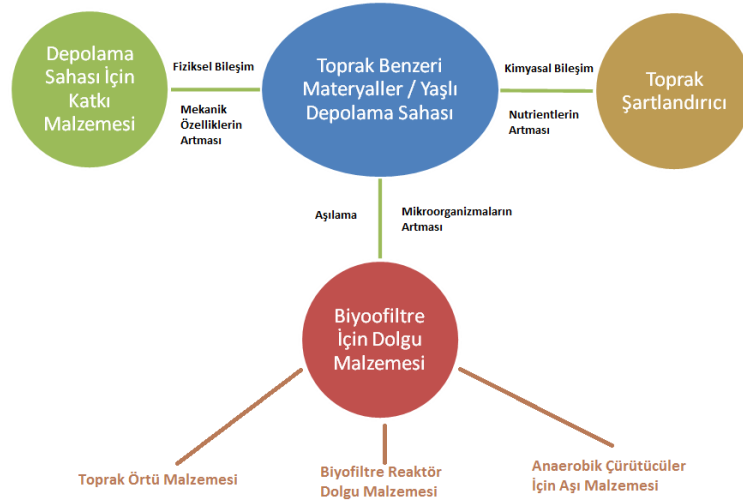
Depolama sahası madenciliğinden çıkarılan atıkların özellikle 10 mm'den küçük partikül boyutuna getirilen kısımların yaklaşık %40 ile 60'ını esas olarak mineral atıklar oluşturmaktadır. Özellikle endüstriyel atıkların ince tozları yüksek konsantrasyonlarda ağır metaller (Cu, Cr, Ni ve Zn) içerebilmektedir. Her ne kadar bu durum metal geri kazanımı için avantaj gibi görünse de gelişmiş atık depolama sahası madenciliğinin önündeki teknolojik zorluklardan biri olmaya devam etmektedir [26].

Depolama sahalarından kazılan atıkların karakterizasyonuna sahanın yaşının etkisi çok azdır. Metaller, plastikler, cam/seramikler, taşlar ve tekstiller gibi çoğu atık fraksiyonu için başlangıçta depolama sahasında bertaraf edildiği miktar ile kazılarak çıkarılan atıklarda içerisinde bulunan miktarı arasında çok büyük farklılıklar ortaya çıkmamaktadır [26].

Depolama sahalarından geri dönüşebilir malzemelerinin yanında atıkların içerisinde bulunan organik kısımların ayrışmasıyla toprak benzeri malzemenin de yeniden değerlendirilmesi söz konusu olabilmektedir.

Çin'de yapılan bir araştırmada evsel atıkların depolandığı depolama sahasının 2 ile 15 yıl arasında kapatılmış bölümlerindeki atıklar karakterize edilmiş; partikül analizinden sonra biyozbozunur kısımlar toplam azot ve toplam fosfor yönünden değerlendirilmiştir. Atığın görünümü ve kurutma işlemlerinde üç yıl önce ve sonra depolanmış atıklar için belirgin farklılıklar ortaya çıkmıştır. Üç yıldan daha fazla süredir depolanmış atıklar için oda sıcaklığında yavaş bir kurutma işlemi yapılırken, atıklar kokulu, gri renki ve hacimli iken oda sıcaklığında hızla kurutulması esnasında atıklar siyah ve hafif kokulu olmaktadır. Yapılan analizlerde çok ince toprak benzeri fraksiyon (partikül büyüklüğü 40 mm'den küçük) neredeyse stabil denilecek kadar kararlı bir yapı göstermiş ve bertaraf süresi uzadıkça bu kısmın oranı artmıştır. Öyle ki 14 yıldan daha fazla süre depolanmış atık kısımlarında yapılan analizlerde atığın neredeyse %70'ten fazlası bu ince toprak benzeri materyalden oluştuğu gözlemlenmiştir [48].

Bu kapsamda sahanın yaşına göre yapılacak yeniden kazma işlemleri ile bu ince toprak benzeri fraksiyonlar için bir dizi kullanım yolu geliştirilerek yeni depolama sahası hücreleri oluşturulabilmekte ve depolama sahasının hacmi arttırılabilmektedir. Şekil 3.7'de toprak benzeri bu ince fraksiyonlar için yeniden kullanım yolları özetlenmiştir.



Şekil 3.7 Düzenli Depolama Sahalarındaki Toprak Benzeri Materyallerin Yeniden Değerlendirilme Yolları

Toprak benzeri ince fraksiyonların özelliklerine dayanarak üç ana potansiyel yeniden kullanım yolu geliştirilmiştir: Birincisi, toprak şartlandırıcılar için yapılan mahsulsüz ziraatte organik gübre olarak kullanılmaktadır.

İkincisi, atık su arıtımı için biyo-filtredeki dolgu maddelerinin yerine kullanılmasıdır. Üçüncüsü, toprak örtüsü olarak veya nispeten stabilize edilmiş çöp depolama alanlarında çamur depolama için katkı maddesi olarak kullanılmasıdır [48].

Depolama sahalarında bulunan farklı fraksiyonların özelliklerine dayanarak yapılan değerlendirme potansiyeli araştırmalarına göre depolama sahası madenciliğinde ortaya çıkan plastikler, kağıt/karton, ahşap ve tekstil gibi yanabilen materyaller için atıktan-enerjiye en uygun değerlendirme yöntemidir. Çünkü bu atıkların kontaminasyon seviyesi yüksek kalitede malzeme geri dönüşümü sağlayamayacak kadar yüksektir.

3.2.2 Enerji Kazanımı

Depolama sahası madenciliği çalışmalarının birçoğunda amaç yalnızca materyal geri kazanımı değil materyal geri kazanımı ile birlikte atıktan enerji kazanımı da yürütülmüş ve depolama sahasından çıkarılan yanabilir malzemelerden enerji üretilmesinin mümkün olduğu belirtilmiştir.

Atığın içerisinde metallerin, cam/seramiklerin, taşların ve diğer inert maddelerin uygun şekilde ayrılması durumunda materyal geri kazanımı mümkün olmaktadır. Depolama sahası madenciliğinden çıkarılan atıklardaki yanabilen malzemelerin oranı ağırlıkça %23 ile %50 arasında değişmekte ve kalorifik değeri yaklaşık 18 MJ/kg KM olarak ortaya çıkmaktadır. Bu değerler depolama sahası madenciliği işlemleri ile çıkarılan yanabilen atık türlerinin yüksek enerjili atık potansiyelini doğrulamaktadır [26].

Yakma teknolojileri ile ya da RDF üretimi gibi atıktan enerji geri kazanımı ve atıkların enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi, kombine teknolojik uygulamalarla gerçekleştirilmektedir. Özellikle gaz-plazma-yakma kombinasyonu literatürde atıktan enerji eldesinde sürdürülebilir bir yaklaşım olarak belirtilmektedir [46].

Depolama sahalarında görülen plastiklerin büyük bir kısmını PE poşetler oluşturmaktadır. Eğer PCV oranı %10'u geçmeyecek şekildeyse bu poşetlerden enerji kazanımı için hem piroliz hem de hidrojenasyon uygulanabilmektedir.

PVC 'nin beklenenden fazla olması durumunda PVC'yi PE poşetlerden veya PET, PVC, PP ve diğer plastik türlerini birbirinden ayırmak için yoğunluk ayırma yöntemi uygulanmalıdır ki mevcut teknolojide depolama sahası madenciliğinden çıkarılan bu plastik türleri için bu yöntemler kolay uygulanabilir yöntemler değildir.

RDF üretmek veya enerji kazanmak için atığı doğrudan yakmak, mevcut diğer teknolojilere bakıldığında plastik atıklar için daha pratiktir. Plastik atıklar, saman, testere tozları ve diğer yanıcı maddeler ile belli oranlarda karıştırılarak daha yüksek kalorifik değere sahip ATY'ler üretilmek için kullanılabilir. Plastik atıkların klorin ve sülfür içeriklerine bakıldığında depolama sahası madenciliğinden çıkarılan plastiklerin yakılması sonucu normal plastik atıkların yakılmasından daha fazla kükürt dioksit, HCl, dioksin vb. gibi zararlı gaz oluşmasına sebep olmamaktadır.

Yakma ve ATY üretimi kimyasal geri dönüşüm yöntemlerinden daha düşük bir sermaye ihtiyacına ve bertaraf maliyetine sahiptir [45].

Tablo 3.5 Farklı Yıllarda Depolanmış Atıkların İçerisindeki Plastik Atıkların Özellikleri

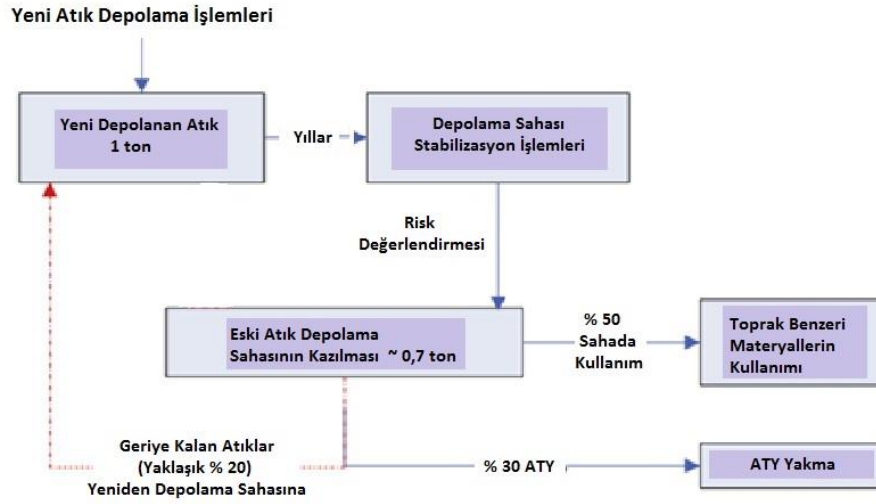
Parametre	Atıkların Depolandığı Yıl				Ortalama
	2001-2004	1997-2000	1993-1996	1989-1992	
UKM (% Kuru Madde)	87,09±1,09	87,50±0,48	87,44±0,52	86,31±3,23	87,09±0,55
Kül (% Kuru Madde)	9,70±0,75	10,39±0,26	10,76±0,48	12,50±0,93	10,84±1,19
Sabit C (% Kuru Madde)	3,21±1,84	2,10±0,40	1,79±0,76	1,19±2,36	2,07±0,85
Kalorifik Değer (MJ/kg)	44,75±1,18	43,91±2,17	42,79±3,10	41,29±2,26	43,18±1,49

Plastik atıkların fizikokimyasal özelliklerini farklı geri kazanım teknolojilerinin girdi kriterleri ile karşılaştırdığında Tablo3.5’de özetlenen şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- Depolama sahası madenciliği yapılarak çıkarılan plastik atıkların ortalama plastik içeriği kül bazında hesaplandığında ağırlıkça %85,6 olmuştur. Her hangi bir ön işlemde geçirilmemiş atıkların %68’i toprak ve %1,2’si saf plastik olurken düzenli depolama sahası madenciliğinde bu oran %10,84 olarak ortaya çıkmaktadır.
- Plastik içeriği %90’dan fazla olan atıkların ön temizleme, kurutma, parçalara kesme ve yüksek etkili temizleme tekniği de dahil olmak üzere partikül büyüklüğünün azaltılması ve yüzeylerinde kirliliğin giderilmesi için bir dizi ön işlemde geçirilmesi plastik atıkların hem mekanik geri dönüşümü hem de kimyasal geri kazanımı için temel bir gereksinimdir [45].

Organik atıklar (gıda atıkları, sebzeler, bahçe atıkları) 15 yıllık depolamadan sonra ayırt edilemez. Organik materyaller biyolojik olarak bozulur ve fraksiyon gibi afin toprağa dönüştürülür. Ayrıca kâğıt/karton gibi atıklar da zamanla bozunmaktadır. Bu durumda depolamadan 15 yıldan daha fazla zaman geçmesinin ardından yapılan karakterizasyonda değişim olmakta; özellikle zamanla plastik ve metal miktarındaki değişimler ve organik atık, kâğıt/karton ve tekstildeki daha az derecedeki değişimleri kazılan sahadan elde edilebilecek materyaller ve enerji miktarını etkileyebilmektedir [26].

Düzenli depolama sahası madenciliğinin temel fikri malzemeyi geri kazanmak ve atık depolama hacmini yeniden kullanmaktır. Bu nedenle depolama sahasında organik kısımların bozunmasının hızlandırılması atık depolama süresini ve depolama alanındaki hacim kullanım döngüsünü kısaltmak için kullanılabilir seçeneklerden biridir [48].



Şekil 3.8 Yenilenebilir Depolama Sahaları Konseptinin Şematik Gösterimi

Yeni bir kavram olarak ortaya konabilecek “yenilenebilir depolama sahası” kavramına göre; atıklar depolandıktan sonra sahanın stabilizasyonu işlemleri sızıntı suyunun uzaklaştırılması için sahaya açılan deliklerden konveyör bantlar ile atıkların taşınması, tartılması, sahaya serilerek kurutulması, materyallerin yeniden kullanılması ve kalan kısımların yeniden depolanmasını kapsamaktadır (Şekil 3.8) [48].

Depolama sahalarının madenciliğinin son yıllarda giderek yaygınlaşmasıyla atık birikiminin kademeli olarak ortadan kaldırılmasına çalışılmaktadır. Depolama sahası madenciliği ile atıkların türlerine göre ayrılması, plastik, kağıt, ahşap gibi malzemelerin enerji kazanımı amacıyla değerlendirilmesi, bazı inert malzemelerin yıkanarak veya geri dönüşüm ile yeniden kullanılması ve daha fazla kullanıma uygun olmayan kısımların yeniden depolanması işlemleri yaygın olarak gerçekleştirilmektedir. Bazı depolama sahaları diğerlerine nazaran geri kazanım faaliyetlerine çok daha uygunluk göstermektedir.

Gelecekte atıktan enerji kazanım tesislerine iletilmek üzere hazırlanan silindirik atık balyalarının geçici olarak depolanmasıyla ortaya çıkan özel depolama sahalarıdır.

Bu sahalardaki atık balyaları atığın seçici olarak toplandığı yerleşim yerlerinin özelliklerini ve depolama sahasına gönderilen evsel atıkların karakterini yansıtmaktadır. Enerji kazanımı için oluşturulan bu balyalardan üretilecek enerji miktarını üzerinde atığın özellikleri ve seçici toplamanın nitelikleri büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle preslenerek hazırlanan bu balyaların çevresel etkileri sorun oluşturduğu gibi yakma tesisleri için önemli bir engel olan atığın nemi sorununu gideremediğinden etkin bir çözüm olarak görülmemektedir.

Enerji kazanımı için balyalanacak atığın kaynağında ayrı toplanmasının doğru ve verimli bir şekilde gerçekleştirildiği yerlerde bile, enerji geri kazanımı için atık balyalarında önemli miktarda gıda atığı varsa biyo-kurutma gibi ön işleme ihtiyaç duyduğundan hala enerji kazanımı için bir sorun oluşturabilmektedir. Balyalanan atıklar içerisinde civa, klor gibi çevresel açıdan sorun olan maddeler bulunsu bile atığın ATY olarak yakılması için asıl sorun atığın sahip olduğu düşük kalorifik değerdir.

Kalorifik değerini yükseltilmesi için atık biyo kurutma tesislerinde işlenerek atık içerisinden yanamayan kısımlar, metaller ve camlar ayrılarak daha yüksek kalorifik değere sahip ATY oluşturulabilmektedir [25].

Depolama sahası madenciliğinde kazılan sahalardan elde edilen toprak malzeme ve oluşan boş hacim yapılan bazı araştırmalarda hesaba katılmış sahanın bulunduğu yere göre değişen katkıları ele alınmıştır.

3.2.3 Alan / Hacimsel Geri Kazanım

Kazılan depolama sahalarından açılan yerler “alan geri kazanımı” şeklinde değerlendirilmekte ve şehir veya endüstri uygulamalarında kullanılabileceği gibi sosyal işler (parklar gibi) için de ayrılabilir. Kazma işlemleri sonrasında oluşan boş hacimler ise “hacimsel geri kazanım” olarak değerlendirilmekte oluşan boş hacimler yeni depolama hücreleri olarak kullanılabilmektedir [46].

Almanya'da kayıtlı 100 bin eski depolama sahasından 1995-2009 yılları arasında kapatılan evsel atık depolama sahaslarından alan kazanılması potansiyeli yaklaşık 15 bin hektardır [9].

Depolama sahası madenciliğinde çıkartılan toprak değerlendirilirse kazanılan boşluk fazla olmaktadır. Yapılan bir araştırmada depolama sahası madenciliğinde çıkarılan toprak (nihai örtü ve geri kazanılmış toprak), kazılan boş hacmin % 60'ından fazlasını oluşturmuştur. Geri kazanılan toprağın depolama sahasının farklı kısımlarında günlük ve ara örtü olarak kullanılması, oluşan boşluk hacminin net olarak geri kazanılmasına neden olmuştur. Bu gibi durumlarda geri kazanılan hacmin ekonomik değeri proje maliyetinden önemli ölçüde fazla olabilmektedir. Kazılarak çıkarılan toprağın yararlı bir şekilde kullanılmaması ya da toprak içeriğinin ya da yeniden kullanımının düşük olması durumunda ise depolama sahası uygulama projeleri ekonomik açıdan uygulanmasını zorlaştırmaktadır [13].

3.2.4 Çevresel Etki

Depolama sahası madenciliği çalışmalarını mümkün olduğunca çevresel açıdan faydalı olacak şekilde planlarken hangi süreçlerin büyük olumsuz çevresel etkileri olduğunu ve hangi süreçlerin küçük veya olumsuz etkileri olduğunu ön görmek gerekmektedir. Ayrıca bir depolama madenciliği uygulaması için hangi sürecin diğerlerinden daha önemli olacağını anlaşılması önemlidir. Böyle bir bilgi, projede hangi aktörlerin/firmaların yer alacağı, hangi ayırma ve geri dönüşüm teknolojilerinin seçileceği, malzemelerin geri dönüşümü mü bertarafı mı yapılmalı gibi hassas kararların alınması esnasında depolama madenciliği uygulayacak kurum veya kuruluşlara destek olmaktadır.

Depolama sahası madenciliği çalışmalarının çevresel yönden incelenerek etkileri ortaya konulabilmektedir. Çalışmak istenilen projenin her senaryosu için çevresel değerlendirmeyi ortaya koymak için dört çevresel etki faktörü seçilmektedir:

- Küresel ısınma potansiyeli (CO₂ eşdeğer emisyonları)
- Asidifikasyon (SO₂ eşdeğer emisyonları)
- Ötrofikasyon (PO₄ eşdeğer emisyonları)
- Fotokimyasal oksidasyon (C₂H₄ eşdeğer emisyonları).

Genellikle Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) çalışması, çalışılan her bir çevresel etki faktörü için bir final sonucu sağlayarak sonuçlandırılmaktadır.

Çalışmada ortaya çıkabilecek tüm belirsizlikleri hesaba katmak için, nihai sonuç üzerinde bir duyarlılık analizi yapılmaktadır. Yapılan bir çalışmada sonuçlar Monte Carlo Simulation'da 50.000 kez çalıştırılmış ve 50.000 kez çalıştırılan simülasyon, her bir rastgele seçilen numunenin tüm input parametreleri için çalıştırılarak oluşturulmuştur. Böylelikle kullanılan model alıcıya tek ve basite indirgenmiş bir cevap vermemekte; aksine sonuçlar her senaryo için her bir çevresel faktör açısından kümülatif olasılık dağılımları şeklinde ortaya konmaktadır [8].

Belirsizlikler genel olarak iki farklı tiptedir: "senaryo belirsizlikleri" ve "parametre belirsizlikleri". Senaryo belirsizlikleri, bir senaryoya hangi parametrelerin ekleneceğiyle ilgilidir. Senaryoda kullanılan ayırma tesisi tipi, ayrılan materyal kategorileri, yakma ve enerji geri kazanımı yapıp yapılamayacağı depolama madenciliğindeki senaryo belirsizliklerindedir. Parametre belirsizlikleri ise, senaryolarda yer alan parametrelerin gerçek değeri ile ilgilidir. Örneğin bir depolama sahasında herhangi bir malzemenin ne kadar bulunduğu, bu malzemenin ne kadarının depolama alanında veya ayırma tesisinden ayrılacağı bu parametrelerden birkaçıdır.

Yaklaşım, beş ana tipe ayrılabilen bir dizi potansiyel kullanım alanına sahiptir:

- Strateji potansiyelini değerlendirmek (örneğin, bir bölge veya ülkedeki depolama sahası madenciliğinin genel potansiyeli nedir)
- Birden fazla depolama madenciliği girişiminin değerlendirilmesi (yani, birden fazla depolama alanları durumunda hangisinin en iyi çevresel potansiyele sahip olduğu)
- Bir depolama madenciliği girişimi için senaryo farklılıklarına göre değerlendirilmesi (örneğin hangi senaryonun yapılması gerektiği);
- Parametrelerin değerlendirilmesi (örneğin seçilen senaryonun nasıl yapılması gerektiği)
- Hâlihazırda tamamlanmış bir projenin değerlendirilmesi (örneğin farklı ne yapıldı, ya da sonuç ilk değerlendirmeye nasıl karşılık verdi) [8]

Farklı modeller kullanılarak yapılacak depolama sahası madenciliğinin çevresel etkileri spesifik olarak raporlanabilmektedir.

Avrupa'daki eski depolama sahalarının yeniden metal hammadde kaynağı olarak kullanılması amacıyla depolama sahası madenciliği yapılacak sahanın seçiminde çevresel etkiler de göz önüne alınarak değerlendirilme yapılmıştır. Örneğin Avusturya'da üç eski depolama sahasından metal ve değerlendirilebilir malzemelerin çıkarılması için yapılan araştırma GEMIS (Global Emissions Model for Integrated Systems) emisyon modeli uygulanarak depolama sahalarındaki metal potansiyeli, üretim için gerekli kümülatif enerji ihtiyacından tasarruf ve sera gazı emisyonlarından azaltım açısından ele alınmıştır [42].

Tablo 3.6 Sağlanacak Enerji Tasarrufu ve Emisyon Azaltım Miktarı

	Kümülatif Enerji Tasarrufu Miktarı [GJ]	Azaltılan Sera Gazı Emisyonu Miktarı [ton]
Alüminyum	6.931	734
Bakır	6.159	867
Demir	89.866	15.595
Ahşap	133.269	21.745
Değerlendirilebilir Malzeme	756.457	54.413
Toplam	992.682	93.355

Analiz sonuçlarına göre seçilen eski evsel atık depolama sahasının kazılmasıyla elde edilecek metallerin ve değerlendirilebilir malzemelerin kümülatif enerji ihtiyacından sağladığı tasarruf Tablo 3.6'da görüldüğü üzere 992 bin GJ olup bu hammaddelerin geri kazanılmasıyla sera gazı emisyonlarında gerçekleşecek azaltım miktarı ise 93 bin ton CO₂ olarak hesaplanmıştır [42].

Ekonomik Analiz ve Değerlendirme

Bir depolama sahası madenciliği projesinin ekonomik geçerliliğini önemli ölçüde etkileyen faktörler, kazılmış atıkların niteliği ve son kullanımı, birim geri kazanım maliyeti (kazılan m³ başına) ve çevresel kontrollerin uygulanması maliyetidir.

Belirli bir ekipman ve operatör grubuyla elde edilebilecek atık kazı ve işleme oranı, depolama sahası madenciliği maliyetini önemli ölçüde etkileyen temel faktördür. Örneğin yapılan bir depolama sahası madenciliği çalışmasında atık kazılarak çıkarılması ve atık ayırma oranı (tambur elekte) şu şekilde tespit edilmiştir: Üç ekskavatör, üç damperli kamyon ve 7,6 cm'lik delik aralığına sahip tambur elek kullanılarak günde 840 m³ atık çıkarılabilmektedir. Çalışmada tambur elek seçilmesinin nedeni kazılan atıklardaki toprağı bir sarsak elek ile ayırmadan daha etkili olmasıdır. Bu bakımdan atık ayırma için bir elek seçmeden önce elek özellikleri kritik bir şekilde değerlendirilmelidir.

Depolama sahası madenciliği maliyeti tahmin edilirken, atıkların elenerek ayrılması ve taşınması gereken atık miktarını hacimsel olarak artacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Sıkıştırılarak depolanan atıklar kazılıp çıkarıldığında şişeceğinden bu durum dikkate alınmalıdır. Kamyon yükü sayıları ve kamyon kapasitesi ve yerinde hacim tahminlerine dayanarak, atık şişme faktörünün yaklaşık 1,5 olduğu tahmin edilmektedir. Tahmin edilen atık şişme faktörü toprak benzeri mateyaller için belirlenen faktörden önemli ölçüde daha büyük olmaktadır.

Eğer çalışılan depolama sahası yalnızca evsel atıkların depolandığı ve atık karakterizasyonunun gerçeğe yakın olarak tespit edildiği bir sahaysa toplam depolama sahası madenciliği maliyetleri başlangıçta tahmin edilenden daha düşük gerçekleşebilir.

Çünkü özel bir işlem yapılmasını gerektirmeyen tehlikeli atık veya asbest içeren malzemeler gibi beklenenden farklı türde atık ile karşılaşılması; koku, toz, sızıntı suyu ve yağmur suyu yönetimi gibi çevresel sorunlara değinmek için minimum kontrollere ihtiyaç duyulması tahmini maliyetlerin daha düşük seviyede gerçekleşmesine sebep olacaktır [13].

Depolama sahası madenciliği sadece belirli koşullar altında ekonomik olarak uygulanabilir:

- Saha iyileştirmelerine alternatif olarak depolama madenciliği giderleri tercihen şehir temizliği fonlarından karşılanabilir ise;
- Kentsel gelişimi engelleyen yatırımların kaldırılması için;
- Atık yakma tesislerinin tam kapasite çalışmasını sağlamak üzere ek atık yakıtın temini için;
- Yasal izin süreçlerini kolaylaştırmak bakımından mevcut sahaları ve altyapıyı kullanarak yeni depolama alanı oluşturmak için [16].

Bu nedenle depolama sahası madenciliği çalışmalarına başlamadan önce verilerin elde edilmesi için aşamalı bir proje modeli önerilmiştir:

- Adım 1: Bir haritadan konum ve mesafe verileri elde edin; depolama madenciliği projesine katılmak isteyen yerel hükümet yetkilileri ve şirketlerle yapılan görüşmeler ile depolama sahası hakkında temel bilgileri edinin.
- Adım 2: Yerel planları ve uluslararası referansları toplayın ve hafriyat analiz yazılımını kullanarak depolanan atık miktarını analiz edin ve çalışılan depolama sahasının sınırları, alanı, yüksekliği ve derinliği hakkında veri toplayın.
- Adım 3: Depolama sahasını ziyaret edin ve geri kazanılan malzemelerin ve RDF'lerin fiyatını, farklı ekipman türleri için yerel kiralama ve ulaşım mesafesinin yerel maliyetini ve ücretlerini belirlemek için yerel paydaşlarla yapılan görüşmeleri tamamlayın.
- Adım 4: Depolanmış atık örnekleme ve laboratuvar analizi de dahil olmak üzere saha araştırması yapın [46].

Depolama sahalarının yeniden kazılarak işlenmesi çalışmalarının ekonomik fizibilitesini çıkarabilmek için önerilen bir modelde 8 maliyet indikatörü ve 9 fayda indikatörü teklif edilmiştir. Model, dört depolama sahası madenciliği senaryosu oluşturularak ve saha verilerine dayanılarak analiz edilmiştir. Depolama sahası madenciliğinin ekonomik fizibilitesi Net Bugünkü Değer (NBD) indikatörü kullanılarak değerlendirilmiştir.

Çin'deki eski bir depolama sahasının (Yingchun Depolama Sahası) tipik yöntemler ile kazılması ve işlenmesi çalışmalarında depolama sahası madenciliğinde en önemli üç maliyet olan kazı ve taşıma ekipmanı kiralari, atığın işlenmesi, çıkan malzemelerin taşınması maliyetlerinin toplam maliyetin %88,2'sini oluşturduğu ve depolanan birim atığın ortalama maliyetinin ton başına 12,7 \$ olduğu ortaya çıkmıştır. Depolama sahası madenciliğinin en önemli üç kârı ise yakma yoluyla elde edilen elektrik enerjisi, sahanın ıslahı ve toprak benzeri malzemenin geri dönüşümüdür. Dört farklı senaryonun NBD analizleri göstermiştir ki Yingchun Depolama Sahası Madenciliği Projesi ile 1,92 milyon \$ ile 16,63 milyon \$ arasında değişen net gelir elde edilebilir. Bununla beraber NBD, sahanın yeniden kullanım tipine, enerji geri kazanım tesislerinin erişilebilirliğine ve sahanın kapama sonrası bakımından kaçınmak için ortaya konulan finansal destek alma imkânlarına karşı hassas olduğu anlaşılmıştır.

Depolama sahası madenciliği projeleri ele alınırken yalnızca NBD üzerinden değerlendirme yetersiz kalmaktadır. Bu modelin geliştirilerek bir adım daha ileri götürülmesi amacıyla ve projeler ile ilgili kararların daha net verilebilmesi ve depolama madenciliği projelerinin en iyi pazarlama fırsatlarını belirlemek üzere Fayda-Maliyet Analizi (Cost-Benefit Analysis-CBA) ile Çok Kriterli Analiz'in (Multi Criteria Analysis-MCA) kombinasyonu olan bir yöntem ortaya konmuştur. Toprak iyileştirilmesi, atıktan enerji ve atıktan materyal geri kazanımındaki faydalar dâhil depolama madenciliğindeki kazı, ayırma, ön işlem, yakma ve diğer muhtemel yöntemlere ait maliyetleri tahmin etmek amacıyla Fayda-Maliyet Analizi bir simulasyon aracı olarak tasarlanmıştır.

Ayrıca depolama madenciliği ve depolama sahalarının rehabilitasyonunun sosyal faydalarını da ortaya koyma amacıyla Koşullu Değerleme Yöntemi (Contingent Valuation Method-CVM) kullanılmıştır [46].

Depolama madenciliği ve materyal-enerji geri kazanımı prosesleri ile ilgili ekonomik göstergeler yapılan çalışmalarda tespit edilmiş olup maliyetler için sekiz gösterge ve faydalar için dokuz gösterge Tablo 4.1'de belirtilmiştir [46].

Tablo 4.1 Depolama Madenciliğinin Fayda-Maliyet Analizinin Genel Çerçevesi

Maliyetler		Faydalar	
Sermaye Giderleri	Sahanın hazırlanması (C1)	Saha ve yer iyileştirmeleri	Şehir planlamada kullanılacak alan olarak fayda (B1)
	Kazı ve taşıma ekipman kiralamaları ya da satın alması (C2)		Kazanılan boşluk alanlar (B2)
	Ayırma ve sınıflandırma ekipman kiralamaları ya da satın almaları (C3)	Geri dönüşebilen malzemeler	Geri dönüştürülmüş toprak benzeri malzeme ve organik gübre (B3)
	Materyal hazırlama sistemlerinin kurulması ya da genişletilmesi (C4)		Yapı malzemesi olarak kullanılacak geri dönüştürülmüş inşaat atıkları ve taş benzeri malzemeler (B4)
		Geri dönüştürülmüş metal ve camlar (B5)	
İşletme Giderleri	İşe başlamadan yapılan araştırma giderleri (C5)	Enerji kazanımı	Atık plastiklerden elde edilen ATY'ler (B6)
	Atık işleme (kazı, ayırma ve sınıflandırma) giderleri (C6)		Atık plastiklerin ya da diğer yanabilen malzemelerin yakılmasıyla elde edilen elektrik ya da ısı (B7)
	Malzeme taşıma giderleri (C7)	Kapanmış sahanın bakım masraflarından gelen kazanımlar	Sızıntı suyu toplama ve arıtma masraflarının olmaması (B8)
	Nihai bertaraf edilen atık giderleri (C8)		Depolama gazı emisyonlarının olmaması (B9)

Depolama madenciliği işleminden sonra kazanılan alan eğer şehir planlamasında veya endüstriyel park gibi amaçlarla kullanılacaksa B1 ile ifade edilen “şehir planlamada kullanılan alan olarak fayda” dikkate alınacaktır.

Aksi takdirde kazılan saha yeniden depolama alanı olarak kullanılacaksa B2 ile ifade edilen “kazılan boşluk alanlar” hesaplanmalıdır.

Şehirde atık yakma tesisi ya da enerji üretim tesisi varsa “Elektrik ve ısı üretiminden sağlanacak fayda (B7)” hesaba katılacak ancak yanabilen atıklar atıktan türetilmiş yakıt (ATY) kullanabilen tesislere verilecekse “atıktan türetilmiş yakıt olarak sağlanan fayda (B6)” dikkate alınacaktır.

Oluşturulabilecek senaryolar:

- Senaryo 1 (MAX): Kazılan saha, şehir ve endüstri planlamasında kullanılır ve yüksek yanma ısısına sahip materyaller yakılarak elektrik enerjisi üretilir ve toplamda en yüksek faydaya sahip senaryo elde edilebilir.
- Senaryo 2 (MID-1): Depolama madenciliği işleminden sonra, eski depolama sahasından kalan boş alan yeni depolama sahası hücresi olarak kullanılmak üzere geri kazanılır ve yüksek kalorifik değeri olan malzeme atık yakma tesisinde yakılarak elektrik enerjisi üretilir.
- Senaryo 3 (MID-2): Kazılan saha, şehir ve endüstri planlamasında kullanılır ve yüksek yanma ısısına sahip materyaller ATY üretimi için hammadde olarak kullanılır.
- Senaryo 4 (MIN): Depolama madenciliği işleminden sonra, eski depolama sahasından kalan boş alan yeni depolama sahası hücresi olarak kullanılmak üzere geri kazanılır ve yüksek kalorifik değere sahip malzeme, ATY üretmek için hammadde olarak kullanılır. Bu senaryo toplamda asgari fayda elde edilen senaryodur.

Depolama madenciliğinin pazar potansiyelini ve ekonomik fizibilitesini değerlendirmek için net bugünkü değeri (NBD) indikatör olarak ele alındığında NBD aşağıdaki gibi formülize edilmiştir:

$$NBD = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + i_s)^t}$$

B_t : t yılına kadar olan toplam fayda

C_t : t yıllık toplam maliyet

n: Yıl bazlı hesaplanmış proje süresi

i_s : Sosyal indirim oranı (Devlet tarafından sağlanan teşvik oranı)

- NBD > 0 ise: Proje hali hazırdaki beklentileri karşılayacak ve dahası pozitif bir fayda ile tamamlanacak;
- NBD = 0 ise: Proje hali hazırdaki beklentileri karşılayacak,
- NBD < 0 ise: Proje hali hazırdaki beklenilenden daha az fayda sağlayacak anlamlarına gelmektedir.

Dört senaryoya ait NBD, 0'dan yüksek olurda depolama sahası madenciliği projesinin beklenenden daha yüksek bir faydaya yol açacağı ön görülmektedir. Çin'de yapılan çalışmada devletin çevre yatırımlarına uyguladığı sosyal indirim oranı % 8 alınarak dört senaryo için hesaplanan NBD sıfırdan büyük olarak bulunmuştur. NBD, arazi ıslahı ve elektrik üretiminden gelen faydalara karşı hassasiyet gösterdiğinden MIN senaryosu için, NBD sadece 1,92 milyon \$ olmuş ve MAX senaryonun NBD'i 16,63 milyon \$ olarak MIN senaryonun 8,66 katı şeklinde hesaplanmıştır. Elektrik üretiminin (B7) yararı her yıl için hesaplanan NBD'in en önemli faktörü olup sonuçlara göre birinci ve ikinci yıllar için MIN ve MID-1 senaryolarının NBD'i MAX ve MID-2'den çok daha fazla düşüktür [46].

Depolama sahası madenciliği başlangıçta daha çok yer tasarrufu sağlama ve kapatılan atık depolama sahalarının bakımı ve işletilmesi giderlerinin azaltılması amacıyla yapılmaktayken daha sonraları İsveç, Almanya, Hollanda gibi atıkların yakma tesislerine taşınması için ton başına 53 ila 106 € ödenen ve yakma tesislerini tam kapasite çalışmasına ihtiyaç duyulan ülkelerde atık gereksinimlerini karşılamak üzere yürütülmeye başlanmıştır [16].

Avrupa'da depolama sahası madenciliği faaliyetlerini gerçekleştiren şirketlerin genellikle bir "satış pazarı" içinde olduğu gibi, projelerin başlatılmasında oldukça pasif davrandığı görülmüştür. Proaktif bir piyasa yaklaşımı ile depolama sahası madenciliği yapacak şirketin bulunabilmesi aktif keşif ve pazar fırsatlarının sıkı bir şekilde taranması ile gerçekleştirilmesi mümkündür [39].

Bir fayda-maliyet analizi (FMA)(=cost-benefit analysis (CBA)) metodolojisi, gelecekte depolama sahası madenciliği yapılacak atık depolama sahalarının seçimi için hızlı bir tarama işlemi tasarlamada bir araç olarak kullanılabilir. Fayda-maliyet analizi yöntemine göre, bir projenin ilgili maliyetleri ve faydaları tanımlanarak ölçülmektedir. Projelere ait fayda ve maliyetler listelendikten sonra projeler karşılaştırılarak uygulama açısından optimum proje veya projeler seçilmektedir. Karar vericilere en iyi çözümü seçmek için kriterleri belirleme ve değerlendirme konusunda yardımcı olan bir diğer araç ise "Çok Kriterli Analiz" (ÇKA)(=multi criteria analysis-MCA) sistematik yaklaşımıdır.

FMA proje özelliklerini tek bir finansal boyuta bağlamaya çalışırken ÇKA proje özelliklerinin derecesini çoklu boyutlara göre varsayarak birden fazla bakış açısıyla doğru yaklaşımı buldurmaya çalışmaktadır [39].

Depolama sahası madenciliği projelerinde ortaya çıkabilecek faydalar iki ana kategoriye ayrılır: depolama alanlarının daha verimli çalıştırılması ile ilgili faydalar ve geri dönüştürülebilir malzemelerden ve geri kazanılan arazilerden kaynaklanan faydalar. Diğer taraftan maliyetler ise yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri şeklinde ikiye ayrılmaktadır [39].

Madencilik projelerine göre kıyaslandığında depolama sahası madenciliği ve saha iyileştirme projelerinde ortaya çıkan fayda ve maliyetler tesise özgüdür. Diğer taraftan spesifik bir madencilik projesinde fayda ve maliyetlerin herhangi biri ya da tümü ön görülebilmektedir.

Araştırma maliyetlerinin depolama sahası madenciliği maliyetlerine katılmaması bu projeleri avantajlı gibi gösterebilmektedir [39]. Depolama sahası madenciliği normal bir madencilik çalışmasından farklı olarak materyal kazanımına değil sahanın ıslahına, çevresel etkilerinin azaltılmasına ve sahanın yeniden kullanılmasına odaklanmaktadır [12]. Depolama sahalarını işleten yönetimler bu tür projeleri uygulamak için kendi araştırma ve geliştirme potansiyelini kullandıktan sonra depolama sahası madenciliğine yönelik proaktif bir piyasa yaklaşım sergileyebilir ve bu durum projelerin uygulanması için depolama sahalarının özel şirketlere satılmasını da beraberinde getirebilir [39].

Depolama sahası madenciliği projelerinde ortaya çıkan genel gider ve gelirler, Tablo 4.2'de belirtilmiştir.

Tablo 4.2 Depolama Sahası Madenciliğinde Genel Gelir ve Gider Kalemleri

Gelir Kalemleri	Gider Kalemleri
Değerlendirilebilir Malzemelerin Satışı	Planlama ve Araştırma Harcamaları
Elde Edilen Sahadan Kazanılan Alanın Artan Değeri	Sahanın Kazılması İçin Yapılan Maliyetler
Sızıntı Suyu Arıtımı Yapılmadığından Oluşan Dolaylı Kazanç	Atık İşleme Giderleri
Depolama Sahası Hacminin Geri Kazanımı	Taşıma Giderleri
Depolama Sahası İçin Kapatma Sonrası Bakım Maliyetlerinin Azalması	CO ₂ -Emisyonları
Subvansiyonlar	Atık Geri Dönüşüm İşlemleri İçin Yapılan Masraflar
CO ₂ -Sertifikası	Geriye Kalan Atıkların Bertarafı İçin Gerekli Harcamalar

4.1 Giderler

Projelendirme ve planlama giderleri, sahanın işletme giderleri, enerji giderleri, numune alma, analizler, cihazlar ve diğer giderler depolama sahası madenciliği projelerindeki temel gider kalemleridir. Her ne kadar ön araştırma ve projelendirme için maliyetler birçok araştırmada göz önünde bulundurulmasa da aslında depolama sahası madenciliği için önemli bir yer tutabilmektedir.

Örneğin, yapılan bir çalışmada depolama sahası içeriğinin gerekli laboratuvar analizinin yapılması, dönüm başına yaklaşık 2.000 € kadar olduğu tahmin edildiği ortaya çıkmıştır. (1 dönüm = 0,4047 ha). Yerel düzenlemelere, ekonomik kalkınma programlarına vb. aşına olmak için yapılan veri toplama maliyetleri de önemli yer tutabilmektedir. Bu nedenle, daha az maliyetli ve zaman alıcı bir araştırma metodolojisi gerekmektedir [39].

Hollanda'da Noord-Brabant Eyaletinde gerçekleştirilen bir pilot çalışmada 147 depolama sahası için araştırma projesi yürütülmüştür. Araştırma çalışması neticesinde 7.000 € 'luk bir maliyetle başlangıç seti iki haftadan kısa sürede iki depolama sahasına indirilmiştir.

Depolama sahası madenciliği uygulamak için uygun olan iki aday sahanın seçimi yaklaşık 1,5 hafta sürmüştür. Hesaplanan 7.000 €'luk toplam maliyet bu süre göz önüne alındığında 100 €/saat olarak gerçekleşmiştir [39].

Tablo 4.3 Depolama Sahası Madenciliği Araştırma Projelerinde Alternatif Eleme Modeli.

Adım	Araştırma Tipi	Kullanılan Göstergeler	Harcanan Zaman	Araştırma Maliyeti [€]	Saha Sayısı
0	Masa başı araştırması	Bölgeyi tanıma	16 saat	1.600	147
		Arazi parçaları			
		Geri kazanılabilir malzeme gelirleri (Bölgedeki) Destekleyici makam			
1	Masa başı araştırması	Depolama sahasının konumu: Kırsal/Yerleşim Bölgesi	3 saat	300	147 ->> 76
		Depolama sahasının konumu: İnşa alanına uzaklık	2 saat	200	76 ->> 41
		Geri kazanılabilir malzemeler: İnşaat ve yıkıntı atıkları miktarı	1 saat	100	41 ->> 9
2	Masa başı araştırması	Fayda/Maliyet Analizleri: – Araştırma maliyetleri – Madencilik maliyetleri – Geri kazanılamaz atıkların maliyetleri – Geri dönüşüm atık gelirleri – Geri kazanılan sahadan elde edilen gelirler	16 saat	1.600	9 ->> 4
3	Sahada Laboratuvar da	Saha kontrolleri	(2 gün) (2 kişi) 32 saat	3.200	4 ->> 2
4	Gelişmiş ayrıntılı araştırma.				

Depolama sahası madenciliği için alternatiflerin değerlendirilerek uygulanabilir proje üretmek amacıyla oluşturulan bu alternatif eleme modeli Tablo 4.3'te özetlenmiştir. Uygulama projesinin maliyetleri, bir depolama sahasının içeriğinin ayrıntılı bir araştırması ile ilgilidir. (Tablo 4.3'te 4. adım). Bu iki depolama sahasının tam olarak tüm yönleriyle incelenmesinin yaklaşık olarak 10 hafta daha sürmesi ve yaklaşık 20.000 € 'luk bir maliyete neden olması ön görülmüştür.

Araştırma sonuçlarına göre depolama sahası madenciliğinin maliyetlerinin dönüm başına 2.000 € olduğu tahmin edilmektedir. Varsayılan faydalar ise geri kazanılan arazi ve geri dönüştürülebilir malzemelerden gelen kazançlardır. Geri kazanılan arazinin tahmini değerleri 200.000 €/dönüm ile 1.200.000 €/dönüm arasındadır. Geri dönüştürülebilir malzemelerin toplam faydaya öngörülen katkıları ise % 1-30 seviyesindedir [39].

Tüm bu 147 depolama alanı tamamen araştırılsaydı, araştırma şirketlerinin diğer değişkenlerinin yanı sıra, araştırma birimlerinin kullanılabilirliğine ve kapasitesine bağlı olarak, araştırmanın tahminen iki yıl süreceği ve olası maliyetlerin 1.820.000,00 € kadar tutacağı tahmin edilmektedir [39].

Depolama sahası madenciliği projelerinde atığın sahadan kazılarak çıkartılması, elenmesi, farklı partikül boyutlarına getirilmesi gibi atık işleme proseslerinin maliyetleri projenin uygulanacağı depomla sahasına özel olarak hesaplanmaktadır.

Avusturyada yapılan çalışmada depolama sahası madenciliğinde atıkların kazılarak çıkarılması maliyeti m³ başına 16,85 € olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda en dikkat çekici kısım çıkarılan metallerin satışından elde edilen gelir, yanabilen malzemelerin ve ek yakıt olarak kullanılacak malzemelerin hazırlanması için yapılan maliyetleri neredeyse karşılayabilmektedir [42].

Depolama sahası madenciliğinin genel olarak ekonomisi, çıkarılacak değerlendirilebilir malzemeleri işleme maliyetlerine ve çıkarılacak metallerin veya geri dönüşebilir malzemelerin depolama sahasında bulunma potansiyeline bağlıdır. Diğer taraftan eğer yeni bir depolama sahasına ihtiyaç varsa yeni depolama sahasının oluşturulması için 40 €/m³'ten fazla maliyet yerine depolama sahası madenciliği kullanılarak aynı yerde bir depolama alanı maliyeti 30-40 € olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ihtiyaç duyulan depolama sahası miktarı yarı yarıya azaltılmış olmaktadır [42].

4.2 Gelirler

Depolama madenciliği projelerini uygulamaya en önemli motivasyon ham madde geri kazanımına doğru artan meyildir. Depolama sahası madenciliği için diğer motivasyonlar ise depolama alanı eksikliği, sahaların getirdiği kirlilik sorumluluğu, yasal düzenlemelerin uygulanması için gerekli maliyetlerin artması ve depolama sahalarından materyal geri kazanımı ve enerji üretimi gibi depolama sahası madenciliğinden gelen faydalardır [39].

Depolama sahası madenciliğinde başlıca gelirler şunlardır:

- Geri Dönüşebilen Materyallerin Satışı
- Enerji Kazanımı
- Kompost Satışı
- Boşaltılan Alanın Yeniden Kullanımı

Elde edilecek gelirlerin iyi tahmin edilemsi depolama shası madeniliği projelerinin uygulanabilirliğini ortaya koymak açısından önem arz etmektedir. Gelir-gider dengeleri ve NBD hesaplamaları uygulama projelerinde seçilecek yöntemleri belirlemekte önemli kriterlerdir. Örneğin Çin'de yapılan bir depolama sahası madenciliği projesinde projenin toplam maliyeti 6.34 milyon \$ olarak hesaplanmış; projenin toplam faydası arazinin yeniden kullanımı için 24.91 milyon \$ enerji geri kazanımı için 8.44 milyon \$ olarak bulunmuştur. Arazinin yeniden kullanımı ve enerji geri kazanımı şeklinde farklı yaklaşımlara dayalı olarak hesaplanan bu gelir miktarları bu düzenli depolama sahası madenciliği projesinin maksimum ve minimum toplam faydalarını oluşturmaktadır [46].

Yine aynı şekilde kullanılacak teknolojinin seçimi de NBD hesaplamasında oldukça etkindir. Örneğin atıktan enerji teknolojisi olarak uygulama projesinde yalnızca yakma veya ATY üretimi ele alındığında ortaya çıkan NBD, gazifikasyon, piroliz gibi daha yüksek kaliteli enerji ürünlerine dönüşen teknolojiler kullanıldığında daha yüksek NBD elde edilmesine sebep olabilir [46].

Giderlerde olduğu gibi depolama sahası madenciliği projelerinin gelirlerini hesaplanmasında da belirsizlikler söz konusudur. Özellikle projeleri uygulayıcı ticari bir geri dönüşüm şirketi veya bir belediye gibi bir aktör için, bir depolama madenciliği projesinin yürütölüp yürütölmeyeceğine karar verirken dikkate alınması gereken bu belirsizlik seviyelerinin önceden ön görölerek dikkate alınması gerekmektedir. Literatürde depolama sahası madenciliği projeleri ile ilgili dört ana belirsizlik çeşidi sıralanmıştır: depolama sahasındaki atık bileşimi, materyal geri kazanımı için kullanılan atık işleme teknolojilerinin verimliliği, depolama alanlarından geri kazanılan malzemeler için pazarlar ve kazılan sahalardan kaynaklanan çevresel ve sağlık riskleri [8].

Gelirlerin hesaplanmasında dikkate alınacak bu belirsizlikler ile depolama sahası madenciliği projelerinin gelirleri hesaplanarak NBD değerlendirilebilmektedir. Uygulama projelerinin yaygınlaşması depolama sahası madenciliği çalışmalarının ham madde ve enerji kaynağı olarak ele alınmasına neden olacaktır. Bu bağlamda yapılan araştırmalara göre Almanya'da kapatılan depolama sahalarının enerji potansiyeli tüm ülkenin bir yıllık enerji ihtiyacının %58'ini karşılayabilmektedir [12].

4.3 İstanbul'daki Mevcut Düzenli Depolama Sahaları

Depolama sahası madenciliği yürütölecek sahanın seçilmesi amacıyla aşığıdaki adımlar takip edilerek alternatifler arasında en verimli olarak öne çıkan proje seçilebilir:

- Potansiyel sahaların kapsamı belirlenmeli
- Literatür araştırmaları ile kalitatif olarak sahadaki hammadde potansiyelinin tespiti yapılmalı
- Sahada öngörölen hammadde miktarlarının belirlenmeli
- Sahadan kazanılacak hammaddelerin türlerine göre pazar paylarının hesaplanarak pazar gelişimlerinin izlenmeli
- Sahadan çıkarılan hammadde potansiyelleri için bir ekonomik model geliştirilmeli

- Enerji dengelerine göre sahadan çıkarılan hammadde potansiyellerinin enerji geri kazanımı şeklinde değerlendirilmeli
- Sahadan çıkarılan hammaddelerin endüstride kullanılması için türlerine göre ayrılması ve endüstrideki kullanım potansiyelleri tespit edilmeli
- Mevcut ulusal ve uluslararası strateji belgeleri incelenerek proje için ana stratejiler ve yol haritası türetilmeli [19]

Bu metodolojiler takip edilerek İstanbul'da uygulanabilecek bir depolama sahası madenciliği projesi için aşağıdaki iki unsuru ayrıntılı bir şekilde raporlanması gerekmektedir:

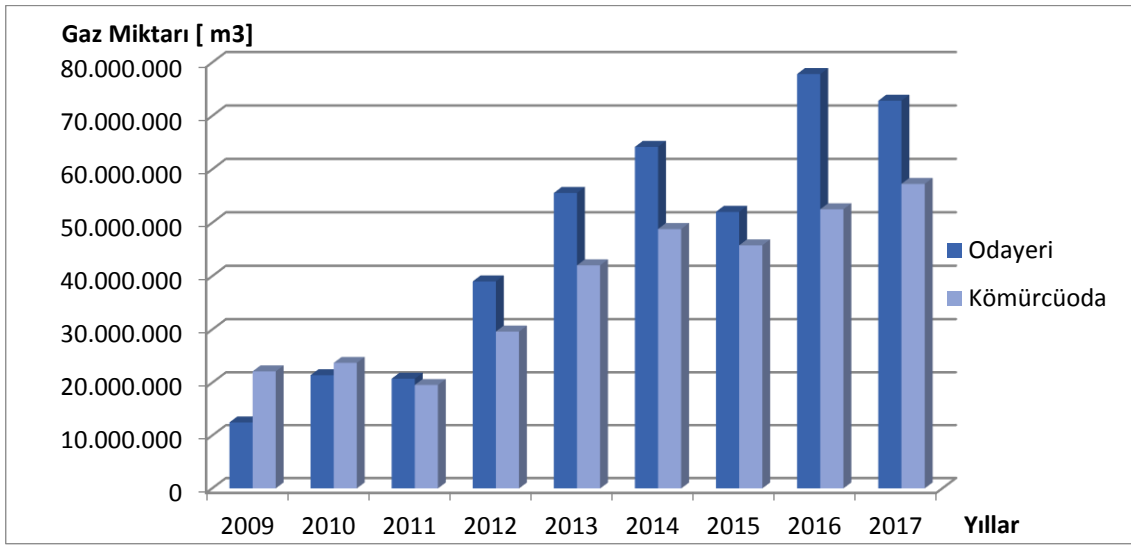
- Depolama sahası madenciliği projesi ile ilgili maliyet ve faydaların sınıflandırılması.
- Depolama sahası madenciliği projesi kurmak için çok adımlı bir yaklaşım ile bir dizi alt proje uygulamalarının geliştirilmesi [39].

Depolama sahası madenciliği maliyetlerini sınıflandırırken aynı zamanda madencilik işlemleri maliyetlerini kapsayacak şekilde ve farklı saha seçenekleri için farklı jeolojik koşulları, kalifiye tesisleri ve personeli dikkate alıp kategorilere halinde genel bir şekilde tarif edilmesi, proje uygulama çalışmasının esnekliğini garanti etmektedir.

Eski vahşi depolama sahasının rehabilite edilmesiyle kurulan Hasdal (Eyüpsultan) sahasında 2001-2017 yılları arasında çöp gazından elektrik enerjisi üretilmiş ancak mevcut durumda sahadan gaz çıkışı durmuştur.

Odayeri Düzenli Depolama Sahasında ise 1995-2017 yılları arasında evsel atıklar depolanmış ve sahaya 1 Ocak 2018'den itibaren atık kabulü durdurulmuştur. Bu bağlamda mevcut durumda LFG tesisinde enerji üretimi devam etmektedir ancak sahaya atık kabulü durdurulduğu için oluşan çöp gazının miktarında azalma beklenmektedir. Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası 1995 yılından itibaren aktif olarak evsel atık düzenli depolama sahası olarak kullanılmaktadır. Mevcut durumda LFG tesisinde giderek artan çöp gazı oluşumu beklenmekte ve çöp gazından enerji üretiminin devam etmesi öngörülmektedir.

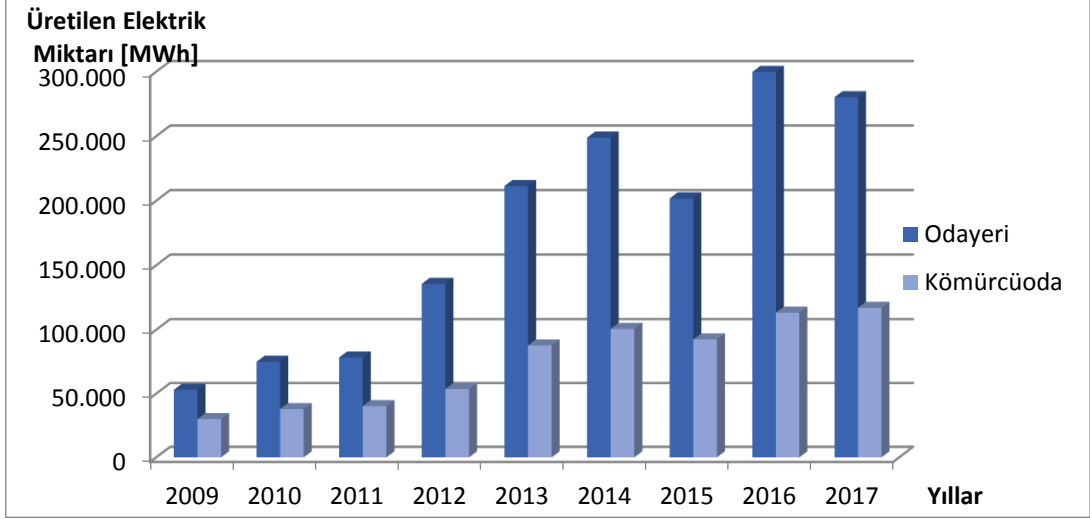
Son olarak 2017 yılından itibaren aktif olarak evsel atık depolanmasına başlanılan Seymen Düzenli Depolama Sahasında mevcut durumda çöp gazından enerji üretilmemektedir. Ancak 2019 yılından itibaren LFG tesisinin faaliyete geçmesi planlanmakta ve 2046 yılına kadar çöp gazından elektrik enerjisi üretilmesi ön görülmektedir. Bu bağlamda mevcut LFG tesislerinden Odayeri LFG tesisindeki oluşan çöp gazındaki azalışın başladığı ve Kömüroda LFG tesisine gelen çöp gazı miktarının artarak devam ettiği Şekil 4.1 Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.'de görülmektedir.



Şekil 4.1 İstanbul'da Bulunan Atık Depolama Sahalarında Oluşan Çöp Gazının Yıllık Miktarları

Sahalarda oluşan çöp gazının tamamı elektrik enerjisine çevrilmediğinden aynı durum elektrik enerjisi verileri için geçerli değildir. Sahalarda üretilen enerjinin miktarı oluşan çöp gazı kadar kullanılan elektrik motoru sayısına da bağlıdır.

Bu bakımdan LFG tesislerinde üretilen enerjinin yıllara göre değişimi Şekil 4.2 Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.'de gösterilmiş olup her iki tesiste üretilen enerji miktarındaki fark, oluşan çöp gazındaki değişime benzer olarak beklendiği gibi gerçekleşmemiştir.



Şekil 4.2 İstanbul'da Bulunan Atık Depolama Sahalarında Oluşan Çöp Gazında Üretilen Elektrik Enerjisinin Yıllık Miktarları

Depolama sahası madenciliğinde önemli bir kazanım da depolama sahasının kazılmasının ardından oluşan boş hacimdir. İstanbul'daki sahaların mevcut durumları Tablo 4.4'de gösterilmektedir. İstanbul gibi sürekli gelişen ve değişen bir şehirde atıkların depolanmasına uygun saha bulunması özellikle 2030'dan sonraki süreçte önemli bir sorun arz edecektir.

Tablo 4.4 İstanbul'daki Düzenli Depolama Sahalarında Depolanmış Atıkların Miktarları.

2018	Ölçü	Odayeri	Kömürcüoda	Seymen
Toplam Alan	Ha	260	233	226
Boş Alan	Ha	110	114	90
Toplam Depolama	Bin Ton	66.400	35.500	5.500
Başlama Tarihi	Yıl	1995	1995	2015
Tahmini Depolama Bitiş Yılı	Yıl	Döküme kapatıldı	2030	2030

Diğer taraftan 2018 sonu itibariyle bu sahalarda depolanmış toplam yaklaşık 107,4 milyon ton evsel atığın içerisinde kalmış geri kazanılabilir malzemelerin potansiyelinin ortaya konması ve elde edilecek toprak benzeri malzemenin de değerlendirilebileceği alanların araştırılarak muhtemel depolama sahası madenciliği projesi için hazırlık çalışmalarında yer alması gerekmektedir.

Maliyetler açısından numune alma, analiz, ekipman, personel, madencilik prosesi gibi birçok maliyet kalemi yanında İstanbul için depolama sahalarının bulunduğu yerlerin orman sahası olduğu için Orman ve Su İşleri Bakanlığı'na ödenen arazi tahsis bedellerinin de hesaba katılması gerekmektedir. İstanbul Büyükşehir Belediyesince ödenen arazi tahsis bedellerinin son üç yıldaki değişimi Tablo 4.5 Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.'te görülmektedir.

Tablo 4.5 İstanbul'daki Depolama Sahaları İçin Ödenen Arazi Tahsis Bedelleri.

Saha	Alan	Yıllık Ödenen Arazi Tahsis Bedeli		
		2016	2017	2018
Odayeri	187,5 ha	982.083,25 ₺	1.019.697,03 ₺	1.167.247,20 ₺
Kömürcüoda	144,3 ha	315.614,25 ₺	327.702,27 ₺	375.120,80 ₺
Seymen	226,5 ha	1.696.286,58 ₺	1.813.859,18 ₺	2.016.107,86 ₺

Odayeri ve Kömürcüoda sahalarında 90'lı yılların sonunda ve 2000'li yılların başlarında zamanın mevzuatı gereği orman tahsis izni alınan bir kısım sahalarda için ödeme yapılmamaktadır.

Buna göre depolama sahası madenciliği çalışmalarının başlatılabilmesi için yürütülecek çalışmanın avantaj ve dezavantajları genel hatlarıyla oluşturulmalıdır. Genel olarak depolama sahası madenciliği çalışmalarının avantaj ve dezavantajları Tablo 4.6'da gösterilmiştir [9].

Tablo 4.6 Depolama Sahası Madenciliği Çalışmalarının Avantajları ve Dezavantajları

Avantaj	Dezavantaj
Geri kazanılan ikincil hammaddelerin satışı	Depolama sahasının hazırlanması, çıkarılan atıkların işlenmesi ve geriye kalan değerlendirilemez atıkların bertarafı için yapılan harcamalar
Alan geri kazanımından gelen kazanç	Depolama sahasının kazılması esnasında ortaya çıkan gürültü ve toz emisyonları nedeniyle civar halk tarafından kabul edilebilirliğinin düşmesi.
Düzenli depolama sahalarının ve kapatılmış vahşi depolama sahalarının kapatma işlemleri esnasında ve kapattıktan sonraki bakım ve izleme çalışmalarına ait masrafların oluşmaması	Yasal çerçeve konusundaki belirsizlikler
Hacimsel kazanım nedeniyle depolama sahasının daha uzun süre kullanımı	Kazılacak depo sahasından geri kazanılacak materyallerin ekonomik ve çevresel değerleri açısından yeterince esnek verilerin bulunmaması.
İklim değişikliği, su ve toprak kirliliğinin önlenmesi ve tarım arazilerinin korunması gibi konularda halk tarafından kabul görme oranının yüksekliği	Tüm kabul edilebilirliğin depolama sahasının işlenmesi esnasında oluşacak emisyonlardan dolayı bozulması.

Depolama sahası madenciliği projesi tasarlanırken farklı proje alternatiflerin değerlendirmesi için Yaşam Döngüsü Analizi gibi yöntemler uygulanarak tek bir seçeneğe inerken aynı zamanda çevresel etkiler de ortaya konulup entegre bir yaklaşım sergilenebilir. YDA, özellikle sahadan çıkarılacak geri kazanılabilen malzemelerin değerlendirilmesi, materyal geri kazanımına mı yoksa enerji kazanımına mı daha uygun olduğunun ortaya konulması için iyi bir metot olacaktır. Aynı zamanda sağladığı ekonojik kıyaslama ile alternatiflerin yalnızca teknik ve çevresel özellikleri değil oluşturulacak çok adımlı yaklaşım ile temin edilecek tek bir finansman parametresi ile alternatiflerin ekonomik olarak da kıyaslanmasına imkân sağlamaktadır.

Depolama sahası madenciliği üzerine yapılan çalışmaların ekonomik boyutu genellikle materyal geri kazanımı ve enerji geri kazanımı potansiyeli açısından değerlendirilmiştir. Ekonomik çerçevesi kapsamında yapılan çalışmaların alt konu başlıkları arasında ise depolama sahası madenciliğinde çevresel etkiler ve güvenlik faktörleri olmuştur.

Çalışmaların çoğunda depolama madenciliğinin tekniklerine de değinilmiştir. Genel olarak toprak benzeri materyallerin atıktan ayrılması basit (çoğu zaman magnetik ayırıcı ve elek ile kombine sistemler ile gerçekleştirilmektedir) mobil ayırma ekipmanları ile mümkün olmaktadır. Sahadan alınan numuneler üzerinde yapılan analizlerde de toprak benzeri materyalin çoğu zaman çok az kontamine olduğu tespit edildiğinden bu malzemenin dolgu malzemesi ya da saha örtü toprağı olarak yeniden kullanılabilceğı belirtilmektedir [19].

Depolama sahası madenciliğinin çevresel aspektleri daha çok kazma ve ayırma işlemleri esnasında ortaya çıkmaktadır. Depolanan atığın bileşimine bağılı olarak ağır metaller ve tehlikeli malzemeler de diğere çevresel etkenler arasında yer alabilmektedir. Depolama sahası madenciliğinin tam olarak çevresel etkilerini ortaya koyabilmek için yaşam döngüsü analizi gibi yöntemler kullanılarak yerel, bölgesel ve küresel ölçekli değerlendirmeler yapılmakta, uygulama projeleri için ortaya çıkan alternatifler bu gibi yöntemler ile kıyaslanmaktadır [16].

Depolama sahası madenciliği çalışmalarının yürütülebilmesi için bir diğere husus da sahanın bulunduğu bölgede yaşayan halk tarafından benimsenmesidir. Depolama sahası madenciliği proseslerinin kabul görebilmesi için yapılacak çalışmalar üzerine kamuoyu yoklamaları yapılması halkın konuya yaklaşımını belirlemek bakımından büyük önem taşımaktadır. Depolama sahası madenciliği çalışmalarında sahaya özel avantaj ve dezavantajların seviyesi tespit edilerek saha için yapılacak araştırma çalışması aşağıdaki noktaları kapsayacak şekilde bir uygulama planı oluşturulmalıdır:

- Depolama sahasının ham madde kaynağı olarak sunduğı potansiyel

- Ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirliğin sağlanması için gerekli şartlar
- Başka ticari alternatifler ile kıyaslandığında depolama sahası madenciliği projesinin avantajlı olabilmesi için genel şartlar
- Gerçekleştirilecek depolama sahası madenciliği prosesinin adımları, atıkların yeniden kazılması esnasında kullanılacak ekipmanlar ve süreçler
- Sahadan elde edilebilecek ikincil hammaddeler, miktarları, kaliteleri ve geri dönüştürülebilecek ürün türleri.
- Bu ürün türlerinin elde edilebilmesi için depolama sahasının sağladığı potansiyel ve bu ürünlerin elde edilebilmesi için gerekli teknoloji.
- Depolama sahası madenciliğinin yürütüleceği sahada mevcut atık işleme tesisleri ve tesislere ait kapasite bilgileri
- Alınması gerekli yasal izin ve onaylar
- Depolama sahasının bulunduğu civarda yaşayan halkın projeyi kabullenme derecesini gösterir kamuoyu yoklamaları [9]

İstanbul'da bulunan dört depolama sahası için birkaç adımdan oluşan bir seri ile potansiyel olarak en kârlı olan depolama sahası madenciliği projesi alternatifleri sıralanabilir. Böyle bir çalışma temelindeki ana fikir alternatifleri “yüksek potansiyele sahip bir küme” olarak belirlemektir. Diğer bir deyişle, kâr ve ticari risklerin tahminleri gösterilerek alternatifler için ayrı ayrı sınıflandırılarak kıyaslanacak ve çalışılacak depolama alanı tespit edilebilecektir. Böylelikle kaynaklar en doğru depolama sahası madenciliği alternatifi için tam kapsamlı bir araştırmayla incelenmesi için ayrılabilir.

İstanbul'da mevcut durumdaki sahalar ele alınırken daha önce yapılan çöp gazından elektrik enerjisi yatırımları hesaba katıldığında en önemli eleme kriteri sahadan çöp gazının oluşumunun devam etmesi olabilir.

Özellikle İstanbul'daki düzenli depolama sahaları için yapılacak araştırmanın fayda kısmını ortaya yeterince isabetli koyabilmek adına sahanın kazılmasıyla elde edilecek yeni boş hücrenin tekrar depolama sahası olarak değerlendirilebilmesi hususu dikkate alınmalıdır. Böylelikle 2030 sonrası süreci kolaylaştıracak yeni bir yol haritası belirlenebilir.

Odayeri sahası için yapılabilecek değerlendirmede bölgenin Yeni İstanbul Havalimanı'na olan yakınlığı dikkate alındığında depolama sahası madenciliği sonucu kazanılan alanın yeni şehir alanları olarak değerlendirilmesi konusu oldukça dikkat çekici olacaktır.

Depolama sahası madenciliği projesi için İstanbul alternatifleri değerlendirilirken fayda ve maliyet analizlerinde önemli bir etki de seçilecek sahanın büyüklüğü olacaktır. İstanbul gibi günlük atık miktarı 19.000 tona ulaşan büyük bir şehrin atıklarının depolandığı bu sahalarda uygulanacak projelerin ölçekleri de büyük olacaktır. Bu nedenle proje alternatiflerinin sağlıklı kıyaslanabilmesi için aynı ölçekte alternatifler değerlendirilebilir. Diğer bir yöntem de sahaların tamamı yerine yaklaşık olarak benzer ölçekte olan depolama sahası hücreleri için değerlendirme yapılarak kıyaslama yoluna gidilebilir. Burada depolama sahası hücrelerinden alınacak numune sayısı da sınırlı olduğundan numune alma ve analiz maliyetlerinin de tüm sahaya nispeten az olması beklenebilir.

Depolama, sızıntı suyu arıtma ve LFG tesislerinin işletilmesi maliyetlerinin yanında sahalar için Orman ve Su İşleri Bakanlığı'na ödenen arazi bedellerinin etkisi oldukça az olmasına rağmen daha fazla uygun saha bulunamaması ve bedellerin her geçen yıl artması maliyet hesabı bakımından dikkate değerlidir.

Alternatifler değerlendirilirken sahalarda bulunan hem mevcut tesisler hem de planlanan tesisler düzenli depolama sahası madenciliği uygulanan saha seçiminde dikkate alınmalıdır. 2022 yılında faaliyete geçmesi planlanan günlük 3.000 ton kapasiteli İBB Eysel Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi ile mevcut durumda günlük 1.000 ton atık işleme kapasitesine sahip Kompost ve Geri Kazanım Tesisine olan yakınlığı açısından Odayeri Düzenli Depolama sahası ön plana çıkmaktadır.

Mevcut durumda günlük 2.000 ton evsel atık işleme kapasitesine ve açık kompost sahasına sahip Kömürçüoda Entergre Mekanik Biyolojik İşlem Tesisinin varlığı Kömürçüoda Düzenli Depolama sahasında seçilecek alternatiflere oldukça avantaj sağlayacaktır.

- [1] Baştürk, A., *Katı Atık Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi. İstanbul, 1994.
- [2] Bosmans, A., Vanderreydt, I., Geysen, D. ve Helsen, L. “The Crucial Role of Waste-to-Energy Technologies in Enhanced Landfill Mining: A Technology Review”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 55, pp. 10–23, 2013.
- [3] Danthurebandara, M., Van Passel, S., Vanderreydt, I., Van Acker K., “Assessment of Environmental and Economic Feasibility of Enhanced Landfill Mining”, *Waste Management*, vol. 45, pp. 434-447, 2015.
- [4] Danthurebandaraa, M., Van Passel, S., Machiels, L. ve Van Acker, K., “Valorization of Thermal Treatment Residues in Enhanced Landfill Mining: Environmental and Economic Evaluation”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 99, pp. 275–285, 2015.
- [5] Demir A., Bilgili M.S., Özkaya B., "Effect of Leachate Recirculation on Refuse Decomposition Rates at Landfill Site: A Case Study", *International Journal of Environment and Pollution*, vol. 21, pp.175-187, 2004.
- [6] European Commission, DG Environment, “A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste Final Main Report”, 2000.
- [7] Frändegard P., Krook, J. ve Svensson, N., “Integrating Remediation and Resource Recovery: On the Economic Conditions of Landfill Mining”, *Waste Management*, vol. 42, pp. 137–147, 2015.
- [8] Frändegard, P., Krook, J., Svensson, N. ve Eklund, M., “A Novel Approach for Environmental Evaluation of Landfill Mining”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 55, pp. 24-34, 2013.
- [9] Fricke, K., Münnich, K., Heußner, C., Wanka, S., Krüger, M., Rettenberger, G., Schulte, B., “Landfill Mining-ein Beitrag der Abfallwirtschaft für die Ressourcensicherung”, in *Depotech*, 2012, Leoben, File 391.
- [10] Gusca, J., Fainzilbergs, M. ve Muizniece, I., “Life Cycle Assessment of Landfill Mining Project”, *Energy Procedia*, vol. 72, pp. 322–328, 2015.
- [11] Gutiérrez, S.C., Coulon, F., Jiang, Y. ve Wagland S., “Rare Earth Elements and Critical Metal Content of Extracted Landfilled Material and Potential Recovery Opportunities”, *Waste Management*, vol. 42, pp. 128–136, 2015.
- [12] Hölzle, I., “Landfill Mining-Bewertung unter Berücksichtigung bergbaulischer Methoden”, in *Depotech*, 2012, Leoben, File 394.
- [13] Jain, P., Townsend, T. G. ve Johnson P., “Case Study of Landfill Reclamation at a Florida Landfill Site”, *Waste Management*, vol. 33, pp. 109–116, 2013.

- [14] Jones P. T., Geysen, D., Tielemans, Y., Van Passel S., Pontikes, Y., Blanpain, B., Quaghebeur M. ve Hoekstra, N., "Enhanced Landfill Mining in View of Multiple Resource Recovery: A Critical Review", *Journal of Cleaner Production*, vol. 55, pp. 45 – 55, 2013.
- [15] Kaartinen T., Sormunen, K. ve Rintala, J., "Case Study on Sampling, Processing and Characterization of Landfilled Municipal Solid Waste in the View of Landfill Mining", *Journal of Cleaner Production*, vol. 55, pp. 56-66, 2013.
- [16] Krook, J., Svensson, N. ve Eklund, M., "Landfill Mining: A Critical Review of Two Decades of Research", *Waste Management*, vol. 32, pp. 513–520, 2012.
- [17] Marella, G. ve Raga, R., "Use of the Contingent Valuation Method in the Assessment of a Landfill Mining Project", *Waste Management*, vol. 34, pp. 1199–1205, 2014.
- [18] Masi, S., Caniani, D., Grieco, E., Lioi, D.S. ve Mancini, I.M., "Assessment of the Possible Reuse of MSW Coming from Landfill Mining of Old Open Dumpsites.", *Waste Management*, vol. 34, pp. 702–710, 2014.
- [19] Mitterwallner, J., Himmel, W., Pomberger, R., Sarc, R., "Deponierückbau in der Steiermark", in *Depotech*, 2012, Leoben, File 392.
- [20] Nispel, J., Gäth, S., "Landfill Mining-Goldgruben am Stadtrand", in *Depotech* 2012, Leoben, File 393.
- [21] Ortadoğu Enerji Grubu, "Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası Çöp Gazı Potansiyelinin Belirlenmesi ve Geliştirilmesi Çalışmaları" Sunumu, İstanbul, 2014.
- [22] Ozkaya, B., "Katı Atık Depo Sahalarında Sızıntı Suyu Geri Devrinin Atıkların Ayrışması ve Sızıntı Suyu Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", Doktora tezi, Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Demir, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2004.
- [23] Öztürk, İ., Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları, İstanbul, 2010.
- [24] Öztürk, İ., "Atık Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu", 2. Taslak, Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi, http://iklim.cob.gov.tr/iklim/Files/Atik_Sektoru_Mevcut_Durum_Degerlendirme_Raporu.pdf, 2010.
- [25] Passamani, G., Ragazzi, M. ve Torretta, V., "Potential SRF Generation from a Closed Landfill in Northern Italy", *Waste Management*, vol. 47 B, pp. 157-163, 2016.
- [26] Quaghebeura, M., Laenen, B., Geysen, D., Nielsen, P., Pontikes Y., Van Gerven, T. ve Spooren, J., "Characterization of Landfilled Materials: Screening of the Enhanced Landfill Mining Potential", *Journal of Cleaner Production*, vol. 55, pp. 72 – 83, 2013.

- [27] Scharff, H., "Landfill Reduction Experience in The Netherlands", *Waste Management*, vol. 34, pp. 2218–2224, 2014.
- [28] T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, "Vahşi Depolama Alanlarının Islahı Kılavuzu", Ankara, 2009.
- [29] T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, "Düzenli Depolama Tesisleri Saha Yönetimi ve İşletme Kılavuzu", Ankara, 2014.
- [30] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, "Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012)", Ankara, 2008.
- [31] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Avrupa Birliği Çevre Entegre Uyum Stratejisi (2016-2023), Ankara, 2016.
- [32] T.C. Resmi Gazete, 2872 Sayılı Çevre Kanunu (18132), 09.08.1983.
- [33] T.C. Resmi Gazete, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (27533), 26.03.2010.
- [34] TÜİK, Temel İstatistikler, www.tuik.gov.tr, Düzenli Depolama Tesislerinde Bertaraf Edilen/Geri Kazanılan Atık Miktarının Atık Tipine, Bertaraf veya Geri Kazanım Yöntemine Göre Dağılımı, 21.11.2013.
- [35] TÜİK, Temel İstatistikler, www.tuik.gov.tr, Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesisleri İstatistikleri, 21.12.2017.
- [36] TÜİK, Temel İstatistikler, Bertaraf Yöntemlerine Göre Belediye Atık Miktarı www.tuik.gov.tr, 30.06.2018.
- [37] Umweltbundesamt Deponierückbau Wirtschaftlichkeit, Ressourcenpotenzial Und Klimarelevanz, REP-0378, Wien, 2011.
- [38] United Nations Environment Programme, *Solid Waste Management*, Vol-I, 2005.
- [39] Van der Zee, D.J., Achterkamp, M.C., De Visser, B.J., "Assessing the Market Opportunities of Landfill Mining", *Waste Management*, vol. 24, pp. 795–804, 2004.
- [40] Van Passel, S., Dubois, M., Eyckmans, J., De Gheldere, S., Ang, F., Jones, P. T. ve Van Acker, K., "The Economics of Enhanced Landfill Mining: Private and Societal Performance Drivers", *Journal of Cleaner Production*, vol. 55, pp. 92–102, 2013.
- [41] Wagner, T. P. ve Raymond, T., "Landfill Mining: Case Study of a Successful Metals Recovery Project", *Waste Management*, vol. 45, pp. 448-457, 2015.
- [42] Weißenbach, T., "Deponierückbau – Ressourcenpotential, Klimarelevanz und Wirtschaftlichkeit", in *Depotech*, 2012, Leoben, File 393.

- [43] Winterstetter, A., Laner, D., Rechberger H. ve Fellner, J., "Framework for the Evaluation of Anthropogenic Resources: A Landfill Mining Case Study-Resource or Reserve?", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 96, pp. 19-30, 2015.
- [44] Zero Waste Scotland, "Feasibility and Viability of Landfill Mining and Reclamation in Scotland – Final Report", 2013.
- [45] Zhou C., Fang, W., Xu, W., Cao, A. ve Wang R., "Characteristics and the Recovery Potential of Plastic Wastes Obtained from Landfill Mining", *Journal of Cleaner Production*, vol. 80, pp. 80 – 86, 2014.
- [46] Zhou, C., Gong, Z., Hu, J., Cao A. ve Liang, H., "A Cost-Benefit Analysis of Landfill Mining and Material Recycling in China", *Waste Management*, vol. 35, pp. 191-198, 2015.
- [47] Zhou, C., Gong, Z., Cao A., Xu, W. ve Fang W., "Characteristics and Fertilizer Effects of Soil-Like Materials from Landfill Mining", *Clean – Soil, Air, Water*, vol. 43 (6), pp. 940-947, 2015.
- [48] Ziyang, L., Luochun, W., Nanwen, Z. ve Youcai, Z., "Material Recycling from Renewable Landfill and Associated Risks: A Review", *Chemosphere*, vol. 131, pp. 91-103, 2015.