



**ERZURUM İLİ KATI ATIK DÜZENLİ
DEPOLAMA TESİSİNDE SIZINTI SUYU
YÖNETİMİNİN İNCELENMESİ**

Emrah SUSCAN

**Yüksek Lisans Tezi
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR
2020
(Her hakkı saklıdır.)**

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM İLİ KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSİNDE SIZINTI SUYU
YÖNETİMİNİN İNCELENMESİ**

(Investigation of Leachate Management In Erzurum Province Solid Waste Sanitary Landfill)

Emrah SUSCAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR

Erzurum
Eylül, 2020

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Emrah SUSCAN tarafından hazırlanan “Erzurum İli Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinde Sızıntı Suyu Yönetiminin İncelenmesi” başlıklı çalışması 08 / 09 / 2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Çevre Teknolojileri Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Doc. Dr. Serkan BAYAR
Atatürk Üniversitesi
Danışman: Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR
Atatürk Üniversitesi
Jüri Üyesi: Dr. Öğr. İbrahim CENGİZ
Bayburt Üniversitesi

Enstitü Yönetim Kurulunun
.../.../.... tarih ve sayılı
kararı.

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

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN

Enstitü Müdürü

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

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Prof. Dr. FİLİZ Nuran ACAR danışmanlığında sunulan “Erzurum İli Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinde Sızıntı Suyu Yönetiminin İncelenmesi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	0	30
Kuramsal Temeller	18	30
Materyal ve Yöntem	13	35
Bulgular	5	20
Tartışma	0	20
Tezin Geneli	11	25

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

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

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Emrah SUSCAN	Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR
8.9.2020	8.9.2020
İmza:	İmza:

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

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

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

TEŞEKKÜR

Başta aileme olmak üzere, lisansüstü eğitimimde gerek bilimsel ve akademik, gerekse sosyal konularda her türlü desteğinden dolayı danışman hocam Prof. Dr. Filiz Nuran Acar'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmanın başından sonuna kadar ilgi ve alakasını hiçbir zaman esirgemeyen Arş. Gör. Onur SÖZÜDOĞRU ve Arş. Gör. Atilla TAŞDEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Desteklerinden dolayı Erzurum Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığına teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca beni cesaretlendiren değerli kardeşim Asım CEYRAN'a ve göstermiş olduğu ilgiden dolayı İlim TOPALOĞLU'na teşekkür ederim.

Büyükşehir belediyesi katı atık tesisi saha formeni Mehmet Efe YALÇIN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca beni cesaretlendiren birbirinden değerli kardeşime, hayatımın her aşamasında maddi manevi desteklerini ve eşsiz sevgilerini tereddüt etmeden sunan çalışmalarımın dolaylı hep ihmal ettiğim anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi ve sonsuz şükranlarımı sunarım.

Emrah SUSCAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ERZURUM İLİ KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA SAHASINDA SIZINTI SUYU YÖNETİMİNİN İNCELENMESİ

Emrah SUSCAN

Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR

Amaç: Katı atık yönetiminin en önemli bileşeni atıkların bertarafıdır. Düzenli depolama, katı atıkların bertarafında en yaygın uygulanan yöntemlerden biridir. Ancak depo sahalarında oluşan sızıntı suyu kontrol altına alınması gereken bir materyaldir. Sızıntı suyu kompleks ve tehlikeli bir yapıya sahip olup sızıntı suyundan kaynaklanabilecek olumsuz etkilerden çevrenin çok iyi korunması gerekmektedir. Bu nedenle depo sahalarında sızıntı suyu yönetimi son derece önemli bir konudur. Bu çalışmada, 2008 yılında işletmeye alınan Erzurum Katı Atık Düzenli Depolama Tesis (EKADDT) sızıntı suyu yönetiminin incelenmesi ve sızıntı suyu minimizasyonu için öneri yaklaşımlar hedeflenmiştir.

Yöntem: EKADDT’nde belirli yıllara ait veriler dikkate alınarak; sızıntı suyu karakteristiği, sızıntı suyu arıtımında uygulanan ters osmoz prosesinin başarısı ve sahada yağmur suyu kontrolü üzerine incelemeler yapılmıştır. Bu incelemelerin haricinde, Su Dengesi Metodu ile sahadaki mevcut işletme şartları için ve aynı zamanda gelecek yıllarda oluşabilecek sızıntı suyu miktarları tahmin edilmiştir.

Bulgular: Sızıntı suyu kirlilik parametrelerinin ters osmoz prosesi ile yüksek verimle giderildiği, deşarj standartlarını sağladığı görülmüş olup sahada sızıntı suyu azaltımına yönelik yağmur suyu kontrolünün yapıldığı tespit edilmiştir. Hem saha yönetimi hem de kentin katı atık yönetimi için birtakım senaryolar oluşturularak sızıntı suyu minimizasyonu ile ilgili olarak öneri yaklaşımlarda bulunulmuştur. Bu öneriler, oluşturulan yaklaşımlar için Su Dengesi Metodu ile sızıntı suyu tahmini hesaplarına dayanmaktadır.

Sonuç: Düzenli depolama sahalarında sızıntı suyu yönetiminin son derece önemli olduğu ve uygulamada yapılabilecek değişikliklerle sızıntı suyu miktarının minimizasyonunun mümkün olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Düzenli Depolama, sızıntı suyu yönetimi, sızıntı suyu minimizasyonu

2020, 116 sayfa

ABSTRACT

MS Thesis

INVESTIGATION OF LEACHATE MANAGEMENT IN ERZURUM PROVINCE SOLID WASTE SANITARY LANDFILL

EMRAH SUSCAN

Supervisor: Prof.Dr. Filiz Nuran ACAR

Purpose: The most important component of solid waste management is waste disposal. Landfill is one of the most widely used methods of solid waste disposal. However, the leachate formed in the storage areas is a material that needs to be controlled. Leachate has a complex and dangerous structure and the environment must be protected very well from the negative effects that may arise from the leachate. Therefore, leachate management in landfill areas is an extremely important issue. In this study, it is aimed to examine the leachate management of Erzurum Solid Waste Sanitary Landfill (EKADDT), which was commissioned in 2008, and to make suggestions for the minimization of leachate.

Method: Considering the data of certain years in EKADDT; Investigations have been made on the characteristics of leachate, the success of the reverse osmosis process applied in leachate treatment and rainwater control in the field. Apart from these investigation, the amount of leachate has been estimated for the operating conditions in the landfill as well as for the next years with the Water Balance Method.

Findings: It was found that the leachate pollution parameters were removed with high efficiency by the reverse osmosis process, it met the discharge standards, and rainwater control was carried out in the field to reduce the leachate. A number of scenarios have been created for both the field management and the solid waste management of the city, and proposal approaches have been made regarding the minimization of leachate. These recommendations are based on the Water Balance Method and leachate estimation calculations for the established approaches.

Results: It has been observed that leachate management in sanitary landfills is extremely important and it is possible to minimize the amount of leachate with changes that can be made in practice.

Keywords: sanitary landfill, landfill leachate management, landfill leachate minimization

2020, 116 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xii
GİRİŞ	1
KURAMSAL TEMELLER.....	3
Katı Atık Tanımı ve Kaynakları	3
Kentsel Katı Atıklar	5
Katı Atık Yönetimi (KAY)	6
Katı Atık Bertaraf Yöntemleri.....	8
Düzenli Depolama İle Bertaraf Yönteminin Detaylı İncelenmesi.....	10
Düzenli Depolamanın Üstünlük ve Kısıtlamaları.....	10
Düzenli Depolama Tesisi Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlar	11
Düzenli Depolama Yöntemleri.....	11
Düzenli Depolama Sahasının Çıktıları.....	13
Düzenli Depolama Gazı (LFG)	14
Düzenli Depolama Sahasında Sızıntı Suyu	17
Sızıntı Suyu Yönetimi.....	23
Depolama Sahalarında Yağmur Suyu Yönetimi	23
Düzenli Depolama Sahalarında Sızıntı Suyu Toplama Sistemleri	24
Sızıntı Suyu Arıtma	26
Sızıntı Suyu Arıtımında Ters Osmoz.....	31
MATERYAL ve YÖNTEM.....	34
Erzurum İlinin Tanıtımı	34
Erzurum’da Katı Atık Yönetimi	35
Erzurum Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Tanıtımı	36

Erzurum Düzenli Depolama Tesisinde Ana, Yardımcı ve Diğer Öğeler.....	37
Ana Öğeler	38
Depolama Sahası Sızıntı Suyu Arıtma Tesisine.....	39
Depo Gazı Toplama ve Elektrik Üretim Ünitesi	42
Yardımcı Öğeler	44
Diğer Öğeler	47
Düzenli Depolanma Tesisine Ambalaj Atığı Toplama ve Ayrıştırma Ünitesi	47
Düzenli Depolama Tesisinde Tıbbi Atık Sterilizasyon Ünitesi	49
Erzurum İli Katı Atık Düzenli Depolama Sahasına Kabul Edilen Atık Miktarı ve Karakterizasyonu	51
Su Dengesi Metodu.....	53
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	57
Erzurum Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyu Yönetiminde Mevcut Durumun İncelenmesi.....	57
Erzurum Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyu Karakterizasyonu	57
Erzurum Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyu Arıtma Prosesinin İncelenmesi ve Arıtma Performansının Değerlendirilmesi	61
Erzurum Düzenli Depolama Sahasında Yağmur Suyu Yönetiminin Değerlendirilmesi ..	70
Erzurum Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyu Miktarının Su Dengesi Metodu İle Belirlenmesi ve Sızıntı Suyu Miktarının Minimize Edilmesine Yönelik Yaklaşımlar ..	74
Erzurum Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyu Miktarının Tahmini İçin Meteorolojik Veri ve Kabuller	74
EKADDT Mevcut İşletme Durumu İçin Aylık Ve Yıllık Bazda Sızıntı Suyu Miktarı Tahmini	78
EKADDT Sızıntı Suyu Minimizasyonu İçin Alternatif Yaklaşımlar	83
Yaklaşımlardan Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi.....	91
SONUÇ ve ÖNERİLER.....	95
KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ.....	101

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Düzenli depolama işlemleri sırasında yayılan düzenli depolama gazının süresi ve miktarı.....	15
Tablo 2. LFG’ nin oluşturduğu riskler.	17
Tablo 3. Evsel katı atık depolama sahası sızıntı suyunda bulunan bazı XOC’ler	20
Tablo 4. Sızıntı sularında bulunan ağır metaller	21
Tablo 5. Sızıntı sularının deponi sahası yaşına göre özellikleri.....	22
Tablo 6. Sızıntı suyu arıtımında kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler.....	28
Tablo 7. Sızıntı suyu arıtımında kullanılan membranın özellikleri.....	41
Tablo 8. 2019 yılında metan gazından elektrik üretim verileri.....	43
Tablo 9. 2018 yılında ambalaj atığı toplama ve ayrıştırma tesisinde ayrıştırılan malzeme miktarları.....	49
Tablo 10. 2019 Yılında ambalaj atığı toplama ve ayrıştırma tesisinde ayrıştırılan malzeme miktarları.....	49
Tablo 11. 2019 Yılında Erzurum ve diğer illerden toplanan tıbbi atık miktarları	50
Tablo 12. Atık muhtevasının ilçelere göre değişimi	51
Tablo 13. 2019 Yılı Erzurum ili ilçelerine göre evsel atık miktarları	52
Tablo 14. 2017, 2018, 2019 yıllarına toplam ait evsel atık miktarları	53
Tablo 15. Deponi sahasındaki sızıntı suyunu etkileyen parametreler.....	54
Tablo 16. Erzurum katı atık düzenli depolama sahasına ait sızıntı suyu karakterizasyonu	58
Tablo 17. Membran yıkamada kullanılan kimyasalların bileşenleri.....	65
Tablo 18. Erzurum düzenli depolama sahası sızıntı arıtma tesisi deşarj suyu karakterizasyonu.....	67
Tablo 19. Erzurum katı atık düzenli depolama sahasına ait yeraltı suyu izleme parametreleri	73
Tablo 20. Erzurum iline ait 1999- 2018 yılları arasında yağış ve buharlaşma verileri.....	75
Tablo 21. Su dengesi metodu parametreleri	76
Tablo 22. Mevcut işletme durumu için sızıntı suyu hesabı	80
Tablo 23. Mevcut işletme duruma göre her bir depolama hücresinde oluşabilecek sızıntı suyu miktarları.....	82
Tablo 24. Yaklaşım1 verilerine göre sızıntı suyu hesabı	84
Tablo 25. Yaklaşım 1’göre elde edilen sızıntı suyu miktarı.....	86

Tablo 26. Yaklaşım 2 verilerine göre sızıntı suyu hesabı	88
Tablo 27. Yaklaşım 3'e göre elde edilen sızıntı suyu miktarı	90
Tablo 28. Mevcut işletme durumuna ait günlük ortalama debiler	91
Tablo 29. Yaklaşım 1, Yaklaşım 2 ve Yaklaşım 3'e ait günlük ortalama debiler	92



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kentsel katı atıklar ve dışında kalan atıkların sınıflandırılması	6
Şekil 2. Atık yönetim hiyerarşisi	7
Şekil 3. Entegre atık yönetimi akış diyagramı.	8
Şekil 4. Atıkların alan yöntemi ile bertarafının şematik görünümü.	12
Şekil 5. Atıkların hendek yöntemi ile bertarafının görünümü	13
Şekil 6. Atıkların çukur yöntemi ile bertarafının görünümü.....	13
Şekil 7. Düzenli depolama sahasında gaz oluşum aşamaları	15
Şekil 8. Sızıntı suyu oluşumu ve kirleticilerin sızıntı suyuna geçişi	18
Şekil 9. Sızıntı suyu oluşum evreleri	18
Şekil 10. Yağmur suyu toplama kanalı.....	24
Şekil 11. Deponi sahası taban teşkili ve drenaj borularının tasarımı.....	25
Şekil 12. Sızıntı sularının arıtım metodları	27
Şekil 13. Purgstall depolama alanına ait sızıntı suyu arıtma tesisi.....	29
Şekil 14. Halbenrain depolama alanına ait sızıntı suyu arıtma tesisi	29
Şekil 15. Unterhart /St.Martin im Mühlkreis depolama alanına ait sızıntı suyu arıtma tesisi .	30
Şekil 16. Asamer-Becker Recyling GmbH-Arnolstein depolama alanına ait sızıntı suyu arıtma tesisi	31
Şekil 17. Attnang Puchheim (Redlham) depolama alanına ait sızıntı suyu arıtma tesisi	31
Şekil 18. Osmoz prosesi.....	32
Şekil 19. Ters osmoz prosesi.....	32
Şekil 20. Ters osmoz modülleri.....	33
Şekil 21. Erzurum ili haritası.....	34
Şekil 22. Erzurum katı atık düzenli depolama tesisi genel görünümü	37
Şekil 23. Erzurum katı atık düzenli depolama sahası lotları.....	37
Şekil 24. Sızıntı suyu toplama havuzları.....	39
Şekil 25. Sızıntı suyu arıtma tesisi dış ve iç görüntüleri.....	40
Şekil 26. Sızıntı suyu arıtımında kullanılan disk tüp membran	41
Şekil 27. EKADDT’de 1. Lotun geçici üst örtü ile kapatılması.....	42
Şekil 28. Metan gazından elektrik üretim tesisi	42
Şekil 29. Günlük depo gazı okuma ve PLC Scada sistemi	43
Şekil 30. EKADDT’de bazı yardımcı öğelerin konumları	44

Şekil 31. Ambalaj atığı toplama ve ayrıştırma ünitesi.....	48
Şekil 32. EKADDT tıbbi atık sterilizasyon ünitesi	50
Şekil 33. Erzurum katı atık karakterizasyonunun ağırlıkça ortalama değerleri	52
Şekil 34. 2019 yılı Erzurum ili atık miktarlarının ilçelere göre yüzdesel dağılımı	52
Şekil 35. Depolama sahası için genel su dengesi	54
Şekil 36. EKADDT sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması	62
Şekil 37. Tesisi çıkış suyu görüntüsü Sızıntı suyu arıtma	66
Şekil 38. Ters osmoz çıkış suyunda KOİ, AKM, TKN, TP, Yağ-Gres giderim verimleri	67
Şekil 39. Ters osmoz çıkış suyunda toplam siyanür ve florür giderim verimleri	68
Şekil 40. Ters osmoz çıkış suyunda demir, kadmiyum, toplam krom, krom (+6) ve kurşun giderim verimleri	68
Şekil 41. Konsantre dağıtım yapısı.....	70
Şekil 42. EKADDT 'de yağmur suyu kanalı	71
Şekil 43. EKADDT 'de boş hücrelerden yağmur suyu toplam sisteminin yapımı	72
Şekil 44. Erzurum ilinin 1999-2018 yıllarına ait aylık yağış ve açık yüzey buharlaşması farkları.....	76
Şekil 45. Yaklaşım 2'e göre atık ayrıştırma akış şeması.....	87
Şekil 46. Yaklaşım 3'e göre atık ayrıştırma akış şeması.....	89
Şekil 47. 2029 yılı sonu itibariyle oluşan sızıntı suyunun aylık ortalama değerleri.....	93
Şekil 48. 2039 yılı sonu itibariyle oluşan sızıntı suyunun aylık ortalama değerleri.....	94

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ΔU_{bio}	Kimyasal veya biyolojik işlemlerden kaynaklanan su üretimi veya tüketimi
ΔU_s	Toprağın içeriğindeki su değişimi
ΔU_w	Atık içindeki su değişimi
AB	Avrupa Birliği
As	Arsenik
Ba	Baryum
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
BTEX	(Benzen, Toluen, etilbenzen ve Ksilen)
Btu	İngiliz Isı Birimi
Ca	Kalsiyum
CH ₄	Metan
Cl	Klor
Co	Kobalt
CO ₂	Karbon Dioksit
E	Buharlaştırma
EKADDT	Erzurum Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi
EKAY	Entegre Katı Atık Yönetimi
ET	Evapotranspirasyon
G	Yeraltı suyu kaynaklarından gelen su
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
HCO ₃ ⁻¹	Bikarbonat
J	Sulama veya sızıntı suyu geri devri
K	Potasyum
KAY	Katı Atık Yönetimi
KKA	Kentsel Katı Atıklar
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
L	Toplam sızıntı suyu üretimi
L _c	Drenaj sistemlerinde toplanan sızıntı suyu
LFG	Düzenli Depolama Gazı
Li	Lityum
L _i	Zeminde kontrol edilemeyen sızıntı suyu emisyonu

Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
N	Azot
NH ₃	Amonyak
NH ₄	Amonyum
P	Fosfor
P	Yağış
PCBs	Poliklorlanmış Bifeniller
P _e	Depolama sahası gövdesine ulaşan etkili yağış
PVC	Polivinil Klorür
R	Yüzeysel akış
R*	Çevre bölgelerden gelen su
S	Yüzey suyu kaynaklarından gelen su
SKKY	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
SO ₄	Sülfat
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TOK	Toplam Organik Karbon
TP	Toplam Fosfor
U _g	Çöp gazında bulunan su buharı
XOC	Ksenobiyotik Organik Bileşikler

GİRİŞ

Tüm dünyada üretilen atık miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Bu sonuç; nüfus artışı, kentleşme, teknolojik ilerlemeler, fazla tüketime yönelik kültürün oluşması gibi birçok faktörle ilişkilendirilebilmektedir. Nüfusun kentlere doğru kayması ile lokal bazda kentlerde önemli miktarda çeşitli formlarda atıklar üretilmektedir. Bu atıkların önemli bir bölümünü katı formdaki atıklar oluşturmaktadır. Kentlerde yaşayan insanlar, ekonomilerindeki gelişmişlikle doğru orantılı olarak daha kaliteli bir çevrede yaşam istegindedirler. Yönetimler bu isteklerin karşılanmasını, çevrenin korunmasını sağlamakla yükümlüdürler. Şehirlerde, diğer atık formlarında olduğu gibi katı atıkların da etkin bir yönetim sistemi ile bertaraf edilmesi üzerinde durulması gereken önemli bir konudur.

Katı atık yönetimi, yerel yönetimlerin konu ile ilgili sistemli bir yapı oluşturması ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Bu yönetim, katı atığın oluşumundan bertarafına kadar yapılması gereken işlemlerin tamamını kapsamalıdır. Başka bir ifade ile evlerde, ofislerde ve diğer çalışma alanlarında oluşan tehlikeli bir yapıda olmayan evsel nitelikli olarak tabir edilen katı atıklar kaynağından itibaren bertaraf edilinceye kadar birtakım işlemlerle yönetilirler. Kaynağında üretilen atıklar, yerel yönetimler tarafından, toplama ve taşıma organizasyonları ile bertaraf ünitelerine gönderilirler. Bazı yönetimler etkin bir geri dönüşüm alt yapısı oluşturarak madde geri kazanımı yapabilirler. Dolayısıyla geri dönüşüm işlemleri de katı atık yönetiminin vazgeçilmez bir unsurudur. Uygulanan her işlem birbirinden kopuk olmamalıdır. Uygulamada işlemlerin herhangi birinde oluşan bir aksaklık diğer işlemleri de etkilemektedir. Bu yönetimin en önemli bileşeni atığa uygulanacak bertaraf yöntemidir. Seçilecek olan bertaraf yöntemi atığın yapısı ile alakalı olduğu kadar ekonomik durum, arazi temini, teknolojik alt yapı gibi faktörlere de bağlıdır. Kompostlaştırma, yakma, piroliz ve düzenli depolama katı atık bertaraf yöntemleridir. İlk üç yöntemle işlenen katı atıklardan açığa çıkan kalıntılar düzenli depolama sahalarında depolanmak durumundadırlar. Dolayısıyla düzenli depolama işlemi nihai bir bertaraf uygulamasıdır.

Düzenli depolama katı atıkların bertarafında ekonomik, kolay ve hızlı uygulanabilir olması nedenleri ile tercih edilen bir yöntemdir. Düzenli depolama tesislerinde depo gazı ve sızıntı suyu olarak iki önemli ürün açığa çıkmaktadır. Oluşan depo gazı enerji üretimi için yararlı bir kullanım materyalidir. Ancak depolama sahası içinde meydana gelen kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar sonucu ve yağış sularının depo sahasına süzülmesi ile oluşan sızıntı suyu

bertaraf edilmesi gereken bir materyal olup olumsuz çevresel etkiler oluşturabilecek bir yapıya sahiptir. Sızıntı suyu çok çeşitli organik ve inorganik bileşenlerden oluşmaktadır. Bu çeşitlilik günümüzde daha da artmıştır. Günlük hayata giren çeşitli teknolojik malzemelerin tüketilmesi ve bunların belediye atıkları kapsamında atık olarak depo sahalarına gönderilmesi sonucu depolama sahalarında çok spesifik tehlikeli kirleticiler hem gaz ortamında hem de sıvı ortamında bulunabilmektedir. Aynı zamanda sızıntı suları değişken ve heterojen olarak tariflenir. Bu durum depo sahalarındaki iletim sistemi, günlük gelen atıklardaki heterojenlik ve depo yaşıyla bağlantılıdır. Özellikle depo yaşı ile alakalı olarak zaman içinde çok farklı karakteristik özellikler göstermektedir. İlk yıllarda açığa çıkan sızıntı sularındaki KOİ, BOİ gibi birçok kirleticinin konsantrasyonları çok yüksektir. Sızıntı suları depo sahası kapatıldıktan sonra da bir süre daha üretilecektir ve çevre üzerinde olumsuz etkileri nedeniyle arıtılması gereken özel bir atıksudur. Günümüze kadar sızıntı suyu arıtımında çok çeşitli yöntemler uygulanmıştır. Ancak konvansiyonel yöntemlerin yetersiz kalması ile yeni teknolojiler uygulanmaya başlanmıştır. Membran sistemler de uygulanan yeni teknolojileri temsil etmektedir. Bu sistemlerden son yıllarda en yaygın olanı ters osmoz prosesleridir. Ters osmoz üniteleri ile sızıntı suyu arıtımında verimli sonuçlar elde edilmiştir. Ancak ters osmoz proseslerinin en önemli sorunu konsantre atık üretimidir. Bununla birlikte maliyeti yüksek teknolojiler arasında olması sistemin en önemli kısıtlamalarından biridir. Bu nedenle sızıntı suyu bertarafında üzerinde önemle durulması gereken husus, açığa çıkan sızıntı suyunu arıtmaktan çok sızıntı suyunun depo sahasında işletme şartlarında yapılacak bir takım değişik uygulamalarla minimize edilmesine yönelik olmalıdır. Yağış sularının etkin bir şekilde sahadan uzaklaştırılması, lotların küçültülmesi sızıntı suyu minimizasyonuna yönelik çözümler olabilir.

Bu çalışmada, Erzurum ili katı atık düzenli depolama sahasında atıkların bertaraf edilmesi sonucunda oluşan sızıntı suyunun mevcut durumda yönetim sistemi incelenmiştir. Yönetimden alınan izinler dahilinde, belirli yıllar için sızıntı suyu karakteristiği, sızıntı suyu arıtma sistemi, arıtma verimi, deponi sahasında yağmur suyu kontrolü değerlendirilmiştir. Çalışmanın diğer basmağı EKADDT’de oluşan sızıntı sularının minimize edilebilmesi için çeşitli öneri yaklaşımlardan oluşmaktadır. Bu kapsamda sızıntı suyu miktarları Su Dengesi Metodu ile tahmin edilmiş olup gerek saha içinde yapılabilecek farklı işletmelerle gerekse Erzurum katı atık yönetim sisteminde uygulanabilecek farklı yaklaşımlarla sızıntı suyu miktarındaki azalmalar değerlendirilmiştir.

KURAMSAL TEMELLER

Katı Atık Tanımı ve Kaynakları

Atık üretimi en az insanlık tarihi kadar eskiye dayanır. İnsanların ürettiği atıklar uzun bir süre boyunca doğadaki dönüşüme katıldığından herhangi bir problem teşkil etmemiştir. Ancak yüzyıllar geçtikçe nüfus artışı, teknolojiye ileriye adımlar, ürün çeşitliliği, hayat standartlarındaki değişimler ve kentleşme gibi faktörler atığı bir problem haline getirmiştir. Atığın çevre üzerinde oluşturduğu olumsuz sonuçlar atıkların modern yaklaşımlarla yönetilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu yönetim atığın tanımlanmasından nihai bertarafına kadar olan bütün süreçlerin belirli kriterler çerçevesinde gerçekleştirilmesini içermelidir. Bu nedenle öncelikli olarak atık tanımlanmalı, çeşitleri ve özellikleri belirlenmelidir (Steiner and Wiegel 2009).

Atık, en basit haliyle, sahibinin atmak istediği marjinal değeri olmayan veya tamamen değersiz olan ürün veya malzeme olarak tanımlanır. Bir maddenin atık olarak tanımlanması için en önemli kriter sahibinin bu maddeye verdiği değerin ölçüsüyle alakalıdır. Sahibi için bu madde tamamen değersiz hale gelmişse bu atık olur. Bir maddenin atık olarak değerlendirilmesi zaman, konum, durum, gelir düzeyi ve kişisel tercihlere de bağlıdır. Bu durumda bir kimse için atık olan bir malzeme başkası için atık olmayabilir. Başka bir deyişle bir maddenin atık olup olmayacağını kültürel, iklimsel, ekonomik etkenler gibi bir takım unsurlar belirler. Bu sebeple atık miktar ve bileşimi yere ve zamana bağlı olarak değişiklik gösterir (Christensen 2017). Çok farklı faktörlerin kişisel yaklaşımları etkilemesi atık tanımını karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle daha teknik ve resmi bir tanımlama yapmak modern atık yönetiminin gerekliliğidir.

Avrupa Birliğine (AB) göre atık ‘Sahibinin attığı, atmaya niyet ettiği veya atması gereken herhangi bir madde veya nesne olarak tanımlanmaktadır.’ AB’nin atık tanımı Avrupa atık kataloğunda hangi madde ve malzemelerin atık olabileceği ile ilgili örnekler içermektedir (Christensen 2017).

Katı atıklar çoğunlukla katı fazda olmasına rağmen atıksu arıtma çamurları ve sıvı kimyasal atıklar da katı atık sınıfına dahil edilmektedir.

Dünyada her gün çeşitli çöp sahalarında (vahşi veya düzenli depolama) tonlarca katı atık bertaraf edilmektedir. Bu atıklar kontrollü depolanmadığı veya işleminden geçirilmediği

takdirde çevreyi ciddi bir şekilde etkileyebilmektedirler. Katı atıkların temel kaynakları şunlardır (Steiner and Wiegel 2009; Anonim 2019a):

- Yerleşim
- Endüstriyel
- Ticari
- Kurumsal
- İnşaat ve yıkım alanları
- Belediye hizmetleri
- Enerji tesisleri
- Tarım
- Biyomedikal

Bu kaynaklara ait atıklar çok çeşitlilik gösterebilmektedir. Bu nedenle atıkların maddesel bazda sınıflandırılmasının yapılması atık yönetiminin gerekliliğidir (Anonim 2019a).

Yerleşim yeri atıkları konutlarda üretilen sıradan ya da günlük faaliyetlerden kaynaklanan atıklardır (Christensen 2017). Bu atıklar arasında yemek atıkları, plastik, kağıt, karton, cam, deri, tekstil, metaller, bahçe atıkları, kül gibi atıklarla birlikte lastik, pil, elektronik atıklar, hacimli ev eşyaları ve atık yağlar gibi özel atıklar bulunmaktadır (Anonim 2019a).

Endüstriler, katı atıkların en önemli paydaşlarından biridir. Endüstriyel atık; hafif ve ağır imalat sanayileri, şantiyeler, enerji ve kimya tesisleri gibi faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Bu endüstriler evsel nitelikli atıklarla birlikte kül, hafriyat malzemeleri ile birlikte korozif, alev alabilen ve toksik özellik taşıyan tehlikeli atıkları da içermektedir (Christensen 2017; Anonim 2019a).

Ticari tesisler ve binalar katı atıkların diğer bir kaynağıdır. Oteller, marketler, restoranlar, caddeler, mağazalar ve ofis binaları bu ticari tesis ve binaların birer örneğidir. Buralardan kaynaklanan atıklar arasında yemek atıkları, metaller, ahşap, cam, kağıt, karton gibi malzemelerle birlikte çeşitli özel ve tehlikeli atıklar da bulunmaktadır (Anonim 2019a).

Okullar, hapishaneler, askeri kışlalar ve diğer devlet kurumlarından kaynaklanan atıklar kurumsal atık olarak tanımlanmaktadır. Bu yerlerden yemek atıkları, kağıt, karton, metaller, plastik, ahşap gibi atıklar oluşmaktadır. Ayrıca elektronik atıklar da kaynaklanabilmektedir (Anonim 2019a).

Şantiyeler ve yıkım sahaları katı atıkların önemli kaynaklarından bir diğeridir. Buralardan çelik malzemeler, beton, ahşap, plastik, kauçuk, bakır teller ve cam atıkları oluşur.

Kent merkezlerinden kaynaklanan katı atıklar atık miktarına önemli katkı sağlamaktadır. Kent için yapılan belediye hizmetleriyle birlikte cadde ve sokak temizliği atıkları, park ve plajlardan gelen atıklar, atıksu arıtma tesislerinden gelen atıklar, peyzaj atıkları, rekreasyon alanlarından kaynaklanan atıklar oluşmaktadır. Hafif ve ağır üretim tesisleri de katı atık üretir.

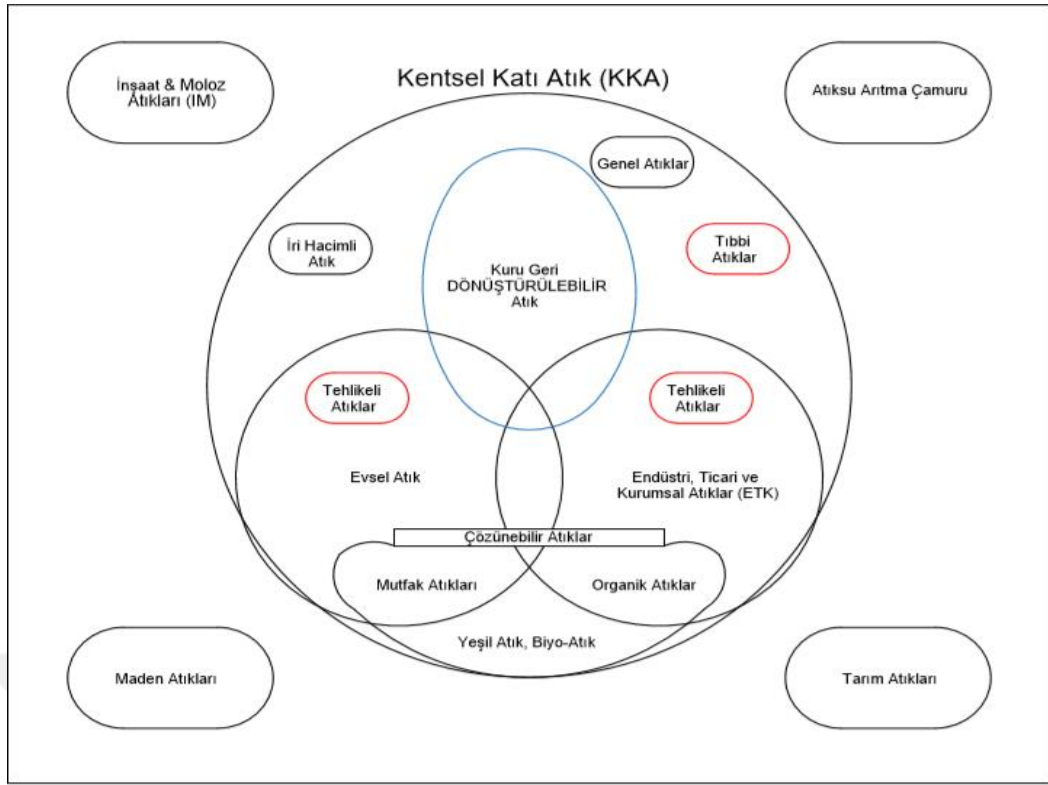
Rafineriler, enerji tesisleri, maden çıkarma tesisleri ve kimyasal tesisler bu üretim tesislerine örnek olarak gösterilebilir. Bu tesislerin ürettiği atıklar arasında endüstriyel işlem atıkları, istenmeyen özel ürünler, plastikler, küller, metal parçaları bulunabilir.

Çiftlikler, meyve bahçeleri, mandıralar, meralar da katı atık üretirler. Üretilen atıklar arasında tarımsal atıklar, yiyecek atıklarıyla birlikte, pestisit kapları ve diğer tehlikeli maddeler de bulunabilmektedir.

Hastaneler, çeşitli klinikler, medikal teçhizat ve kimyasal üreten firmalar farklı özellikte katı atık üretirler. Şırıngalar, bandajlar, kullanılmış eldivenler, ilaçlar, radyoaktif kimyasallar, plastikler, dokular buralardan kaynaklanan atıklar arasındadır. Bu atıklara ilaveten hastaneler ve üretim firmalarından yiyecek atıkları da oluşmaktadır (Anonim 2019a).

Kentsel Katı Atıklar

Kentsel Katı Atıklar (KKA), kentlerde üretilen pek çok katı atığı kapsamaktadır. Bu kapsam dahilinde parçalanabilir, kısmen parçalanabilir ve bozunmayan atıklar bulunmaktadır. Parçalanabilir atıklar evsel, kurumsal, endüstriyel ve ticari kaynaklardan oluşan yemek atıkları, kağıt, karton ve tekstil atıkları olabildiği gibi yeşil atıklar denilen bahçe atıklarını içermektedir. Kısmen parçalanabilir atıklar ise yine evsel, kurumsal, endüstriyel ve ticari kaynaklı olabilir. Bunların içinde ahşap, tek kullanımlık kâğıtlar, peçeteler ve sıhhi atıklar bulunabilir. Bozunmayan atıklar ise plastik, lastik, metal, cam, toz ve elektronik atık olup bu atıklar da evsel, kurumsal, endüstriyel ve ticari kaynaklıdır (Steiner and Wiegel 2009; Jha *et al.* 2011; Anonim 2019b). KKA dışında tutulan atıklar; atıksu arıtma çamuru, inşaat ve moloz atıkları, tarımsal atıklar ve madencilik atıklarıdır (Steiner and Wiegel 2009). KKA ve dışında kalan atıklar Şekil 1’de belirtilmektedir.



Şekil 1. Kentsel katı atıklar ve dışında kalan atıkların sınıflandırılması (Steiner and Wiegel 2009)

Katı Atık Yönetimi (KAY)

KAY sürdürülebilir olmalıdır. İnsanların sağlığını ve güvenliğini olumsuz yönde etkileyen katı atıklar bertaraf edilirken çevresel ve ekonomik unsurlar da dikkate alınmalıdır. Verimli bir KAY planı birtakım özelliklere sahip olmalıdır. Bu özellikler şu şekilde sıralanabilir:

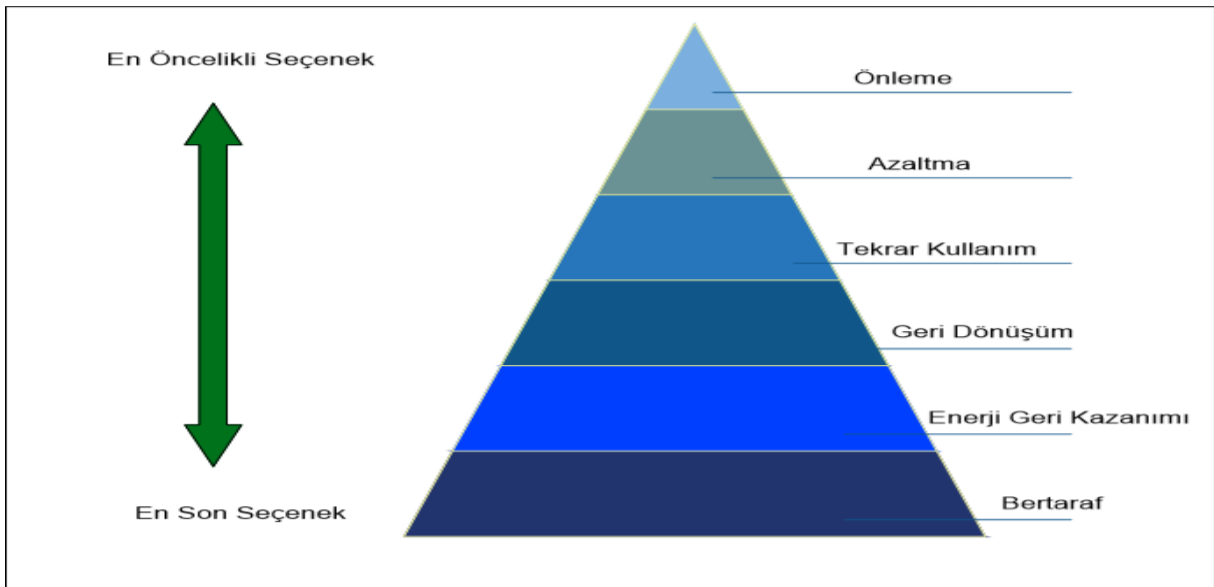
- KAY entegre bir sistem olmalıdır. Atığın kaynağından nihai bertarafına kadar tüm aşamalar sistematik olarak planlanabilmeli ve kontrol edilebilmelidir. Bu yönetim gerçekleştirilirken mevcut durum analiz edilmeli, nüfus, oluşan katı atık miktarı, atığın kompozisyonu ve bertaraf yöntemi tespit edilerek gelecekte oluşabilecek problemler ortaya konarak bu problemlerin çözümüne yönelik planlamalar içermelidir. Entegre yönetimin en önemli basamağı atık önlemedir. Akabinde oluşan atığın minimize edilmesi ve geri kazanılabilir atıkların geri kazanımının gerçekleştirilmesi gerekir.
- Ekonomik bir değere sahip olmalıdır. Katı atık yönetim sisteminden ekonomik fayda edilebilmelidir.
- Esnek bir sistem olmalıdır. Zamana bağlı olarak meydana gelebilecek problemler ve değişimlere çevresel mekansal ve atık özellikleri bağlamında cevap verebilmelidir.

- Bölgesel planlama yapılmalıdır. Atık oluşum miktarına en fazla etki eden faktörün nüfus olduğu dikkate alınarak bölgesel olarak işlemler yürütülmelidir.

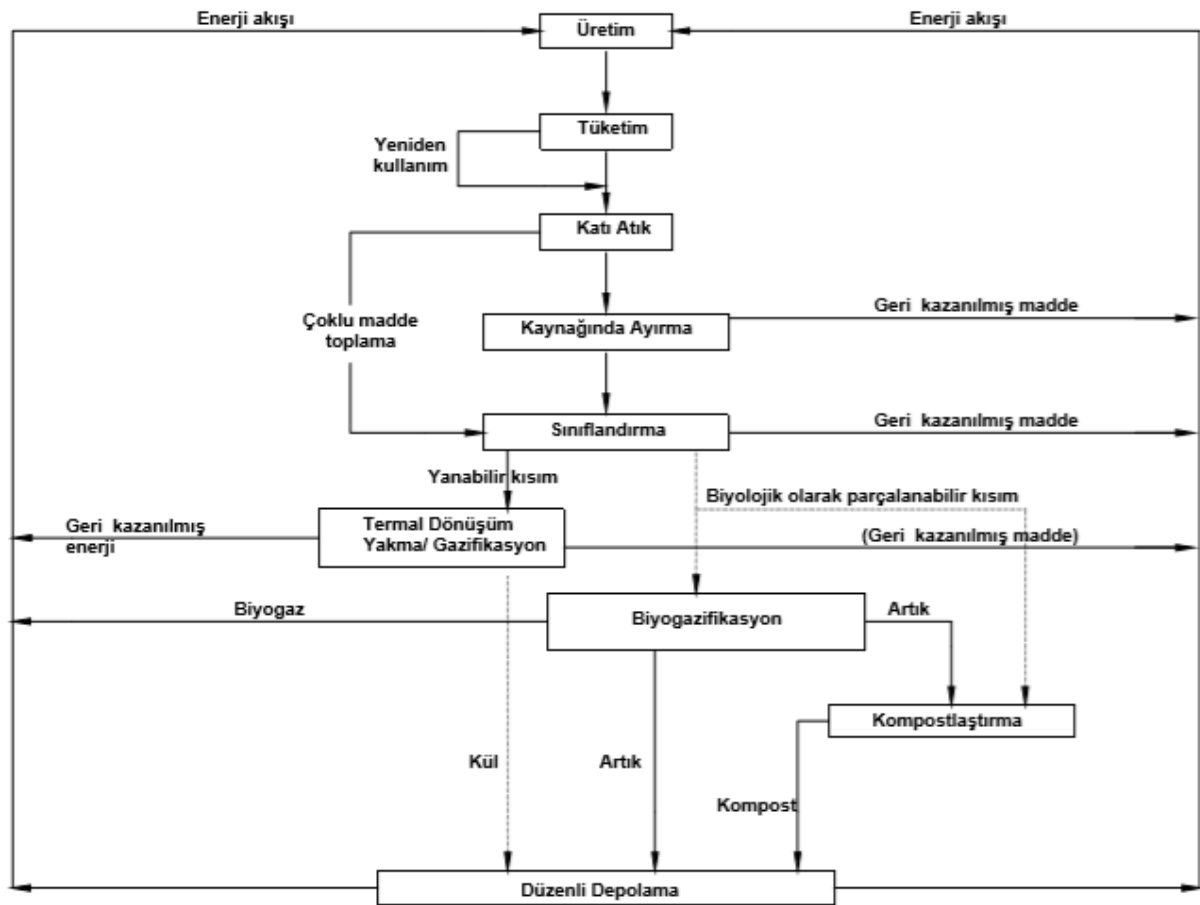
KAY; atıkların oluşumu, biriktirilmesi toplanması, taşınması, işlenmesi ve depolanması aşamalarını içerir. Modern katı atık yönetim sistemleri bu aşamaların haricinde tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanımın da olması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda atık yönetim hiyerarşisi Şekil 2’de verilmiştir. KAY için öncelik sıralaması dikkate alınarak 4 temel strateji öngörülmektedir. Bu stratejiler arasında karşılıklı ilişkiler söz konusudur. Stratejiler şu şekilde sıralanabilir (Anonim 2019c):

- Atık azaltma
- Maddesel geri dönüşüm
- Enerji geri kazanımı, termal dönüşüm
- Düzenli depolama

Entegre Katı Atık Yönetimi (EKAY) ise belirli bir atık yönetim amacı ve hedefine yönelik olarak gerekli uygun yöntem, teknoloji ve yönetim programlarının seçilmesi ve uygulaması olarak tanımlanırken ilgili yasal mevzuatta ön görülen hususların sağlanmasını da kapsar. Entegre atık yönetimi akış diyagramı Şekil 3’de gösterilmektedir (Anonim 2019c).



Şekil 2. Atık yönetim hiyerarşisi (Anonim 2019c)



Katı Atık Bertaraf Yöntemleri

Katı atıklar kompostlaştırma, yakma, piroliz ve düzenli depolama yöntemleriyle uzaklaştırılmaktadır. Bu yöntemler aşağıdaki gibidir.

Kompostlaştırma

Kompostlaştırma geri dönüşüm ve kaynakların yeniden kullanımı için uygulanabilir bir yöntem olup organik maddenin uygun şartlar altında humus ya da benzer nitelikteki ürüne dönüştürüldüğü biyokimyasal ayrıştırma prosesidir. Bu yöntem, aerobik veya anaerobik şartlarda gerçekleştirilebilir. Uygulamada daha çok aerobik kompostlaştırma tercih edilmektedir. Bu proseste en önemli enerji girdisi substrattaki organik moleküllerdir. Bu moleküller biyolojik aktivasyonla parçalanırken enerji hem yeni mikroorganizma kütesine dönüştürür hem de reaksiyon ısısı şeklinde açığa çıkar. Kompost prosesini yürüten organik parçalanmayla açığa çıkan enerji sıcaklığın yükselmesine ve substratta bulunması istenen nemin azalmasına neden olur. Organik maddenin kendini ısıtması mikrobiyal bir solunumun sonucudur. Sıcaklık artışı mikrobiyal popülasyonun yapısını mezofilik ve termofilik olacak şekilde etkilemektedir. Bu nedenle oluşan kompostun stabilitesi ve organik madde ayrışması

sıcaklığa bağlıdır. Proses esnasında oksijen tüketilirken karbondioksit ve su açığa çıkar. Bu süreçte karbondioksitle birlikte amonyak ve diğer uçucu organik bileşiklerde atmosfere verilmektedir (Öztürk vd 2016).

Kompostlaştırma prosesiyle ulaşılması istenen hedefler aşağıdaki gibidir:

- Biyolojik olarak ayrışabilir organik maddelerin, kararlı bir ürüne dönüştürülmesi ve atık hacminin azaltılması,
- Atığın içerisinde muhteva ettiği kirleticilerin bertarafını sağlamak,
- Atıkta bulunan mevcut koku probleminin önüne geçmek,
- Maksimum makro nutrient (N, P, K) ve mikro besi elementlerin muhtevasını korumak,
- Toprak iyileştiricisi olarak kullanılabilecek nihai bir ürün oluşturmak.

Yakma

Atık yakma/ gazlaştırma (termal dönüşüm), yanabilir atıkların yüksek sıcaklıklarda inert bir kalıntıya (kül, cüruf) dönüştürülmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Atık yakmadaki amaç atığın hem hacmini hem de ağırlığını azaltarak insan ve doğa üzerindeki etkilerini minimum seviyeye indirmektir.

Katı atık yönetiminde, bir arıtma seçeneği olan yakma ile enerji geri kazanımı da elde edilebilir. Yakma prosesinde atık ya doğrudan yakma işlemine tabii tutulur ya da ısıl değerini artırmak amacıyla yakma tesisinde daha etkin proses kontrolü sağlamak için ön işlem prosesi uygulanır.

Yakma uygulanabilecek atıklar aşağıdaki gibidir:

- Evsel katı atık
- Ticari atık (alışveriş merkezleri, ofisler)
- Endüstriyel atık
- Atıksu arıtma tesisi çamurları
- Tehlikeli atıklar
- Organik atıklarla kirlenmiş toprak

Teorik olarak kentsel atıkların yakılmasıyla kentin elektrik ihtiyacının %20'si karşılanabilir (Öztürk vd 2016).

Piroliz

Piroliz, oksijen yokluğunda stabil olmayan organik maddeleri gaz, sıvı ve katı bileşenlere dönüştüren termal (400-800°C) bir arıtım yöntemidir. Ekzotermik reaksiyon

gösteren yakma ve gazifikasyon proseslerinin aksine, piroliz endotermik bir olaydır (Atmaca 2015).

Düzenli depolama

Düzenli depolama, atıkların çevreye zarar vermeden özel olarak tasarlanmış yerlerde kontrollü bir şekilde bertaraf edilmesidir. Katı atık yönetiminin tarihi gelişimi süreci içinde düzenli depolama en yaygın bertaraf yöntemidir (Adar 2013).

Düzenli depolama yönetiminin amaçlarından biri yeraltı ve yüzey sularının kalitesinin korunmasıdır. Diğer bir amaç ise hem hava kalitesini korunması hem de enerji temini ile ekonomik getiri elde edilmesidir. Bunlara ilaveten depolama işlemi sona erdikten sonra da sahanın rekreasyon gibi amaçlar doğrultusunda etkili ve uzun süre kullanımının sağlanmasıdır.

Düzenli Depolama İle Bertaraf Yönteminin Detaylı İncelenmesi

Düzenli Depolamanın Üstünlük ve Kısıtlamaları

Katı atıkların bertarafında işletilmesindeki birtakım kolaylık ve zorluklar, yatırım ve işletme maliyeti gibi faktörler dikkate alındığında her bertaraf teknolojisi için üstünlük ve kısıtlamaları bulunabilmektedir.

Düzenli depolama işleminin üstünlük ve kısıtlamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Gürdal 2019):

Düzenli depolamanın üstünlükleri;

- Uygun arazi (istenilen özelliklere sahip) bulunduğu takdirde düzenli depolamanın en ekonomik yöntem olması
- Diğer bertaraf yöntemleri ile kıyaslandığında yatırım masraflarının düşük olması
- Nihai bir yöntem olması
- Depolama ömrü biten arazilerin farklı amaçlar için kullanılabilir olmasıdır.

Düzenli depolamanın kısıtlamaları;

- Yerleşim yerlerine yakın deponi alanları için halkın muhalefeti ile karşılaşılması
- Kalabalık yörelerde, ekonomik taşıma mesafesi içinde uygun yer bulmanın zor olması
- Sıvı ve gaz sızıntıları kontrol edilmezse tehlikeli durumların ortaya çıkmasıdır.

Düzenli Depolama Tesisi Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlar

Düzenli depolama tesisi tasarlanırken dikkat edilmesi gereken atık bertarafı ve çevreyi korumak adına en yüksek verimin elde edilebilmesi ve aynı zamanda depolama tesisinin iki çıktısı olan sızıntı suyu ve depo gazının kontrolü için birtakım kriterlere dikkat edilmesi gerekmektedir. Dikkate alınması gereken hususlar aşağıdaki gibidir:

- Düzenli depolama tesisleri projelendirilirken Atıkların Düzenli Depolamasına Dair Yönetmelik ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Genelgeleri esas alınmalıdır. Mevzuatta olmayan hususlarda Avrupa Birliği ve diğer yurtdışı mevzuatlara, mühendislik tasarım kriterlerine uyulmalıdır.
- Tesisin projelendirilmesi planı yapılırken ilk yapılması gereken doğru bir yerleşim planı uygulanmasıdır.
- Öncelikle lot yerleri belirlenirken sızıntı suyunun cazibe ile uzaklaşacağı, yağmur suyunun kontrol edileceği alanlar tercih edilmelidir. Aynı zamanda saha içi ulaşımında hızlı bir şekilde yapılacağı alanlar olmalıdır.
- Depolama alanlarının şev eğimleri $1(\text{dikey})/3(\text{yatay})$ 'ü geçmeyecek şekilde tasarlanmalıdır.
- Depolama alanlarının lotları büyük yapılmaktan kaçınılmalı, değişik sebeplerle lotlar büyük yapılırsa küçük seddelerle lotlar bölünerek çalışılmalıdır (Anonim 2014).

Düzenli Depolama Yöntemleri

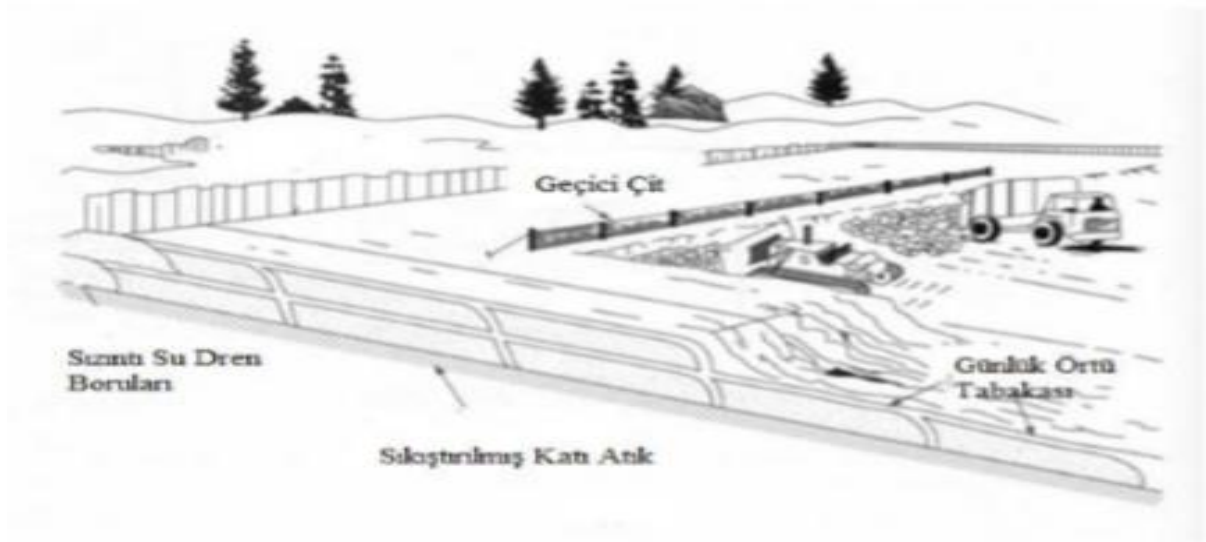
Atıkların düzenli depolama yapılacağı alandaki mevcut sahayı ergonomik şekilde kullanmak için atıkların deponi alanına serilmesinden işletilmesi sürecine kadar uygulanabilecek yöntemler vardır. Depolama sahasının topografyası, zemin özellikleri, çevredeki malzeme (günlük örtü toprağı), ocaklarının kapasitesi, toprak malzemenin özelliğı, ocakların depolama alanına olan uzaklıkları, depolamada kullanılabilecek ekipmanlar ve deponi sahasının seçilen işletme özelliklerine göre farklılık oluşturmaktadır.

Deponi sahalarında anaerobik süreçler meydana gelmekte ve bu durumların oluştuğı depolama alanları genel olarak konvansiyonel yöntemlerle işletilmektedir. Konvansiyonel

depolama, atığın bir hücreye sıkıştırılarak üzeri toprak malzemeyle kaplanıp zeminde depolanmasıdır. Düzenli depolama alanını en uygun şekilde kullanmak için atıkların deponi sahasına yerleştirilmesi ile ilgili en yaygın kullanılan yöntemler;

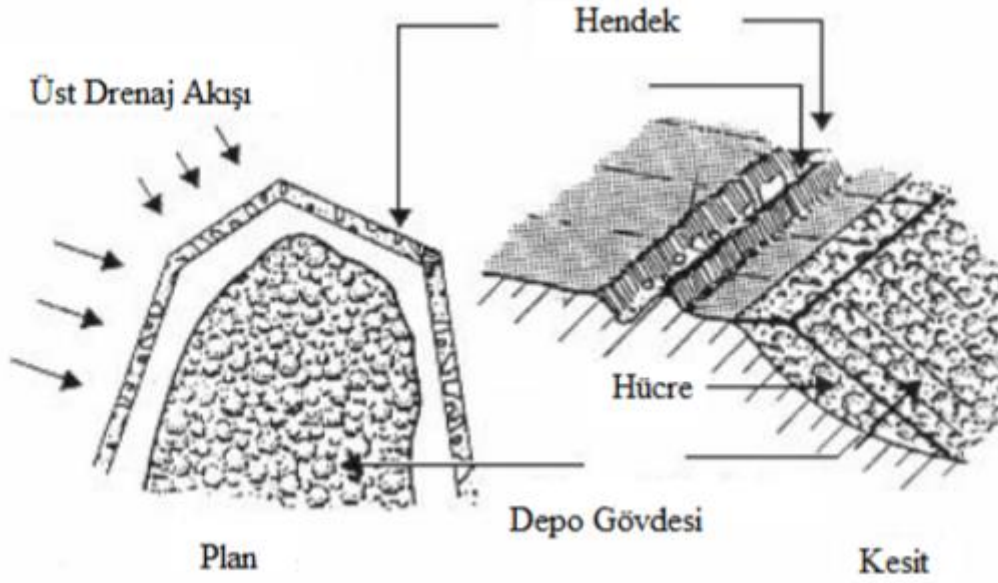
(i) Alan yöntemi, (ii) Hendek yöntemi ve (iii) Çukur yöntemidir.

Alan yöntemi; depolama için kullanılması planlanan arazinin hendek kazımı için uygun olmadığı durumlarda kullanılan yöntemdir. Başka bir ifadeyle, atığın arazinin üzerine serilmesidir. Bu yöntemde arazi üzerinde kalan atık yığınının aktif tarafı atıkların uçmasını en aza indirgeyecek şekilde yapılmalıdır. Şekil 4’de görülmekte olan alan yönteminde, atıklar 30-60 cm kalınlıkta uzun ve dar şeritler halinde araziye serilmekte ve sıkıştırılarak 2-3 m yüksekliğe kadar bertaraf edilmektedir. Ayrıca bu yöntemde ise depolanan sıkıştırılmış atık yığını üzerine 20-30 cm kalınlığında toprak serilmelidir (Gümüşel 2019).



Şekil 4. Atıkların alan yöntemi ile bertarafının şematik görünümü (Gümüşel 2019).

Hendek yöntemi; küçük yerleşim yerleri için uygulanan olan bir atık bertaraf yöntemidir. Yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olmadığı, örtü malzemesinin yeteri miktarda bulunduğu alanlarda, arazinin kazılıp atığın buraya doldurulması ve üzerinin örtülerek kapatılması yöntemidir (Gümüşel 2019). Şekil 5’de atıkların hendek yöntemiyle bertarafı gösterilmiştir.



Şekil 5. Atıkların hendek yöntemi ile bertarafının görünümü (Gümüşel 2019)

Çukur yöntemi; doğal veya yapay şartlarla mevcut vadi, kanyon, taş ocağı veya büyük çukurlarda atığın nihai bertarafının yapıldığı yöntemdir. Bu tür yerlerdeki atık depolama yöntemi (boşaltma, sıkıştırma vb.) tamamen arazinin şekli, geometrisi, jeolojisi, hidrolojisi, ulaşım özellikleri ve örtü malzemesinin özelliklerinden doğrudan etkilenmektedir (Gümüşel 2019). Şekil 6’da atıkların çukur yöntemiyle bertarafı gösterilmiştir.



Şekil 6. Atıkların çukur yöntemi ile bertarafının görünümü (Gümüşel 2019)

Düzenli Depolama Sahasının Çıktıları

Katı atıkların düzenli depolama sahasında depolanması ile ortamda başlayan biyokimyasal süreç sonucu sahadan iki önemli çıktı elde edilmektedir. Bunlardan biri depo gazı diğeri ise sızıntı suyudur.

Düzenli Depolama Gazı (LFG)

Düzenli depolama gazı (LFG), tanımı gereği, anaerobik koşullar altında düzenli depolama alanlarında üreyen bir gazdır. Bu nedenle, LFG esas olarak metan ve karbondioksitten oluşur. Ayrıca depo gazı iz bileşenlerde içerir. Bu bileşenler katı ve sıvı atıklardan buharlaşma yoluyla gaz fazına aktarılır. Ayrıca biyolojik bozunma işleminden elde edilen bazı yan ürünler amonyak (NH_3) ve hidrojen sülfür (H_2S) LFG’ de çoğunlukla düşük konsantrasyonlarda bulunur.

Deponi İçerisinde Gaz Oluşumu

Düzenli depolama bünyesindeki ana gaz bileşiklerinin konsantrasyonu zaman içinde değişmektedir. LFG kompozisyonunun zamana göre değişimi sekiz aşamadan ibarettir. Bu aşamalar Şekil 7’de gösterilmiştir.

Aşama I-III: LFG üretimi gelişmeye başlar.

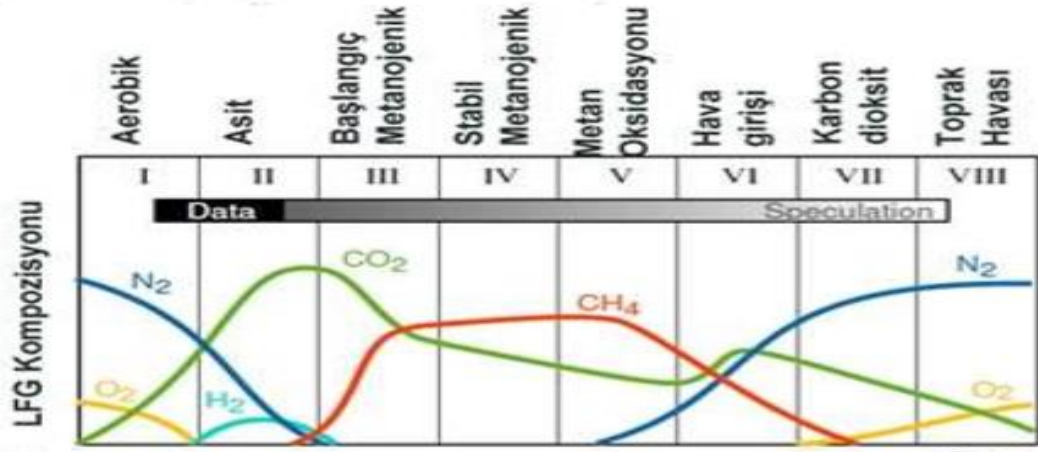
Aşama IV: Düzenli depolama alanında istikrarlı bir gaz üretimi gerçekleşir. Düzenli depolama dolgusundaki gözenekler ve küçük boşluklar sayesinde yüzeyinde gaz emisyonları ölçülebilir.

Aşama V: Gaz üretimi azalır, ancak kararlıdır. Kolay bozunabilir atık bileşenleri biyolojik olarak parçalanarak azaltılmıştır. LFG emisyonları bu aşamada daha düşük olmaktadır. Gazın bileşimi değişmeye başlar çünkü kolay parçalanabilir fraksiyon neredeyse bozunmuştur ve daha zor organikler mevcuttur.

Aşama VI: Gaz üretimindeki azalmaya bağlı olarak, depolama sahasına hava girişi gerçekleşebilir. Bu işlem yüzeyden daha derin katmanlara doğru gerçekleşir. Gaz girdisi sonucunda aerobik süreçler başlar. LFG emisyonları azalır ve bazı bölgelerde sadece çok düşük konsantrasyonlarda tespit edilir.

Aşama VII: Aerobik süreçlerin bir sonucu olarak, karbondioksit üretilmektedir. Bu nedenle (CH_4) : (CO_2) oranı daha da azalacaktır. Ortamda çok düşük LFG emisyonları olacaktır.

Aşama VIII: Çöp depolama alanı neredeyse aerobik durumdadır. Depolama alanında kalan bazı organik maddeler düşük konsantrasyonlarda karbondioksit üretilir.



Şekil 7. Düzenli depolama sahasında gaz oluşum aşamaları (Anonim 2014)

Düzenli depolama gazının üretimini etkileyen faktörler

Düzenli depolama alanında LFG üretimi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler;

- Atığın türü ve bileşimi
- Nem içeriği
- Besin maddeleri
- Atığın yoğunluğu
- Sıcaklık ve pH
- Depolama alanındaki oksijen
- Kalıntı yaşı olarak sınıflandırılabilir.

Atık bileşimi

Daha fazla organik atık olduğunda daha yüksek miktarda LFG üretilir. Bu organik atıklar mutfak atıklarını ve bahçe atıklarının bir kısmını içerir. Diğer taraftan, biyolojik olarak parçalanamayan atıklar cam, beton, plastik, metal ve diğer aktif olmayan malzemeler çok az veya hiç LFG üretemezler. Tablo 1’de düzenli depolama işlemleri sırasında yayılan düzenli depolama gazının süresi ve miktarı verilmiştir.

Tablo 1. Düzenli depolama işlemleri sırasında yayılan düzenli depolama gazının süresi ve miktarı (Purmessur and Surroop 2019).

Dönemin adı	Dönem süresi (yıl)	Yayılan gaz miktarı %
İlk	5	8
Zirve	2	4
Durağan	20	83
Azalan	18	5
Tüm dönem	45	100

Besinler

Potasyum gibi bazı besin maddelerine bağı olarak LFG üretimi artar. Organik atıklarda bulunan sodyum, magnezyum ve kalsiyum bakterilerinin büyümesini hızlandırır. Bununla birlikte bazı bileşikler bakterilere zarar verir. Bu nedenle LFG oluşumunu engeller. Örneğin, atık tuz konsantrasyonları yükseldiğinden metan üreten bakteriler kısıtlanabilir (Purmessur and Surroop 2019).

Nem içeriği

Maksimum gaz miktarı, nem içeriği yaklaşık %40 veya daha fazla olduğunda üretilir. Ayrıca, atık sıkıştırıldığında suyun atığa nüfuz etmesini zorlaştırır ve gaz oluşumunu geciktirir (Purmessur and Surroop 2019).

Sıcaklık

Mikrobiyolojik süreçlerde anaerobik ayrışmayı sağlayan bakterileri etkileyen en önemli etkenlerden biri de sıcaklıktır. Bakteriyel aktiviteler sıcaklık artışı ile indüklenir, böylece LFG üretim hızı artar. Volatilizasyon ve kimyasal reaksiyonlar daha yüksek sıcaklıklarda tetiklenir. Bakteriyel aktivite genellikle sıcaklık 10°C' nin altına düştüğünde gaz oluşumu önemli ölçüde azalır (Purmessur and Surroop 2019).

Düzenli depolama alanındaki oksijen

Metan sadece oksijenin içinde olmadığı zaman anaerobik bakteriler tarafından üretilir. Deponi sahasında herhangi kullanılmayan oksijen bulunması metan oluşum oranını azaltacaktır(Purmessur and Surroop 2019).

Çöp yaşı

Atıklar gömüldükten bir süre sonra organik maddenin bozunması sonucunda LFG oluşmaya başlar. Maksimum LFG genellikle deponi sahasında 5 ila 7. yıl arasında üretilir(Purmessur and Surroop 2019).

Düzenli Depolama Gazı İle İlişkili Riskler

LFG metan ve karbondioksit ek olarak sera gazı oluşumuna neden olmaktadır. LFG ayrıca uçucu organik bileşikler ve tehlikeli hava kirleticiler bulundurduğu için atmosferde ozon oluşumuna katkıda bulunulur. Ayrıca depo gazı aşağıdaki gibi çeşitli güvenlik risklerine neden olabilmektedir. Bu riskler Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. LFG'nin oluşturduğu riskler (Purmessur and Surroop 2019).

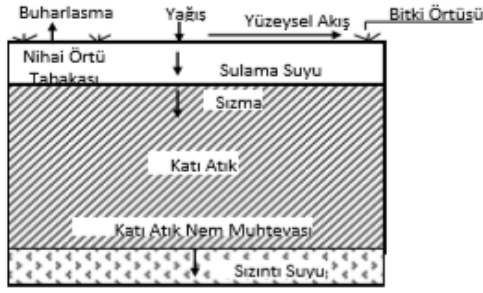
Patlama	Gaz deponi alanından dışarıya çıkacak bir yol bulamazsa, yer yüzeyinde basınç oluşmaya başlar. Bu aşırı basınç nedeni ile ani patlamalar meydana gelebilir.
Boğulma	LFG sınırlı alanlarda toplanırsa insanlar asfiksi çekebilirler. Bu durum oksijen içeriğini hacimce % 10'un altına düşürerek nefes almayı çok zorlaştırır.
Toksisite	LFG' nin belirli bileşenlerinin yüksek konsantrasyonları, karbondioksit ile birlikte toksik olabilir. Öte yandan, hidrojen sülfür düşük konsantrasyonlarda zararlıdır.
Koku	Düzenli depolama alanındaki kötü kokular çoğunlukla eser bileşiklerin varlığı nedeniyle ortaya çıkar. Bu, düzenli depolama sahasındaki çalışan insanlar için olduğu kadar, evre bölgelerin sakinleri içinde problemdir.
Küresel ısınma	Düzenli depolama gazı iklim değişikliğine katkıda bulunan CH ₄ ve CO ₂ 'den oluşur. CH ₄ 'n küresel ısınma potansiyeli 100 yıllık bir zaman dilimi içinde CO ₂ den yaklaşık 26 kat fazladır.

Düzenli Depolama Sahasında Sızıntı Suyu

Sızıntı suyu düzenli depolama sahalarının en önemli ürünlerinden biridir. Yüksek kirliliğe sahip bir materyal olan sızıntı sularının hidrojeolojik olarak güvenli sızdırmaz depolarda tutulmaya çalışılması çevreye vereceği zararların önüne geçmez. Bu nedenle sızıntı suyunun kontrolü için çevresel özellikler de dikkate alınarak uygun bir yönetim sistemi belirlenmelidir.

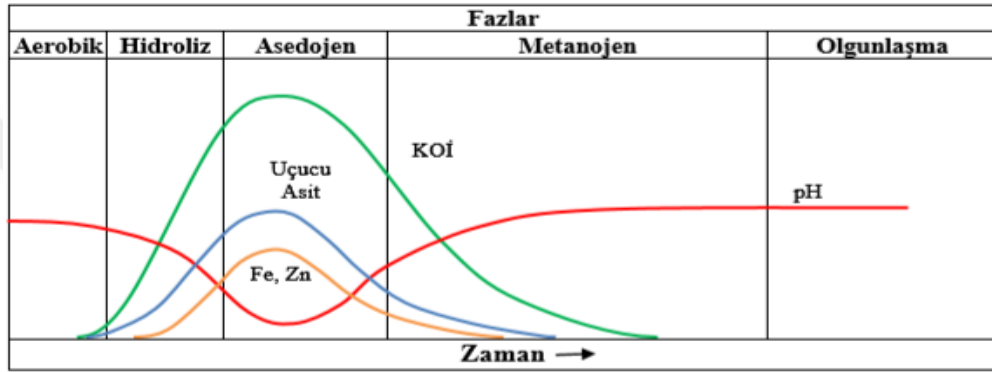
Sızıntı suyunun oluşumu

Katı atıklar, düzenli depolama sahasında depolandıktan sonra ortamda çeşitli kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar gerçekleşir. Bu reaksiyonların oluşumuna katkıda bulunan iki etken atık bünyesindeki nem ve sızma yoluyla depo sahasına giren yağışlardır. Yağışın sızan kısmı kirleticilerin çözünmesini sağlarken aynı zamanda kirleticilerin biyolojik olarak ayrışmasına da katkıda bulunur ve biyolojik olarak ayrışan kirleticiler tekrar çözünürler. Bu oluşumlar ile ayrışan ve çözünen katı atıklardan organik ve inorganik bileşikler açığa çıkararak sızıntı suyunun bünyesine dahil olur. Katı atık ve sızıntı suyu arasındaki bu etkileşimler şekil 8'de gösterilmiştir. Depolama alanında gerçekleşen bu reaksiyonların nihai ürünleri, sızıntı suyu ve depo gazı ile ortamdaki uzaklaştırılır.



Şekil 8. Sızıntı suyu oluşumu ve kirleticilerin sızıntı suyuna geçişi (Öztürk 1999)

Düzenli depolama sahalarında sızıntı suyu oluşumu zamana bağlı olarak çeşitli aşamalar halinde gerçekleşmektedir (Alver 2012). Bu aşamalar Şekil 9'daki gibidir:



Şekil 9. Sızıntı suyu oluşum evreleri (Alver 2012)

Sızıntı suyu oluşumu 5 evre ile temsil edilmektedir. Bunlar şu şekildedir:

I. Evre (Alışma Evresi):

Atıkların depolama alanında biriktirilmesi sonrasında meydana gelen ilk evredir. Bu evrede, büyük moleküllü bileşikler ana bileşenlerine parçalanır. Bu işlemler sırasında sıcaklık artar ve pH düşer.

II. Evre (Geçiş Evresi) - Anaerobik / Asit Özümseme evresi:

Bu evrede, anaerobik mikroorganizmaların etkinlikleri sonucunda uçucu asit ve inorganik iyonların derişimleri azalır, dolayısıyla pH ve redox potansiyeli azalır. Oluşan sülfidler, asit fermentasyonu sonucu ortaya çıkan demir, mangan ve ağır metalleri çöktürür. I. Aşamadan daha uzun süren bu evrede, BOİ/KOİ oranı ve amonyak konsantrasyonlarında yükseliş gözlemlenir.

III. Evre (Asit Oluşum Evresi) Anaerobik:

Daha uzun süren bu evrede, metanojenik bakteriler yavaş yavaş üremeye başlarlar. Bunun sonucunda metan üretimi artmaya başlar, uçucu asit yoğunluğu azalır ve dolayısıyla pH

yükselir. Ağır metal konsantrasyonu da yavaşça düşmeye başlar. Üretim hızı yavaşlarsa da amonyak üretimi devam eder.

IV. Aşama - Anaerobik / Metanojen:

Bakterilerin ağırlıklı olarak görev aldığı bu evrede, temel organik maddelerin özümsemesi tamamlanmasına karşın metan üretimi devam eder. pH genelde nötre yakındır. Düşük BOİ/KOİ oranı ve ağır metal yoğunluğu gözlemlenir.

V. Evre –Aerobik /Olgunluk Evresi:

Bu evre depolama alanlarındaki gaz üretiminin düştüğü ve sızıntı suyunun kompozisyonunda durağan konsantrasyonların elde edildiği evredir (Anonim 2014).

Sızıntı suyu karakteristiği

Sızıntı suyu oldukça değişken ve heterojen bir yapıya sahiptir. Sızıntı suyunun karakteristiği depolama sahasında depolanan katı atıkların özellikleri ve ortam içerisinde oluşan kimyasal ve biyolojik reaksiyonlarla bire bir alakalıdır.

Genellikle evsel katı atıklar tehlike içermeyen atıklar olarak değerlendirilmekle birlikte tehlikeli atıklar da içerebilmektedirler. Boyalar, deterjanlar, florasan tüpleri, atık yağlar, pestisitler, fotoğraf kimyasalları, ağır metal içeren piller, elektronik atıklar, elektrikli aparatlar, farmasötik atıklar gibi tehlikeli materyaller düzenli depolama sahalarına gönderilmektedir. Bu nedenle düzenli depolama sahalarında oluşan sızıntı suları çok çeşitli organik ve inorganik bileşenleri içermektedirler (Slack *et al.* 2005; Eggen *et al.* 2010).

Teknolojik gelişmelerle de bağlantılı olarak tüketim alışkanlıklarındaki değişimler sonucunda sızıntı suyu karakteristiğinde de 1990'lardan sonra önemli değişiklikler kaydedilmiştir. Önceleri sızıntı suyu karakteristiği organik madde, kimyasal ve biyolojik oksijen ihtiyacı, nütrientler ve metal iyonları ile değerlendirilmiştir. Son 30 yıldır sızıntı suyunda tehlikeli organik kimyasal grupların mevcudiyeti tespit edilmiştir. Tehlike oluşturan bu bileşenlerin başında polisiklik aromatik bileşikler, klorlanmış alifatik bileşikler, fenolik bileşikler, ftalatlar, pestisitler gibi xenobiyotik organik bileşikler (XOC) bulunmaktadır (Kulikowska and Klimiuk 2008). Bunlarla birlikte perflorlanmış bileşikler gibi grupların da yeni kirletici maddeler olduğu belirtilmektedir (Eggen *et al.* 2010).

XOC'ler doğrudan depolama alanlarına atılan atıklardan açığa çıkar. Biyolojik parçalanma sonucu açığa çıkan çözünmüş organik karbon seviyesi arttıkça ftalat esterleri gibi hidrofobik XOC'lerin varlığı görülür. Çözünmüş organik karbon konsantrasyonu aynı zamanda deponi sahasındaki metallerin taşınımını da etkiler. Katı fazda veya sızıntı suyunda gerçekleşen

biyolojik ve kimyasal dönüşümler nispeten zararsız organik bileşiklerden toksik maddelerin oluşumuna yol açabilirler. Kontrollü bir madde olan 1,4-dioksan böyle bir dönüşümden kaynaklanırken diğer bir toksik bileşik olan karbon tetraklorür, polivinil klorür (PVC)'nin bir ürünüdür. Ortamda bulunan mikroorganizmalar ve abiyotik redoks ortamlarından anaerobik şartlarda zayıflatılmış klorlu çözücülere dikloroeten ve vinilklorür örnek verilebilir. Düzenli depolama sahalarında asit oluşum ve metanojen fazlarında poliklorlanmış bifeniller gibi (PCBs) düşük seviyede organik bileşenler de bulunabilir. BTEX bileşikleri (benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen) aerobik şartlar altında bozunabilirler ancak düzenli depolama sahaları gibi anaerobik şartlarda özellikle benzen bulunması halinde çok az bozunma gösterdiklerinden yeraltı sularını kirletme oranı yüksektir. Fenoller ve pestisitlerin aerobik ve anaerobik koşullarda bozunma şartları değişkenlik gösterir. Pentaklorofenol anaerobik koşullarda parçalanırken bir pestisit olan mecoprop anerobik şartlarda bozunmaya karşı direnç gösterir. Dolayısıyla bu maddeler sızıntı suyuna geçerler. Benzer şekilde fitalatlar ve diğer plastik kaynaklı maddeler anaerobik ve aerobik şartlarda önemli ölçüde azalmadıklarından sızıntı sularında bulunan XOC'lerdir. XOC genellikle tehlikeli olarak sınıflandırılırlar. Evsel katı atık depolama sahası sızıntı suyunda bulunan bazı XOC'ler Tablo 3'de verilmiştir. (Slack *et al.* 2005; Comstock *et al.* 2010)

Tablo 3. Evsel katı atık depolama sahası sızıntı suyunda bulunan bazı XOC' ler (Slack *et al.* 2005; Comstock *et al.* 2010)

Klorobenzen	Endüstriyel çözücüler
1,4-Diklorobenzen	Tuvalet deodorantları, Naftalin
Tolüen	Boyadaki solventler, boya incelticiler, vernikler
Etilbenzen	Pestisitler, cilalar, yapıştırıcılar ve boyalar
Fenol	Dezenfektan, ilaçlar
Klorofenoller	Pestisitler, antiseptikler ve Cl-arıtılmış su
Triklorofenoller	PCP
Ksilen	Boyalardaki çözücüler, ojeler
Benzen	Boya, böcek ilacı, ilaç, yağlayıcı ve deterjanlar
Monometil fitalat	Plastikler

Sızıntı sularının en önemli tehlikeli inorganik bileşikler ise ağır metallerdir (Frikha *et al.* 2017). Sızıntı suyunda sıklıkla rastlanan ağır metaller çinko, bakır, kadmiyum, kurşun, nikel ve civadır. Sızıntı suyunun ağır metal içeriği çözünmüş organik karbon emiliminin artması, sülfatlar ve metallerin çökertilmesinden dolayı asit fazdan metenojenik faza doğru azalma göstermektedir. Düzenli depolama sahalarına gelen ağır metallerin %0,02' sinden daha azının

yağışlar ve organik- inorganik sorpsiyondan dolayı metallerin sabitlenmesiyle çöp alanlarından atıldığı görülmüştür. Örneğin, atık sahasında bulunan civa çoğunlukla çözünmez bir sülfid çökeltisi halindedir. Bu nedenle sızıntıya karşı dirençlidir. Ancak modern atık depolama alanlarındaki anaerobik koşullar civanın daha fazla çözünebilir ve uçucu metilciva bileşiğine dönüşmesine yol açabilmektedir. Dolayısıyla bu durum depo sahalarında atmosferik civanın en önemli kaynağıdır. Sızıntı sularında bulunan ağır metaller ve konsantrasyonları Tablo 4’de gösterilmektedir (Slack *et al.* 2005).

Tablo 4. Sızıntı sularında bulunan ağır metaller (Slack *et al.* 2005)

Kadmiyum	Piller
Nikel	Piller
Çinko	Elektrikli ev aletleri
Bakır	Piller
Kurşun	Elektrikli ev aletleri
Krom	Piller
Civa	Piller
Arsenik	Ev aletleri
Kobalt	Ev aletleri

Sızıntı suyunun en önemli diğer bileşenlerinden biri de XOC’ler den daha fazla üretilen amonyak azotudur. Tehlikeli olarak sınıflandırılmamasına rağmen depolama alanlarından kaynaklanan baskın çevresel kirleticilerden biri olarak değerlendirilir ve dolayısıyla depolama alanlarının yönetimi için problem teşkil eder. Genellikle diğer kirleticilerden daha yüksek konsantrasyonlarda depolama alanından çıkar bu nedenle de yer altı sularında en sık görülen kirleticisi olarak tanımlanır (Slack *et al.* 2005; Kulikowska and Klimiuk 2008; Frikha *et al.* 2017).

Sızıntı sularının diğer makro bileşikler Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cl, HCO_3^{-1} , SO_4^{2+} , NH_4 bunların haricinde düşük konsantrasyonlarda ve ikincil öneme sahip As, Ba, Li ve Co bulunabilmektedir (Christensen *et al.* 2001). Sızıntı suyu kompozisyonu; atıkların özellikleriyle birlikte iklimsel şartlara ve uygulanan operasyon şekline bağlıdır. Bu etkilerin haricinde depo yaşı sızıntı suyu karakteristiğinde önemli değişimler meydana getirmektedir.

Genellikle genç depolama sahalarında üretilen sızıntı suyu karakteristiğinde asit fazın bir ürünü olan uçucu asitlerin önemli miktarda olduğu görülmektedir. Yaşlı deponi sahalarında ise sızıntı suyundaki organiklerin önemli bir bölümü humik ve fulvik benzeri fraksiyonlardan oluşmaktadır. Genç deponilerde asidik sızıntı sularında KOİ 10.000 mg/L iken on yıldan daha yaşlı deponi sahalarındaki sızıntı sularında KOİ 3000 mg/L den daha düşük olmaktadır (Frikha *et al.* 2017). Biyokimyasal oksijen ihtiyacının kimyasal oksijen ihtiyacına oranı (BOİ/KOİ)

sızıntı suyunun sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır. BOİ/KOİ oranı <0,1; 0,1-0,5 ve >0,5 olduğunda sızıntı suyu sırasıyla stabilize olmuş, orta seviye stabilize olmuş ve taze özellikte değerlendirilebilmektedir (Comstock *et al.* 2010). Bu durum sızıntı suyunun depo yaşıyla değişiminin bir göstergesidir. Genç depo sahalarında oluşan sızıntı sularında biyolojik olarak kolay parçalanabilen uçucu yağ asitleri miktarı fazladır. Bu nedenle genç depo sahalarında BOİ/KOİ >0,5'tir. Yaşlı depo sahalarında ise BOİ/KOİ oranının < 0,1 olması biyolojik ayrışmanın tamamlandığını ve dolayısıyla kolay ayrışabilen organik maddelerin seviyesinin düştüğünü göstermektedir. İlk birkaç yıl içerisinde sızıntı suyunda organik ve inorganik kirlilik yükleri en yüksek konsantrasyonlara ulaşırken benzer durum mikroorganizmalar içinde geçerlidir (Öztürk 1999). Sızıntı sularının deponi sahası yaşına göre özellikleri Tablo 5'de belirtilmiştir.

Tablo 5. Sızıntı sularının deponi sahası yaşına göre özellikleri (Foo and Hameed 2009)

	Genç	Orta Yaş	Yaşlı
Deponi Sahasının Yaşı	<5	5-10	>10
pH	<6.5	6.5-7.5	>7.5
KOİ	>10,000	4,000-10,000	<4,000
BOİ/KOİ	0,5-10	0.1-0.5	<0.1
Organik İçerikler	%80 Uçucu Yağ Asitler(VFA)	%5-30 (VFA)+ Hümik ve fülvik asitler	Hümik ve fülvik asitler
NH ₃ -N (mg/L)	<400		>400
TOK/KOİ	<0.3	0.3-0.5	>0.5
Kjeldahl Azotu (g/L)	0.1-0.2		
Ağır metaller (mg/L)	Düşük ya da orta	Düşük	Düşük
Biyobozunma	Önemli	Orta	Düşük

Sızıntı suyunun çevresel etkileri

Sızıntı suyunda oluşan bu XOC'ler ve ağır metaller toksik, aşındırıcı, yanıcı, reaktif, kanserojen, teratojenik, mutajenik etkileriyle birlikte birikim ve kalıcılık özelliklerine sahiptirler (Slack *et al.* 2005).

Evsel katı atık sahalarında 200'den fazla organik bileşik mevcuttur bunların içinde 35 bileşiğin çevre ve insan sağlığı üzerinde potansiyel bir tehlike oluşturduğu belirtilmektedir. Depolama sahalarından kaynaklı yeraltı sularını kirleten 1000'den fazla kimyasal mevcuttur. Bunların önemli bir bölümü selüloz ve hemiselüloz kaynaklıdır (Slack *et al.* 2005).

Sızıntı Suyu Yönetimi

Düzenli depolama sahalarının işletilmesinde sızıntı suyu yönetimi dikkate alınması gereken en önemli konulardan biridir. Sızıntı suyu yönetimi kapsamında yağmur suyu yönetimi, sızıntı suyu toplama sistemleri, sızıntı suyu arıtma sistemleri bulunmaktadır.

Depolama Sahalarında Yağmur Suyu Yönetimi

Yağmur suları, arıtılması oldukça zor olan sızıntı suyu debisini arttırmakla beraber en büyük işletme problemlerine sebep olmaktadır. Düzenli depolama alanlarında iyi bir yağmur suyu yönetimi yaparak sızıntı suyu miktarının azalması sağlanabilir. Yağmur suyu yönetimi iyi bir şekilde sağlanmazsa, sadece tesisin mansap kısmındaki alıcı ortamları (atık, sediment, kimyasal kirleticiler vb.) değil, depolama sahası işletilmesi uygulamalarını ve maliyeti de etkileyeceği gibi sızıntı suyu miktarının da artmasına sebep olur. Dolayısıyla iyi bir yüzeysel su drenajı sağlanması tüm düzenli depolama alanı tasarımlarının önemli bir parçasıdır. Sızıntı suyu oluşumunu en aza indirmek için;

- Atık depolama hücrelerini küçültmek,
- Depolama yapılan hücrelerin üzerini geçici örtülerle kapatmak,
- Depo alanı dışından gelebilecek yağmur sularının depolama sahasına girişini önlemek ve yağmur suyu kontrolünü sağlamak,
- Depo nihai örtüsü üzerinde yeterli yüzeysel su (yağmursuyu) drenajı yapmak gibi teknik tedbirlerin alınması gereklidir.

Ayrıca, deponi dışından gelebilecek yağmursularının, bilhassa işletmede olan hücrelerden uzak tutmak için ve nem içeriği yüksek atık bileşenlerinin düzenli depolama dışında bir atık bertaraf yöntemi ile değerlendirilmesi gereklidir.

Düzenli depolama tesisleri için; yüzey suyu kontrolü ve sızıntı suyu yönetimi için;

- Depolama sahasına yağıştan kaynaklanan yüzeysel suların girmesini engellemek,
- Sızıntı suyu drenaj hattına yağış suyu girişini minimize etmek,
- Yüzeysel suların ve/veya yeraltı sularının depolanmış atığa temasını engellemek,
- Depolama sahasında toplanmış kirlenmiş suları ve sızıntı suyunu deşarj standartlarına uygun hale getirmek ve arıtmak amacıyla önlemler almak gerekir.

Deponi alanlarında yağmur suyu drenaj sisteminin aşağıda belirtilen önemli fonksiyonları vardır:

- Çevreden ve depolama sahasından gelen (kirlenmemiş) yüzeysel akışı mansaptaki deşarj noktasına uygun taşınımını sağlamak
- Atık depolaması yapılmayan, ancak taban drenaj sistemi kurulan hücrelerden gelecek sızıntı suyu ile kontamine olmamış yağmursularının aktif kısmın sızıntı suyu ile karışımını önlenmek
- Yüzey suyunun atık kütesine (mümkün olduğunca) girmesini engelleyerek sızıntı suyu oluşumunu minimize etmek
- Yüzeysel suların atıkla veya sızıntı suları ile kirlenmesini engellemek
- İşletmedeki veya tamamlanan atık hücrelerindeki toprak kaybını ve erozyonunu önlemek
- Yangın söndürme vb. amaçlar için su kaynağı oluşturmak
- Sahadan yüzeysel akışa geçen suyun kontrolünü ve uygun biçimde saha dışına yönlendirilmesini sağlamak gibi fonksiyonları vardır.

Düzenli depolama alanlarında bulunan bir yüzeysel su toplama kanalı Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 10. Yağmur suyu toplama kanalı (Anonim 2014)

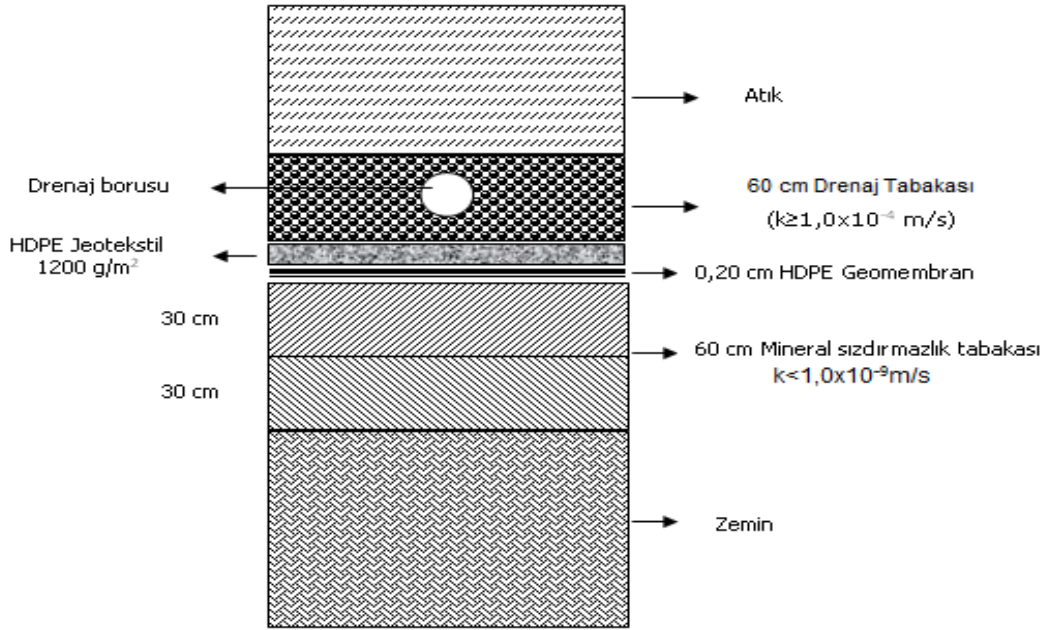
Düzenli Depolama Sahalarında Sızıntı Suyu Toplama Sistemleri

Düzenli depolama sahalarında biyolojik ve kimyasal süreçler sonucu oluşan sızıntı sularının deponi içerisinden uzaklaştırılması gerekmektedir. Sızıntı suyunu düzenli depolama sahasından uzaklaştırmak için deponi tabanına sızıntı suyu toplama sistemi yapılır.

Bu sistem birden çok unsurun bir araya gelmesiyle elde edilir. Depolama alanının içinde ve depolama alanının çevresinde olmak üzere iki sistem kurulmalıdır. Sızıntı suyu drenaj

sistemi; düzenli depolama alanının tabanında sızıntı suyunu toplamaya yardımcı olur. Çevresel toplama sistemi ise yüzey sularının deponi sahasına girişini engeller (Özgöçmen 2007).

Sızıntı suyu toplama sistemi; iri taneli malzemeden oluşan bir drenaj tabakası ile sızıntı suyunu toplamak amacı ile yerleştirilmiş drenaj borularından oluşur. Sızıntı suyu toplama sistemi görevini yerine getirebilmesi için altında düşük geçirgenlikli bir sızdırmazlık tabakası bulunmalıdır (Özgöçmen 2007). Deponi sahalarının taban teşkili ve drenaj borularının tasarımı Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Deponi sahası taban teşkili ve drenaj borularının tasarımı

Sızıntı suyu toplama sistemi elemanları

Drenaj sisteminde kullanılan başlıca elemanlar; sızıntı suyu drenaj boruları ile bu boruların çevresini kaplayan çakıdır. Drenaj tabakası; atık ve sızıntı suyu toplama sistemi arasında yüksek geçirgenliğe sahip çakılardan meydana gelir. Bu tabaka sızdırmazlık tabakası üzerinde biriken sıvıyı toplamak amacı ile bir miktar eğim verilerek dizayn edilir. Drenaj tabakasının geçirgenliği 10⁻³- 10⁻² cm/s civarında olmalıdır (Özgöçmen 2007).

Sistemin yerleştirilmesi ile ilgili şu hususlar göz önüne alınmalıdır (Özgöçmen 2007):

- Sızıntı suyu debisi
- Drenaj tabasının kalınlığı ve hidrolik iletkenliği
- Deponi sahasının tabasının eğimi
- Borular arasındaki uzaklıklar.

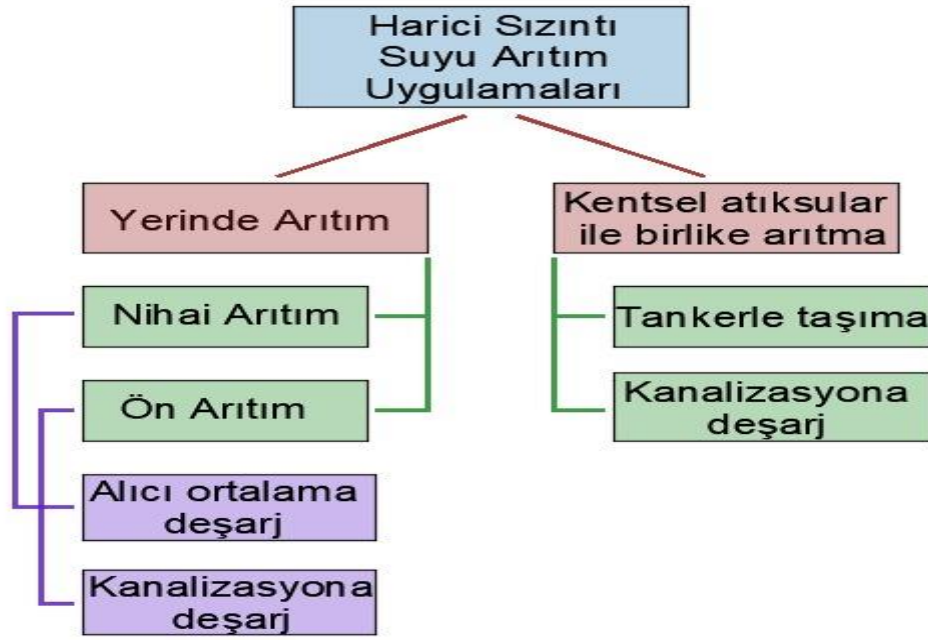
Sızıntı sularının drene edilmesinde kullanılan dren borularının ideal özelliklerinden ve uygulama detayından bahsedilecek olunursa; ideal dren borularının minimum çapı 100 mm ve

yerleşkesinde minimum eğimi %1 olmalıdır. Ayrıca borular, delikli, basınca dayanıklı yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) borular olmakla beraber boruların et kalınlığı 10 veya 16 atü iç basınca dayanacak şekilde olmalıdır. Bu bağlamda dren borularının uygulanma amacını karşılaması içinde münferit borular şeklinde ve mümkün mertebe yatayda ve düşeyde kıvrım yapmadan depo gövdesi dışına çıkarılıp, bir noktada toplanması sağlanmalıdır. Bu aşamada dren boruları belirlenmiş güzergâhlarına yerleştirilirken bahsedilen özelliklerinin dışına çıkmadan çevresine %30'dan az olmamak kaydıyla kireç, 16/32 veya 8/16 çapında kum-çakıl veya mıcırdan oluşan filtre yerleştirilmeli ve buna paralel olarak filtrenin yüksekliği dren boru sırtından itibaren minimum 30 cm olmalıdır. Son olarak depo tabanına döşenen dren borularının üst kısmı delikli, taban kısmı deliksiz olmalı ve delik alanı tüm boru yüzey alanının %30'u olmalıdır.

Deponi sahasında kullanılan drenaj sisteminin emniyeti çok büyük önem teşkil etmektedir. Atık depolandıktan sonra sistemi değiştirmek ve yenilemek olağan dışıdır. Sızıntı suyu drenaj hatlarında en büyük sorun boruların tıkanmasıdır. Deponi bünyesinde meydana gelen bir takım kimyasal ve biyokimyasal prosesler, boruların kırılması veya yıpranması gibi sebeplerden dolayı sistemde problemler yaşanabilir. Bu nedenle borular belli aralıklarla temizlenmelidir (Özgöçmen 2007).

Sızıntı Suyu Arıtma

Sızıntı suyunun arıtımının sonucunda istenen deşarj verimini yakalanması için birçok prosesin bir arada bulunması gerekir. Sızıntı suyu arıtma tesisi deponi sahasının yaşı, sızıntı suyunun karakteri ve debisini vb. parametreler göz önüne alınarak projelendirilmelidir. Sızıntı suları çok karmaşık yapıya sahip oldukları için konvansiyonel tek bir yöntemi uygulamak etkili bir çözüm olamamaktadır. Hedeflenen deşarj standartlarına ulaşmak için arıtma prosesi birkaç basamaktan oluşabilir. Şekil 12'de sızıntı sularının arıtım metodları gösterilmektedir (Öztürk 2010).



Şekil 12. Sızıntı sularının arıtım metodları

Sızıntı sularının harici arıtımı

Sızıntı suları depo sahası içerisinde ya da depo sahası yakınında inşa edilen bir sızıntı suyu arıtma tesisine veya merkezi bir arıtma tesisine taşınarak kentsel atıksular ile birlikte arıtılabilir. Yerinde arıtım deşarj yapılacak ortama ve deşarj standartlarına bağlı olarak ön veya nihai arıtım olarak yapılabilir (Öztürk 2010).

Sızıntı sularının yerinde arıtımı

Sızıntı suyu arıtımında pek çok arıtma teknolojileri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde tek başına uygulanan arıtma yöntemi nihai çözüm için yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle istenilen arıtma verimi birkaç farklı prosten oluşan bir arıtma sistemi ile elde edilebilmektedir. Sızıntı suyu miktarı ve özellikleri depo yaşına bağlı olarak değiştiği için uygun arıtma prosesleri de farklılık göstermektedir (Öztürk 2010). Genel anlamda sızıntı suyu arıtımında kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Sızıntı suyu arıtımında kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler (Dede 2017)

	Aritma Prosesleri	Amaç
Fiziksel	Çöktürme/flotasyon	Askıda katı madde giderimi
	Filtrasyon	
	Hava ile sıyırma	Amonyak ve uçucu organik madde giderimi
	Adsorpsiyon	Organik madde giderimi
	İyon değiştirme	Çözülmüş inorganik madde giderimi
	Ters Osmoz	Organik ve inorganik madde giderimi
	Buharlaştırma/yakma	Ters osmoz konsantresi bertarafı
Kimyasal	Nötralizasyon	pH kontrolü
	Kimyasal çöktürme	Ağır metal ve bazı anyonların giderimi
	Koagülasyon/flokülasyon	Çökelmeyen askıda katı madde giderimi
	Kimyasal oksidasyon	Organik madde giderimi, detoksifikasyon
Biyolojik	Aktif çamur	
	Ardışık kesikli reaktörler	
	Havalandırılmalı lagün/stabilizasyon havuzu	
	Biyofilm sistemleri (damlatmalı filtre, döner biyolojik diskler)	Organik karbon giderimi
	Havasız lagün ve temas tankları	
	Havasız (yukarı akışlı çamur yatağı, filtre veya hibrit) reaktörler	
	Nitrifikasyon/denitrifikasyon	Azot giderimi

Sızıntı Suyu Arıtımında Uygulanan Sistemlere Ait Örnekler

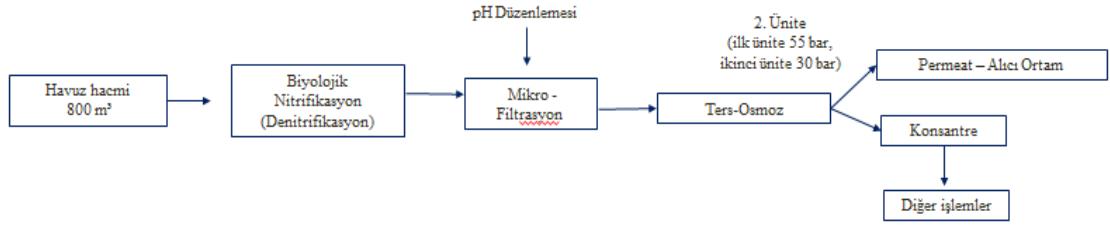
Sızıntı suyu arıtımında farklı prosesler bir arada kullanılabilmektedir. Dünyada uygulanan bazı sızıntı suyu arıtma tesisi akım şemaları aşağıdaki gibidir.

Biyolojik - fiziksel arıtma tesisi

Purgstall depolama alanında:

- Evsel atıklar depolanmaktadır.
- Etraftaki diğer depolama tesislerinden, bu tesise sızıntı suyu aktarılmaktadır.
- Yılda yaklaşık 17000 – 24000 m³ sızıntı suyu arıtılmaktadır.

Purgstall depolama alanına ait sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması Şekil 13’de gösterilmiştir.



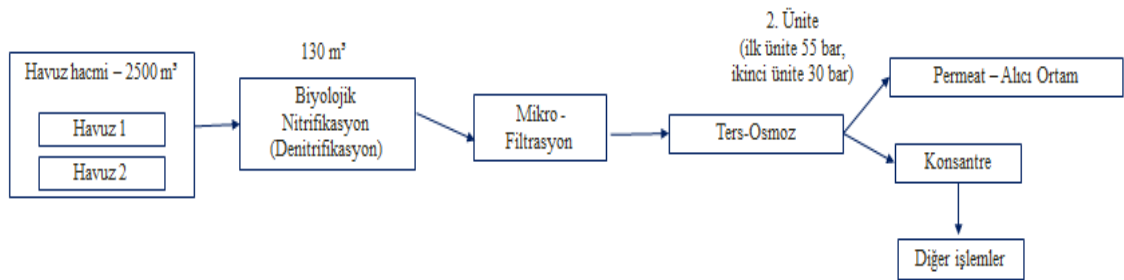
Şekil 13. Purgstall depolama alanına ait sızıntı suyu arıtma tesisi

- Parmeat – Konsantre oranı = 80:20
- Mikrofiltrasyon ünitesi hafta da 1 kez, ters-osmoz ünitesi hafta da 1-2 kez temizlenmektedir.
- Konsantrenin yarısı çöpe tekrar aktarılmakta, diğer yarısı ise yetkili işletmecilere yönlendirilmektedir (Schachermayer and Lampert 2010).

Halbenrain depolama alanında:

- Evsel atıklar depolanmaktadır.
- Sızıntı suyunun miktarını ve birleşimini dengelemek için toplam iki tane 2500 m³ lük toplama havuzu kullanılmaktadır.
- Arıtma tesisi günde 96 m³ lük sızıntı suyu için tasarlanmıştır.
- Parmeat – Konsantre oranı = 70:30

Halbenrain depolama alanına ait sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması Şekil 14’de gösterilmiştir.



Şekil 14. Halbenrain depolama alanına ait sızıntı suyu arıtma tesisi

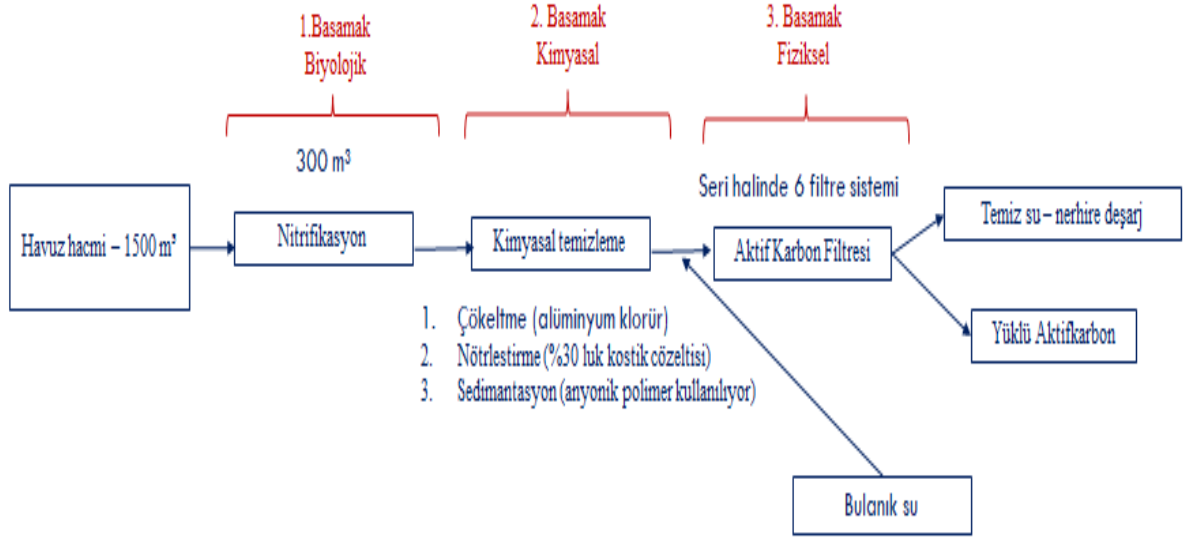
Biyolojik – kimyasal- fiziksel arıtma tesisi

Unterhart /St.Martin im Mühlkreis depolama alanında:

- Evsel atıklar depolanmaktadır.
- Tesis günde 100 m³ lük sızıntı suyu arıtımı için tasarlanmıştır(Schachermayer and Lampert 2010).

- Parmeat – Konsantre oranı = 70 : 30

Unterhart /St.Martin im Mühlkreis depolama alanına ait sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması Şekil 15’de gösterilmiştir.



Şekil 15. Unterhart /St.Martin im Mühlkreis depolama alanına ait sızıntı suyu arıtma tesisi

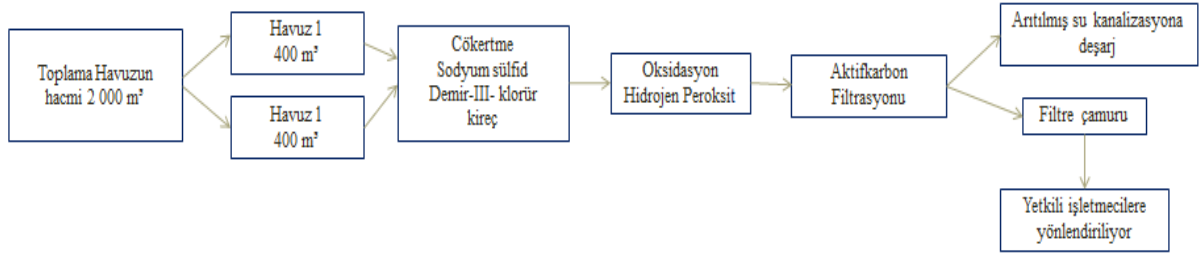
Katılaştırılmış çökeltme çamuru, çamur silosunda toplanıp ve 2-3 haftada bir dekantör yardımıyla susuzlaştırılıyor, elde edilen kuru çamur çöp depolama alanına gönderiliyor, kirli su ise birinci basamağa aktarılıyor.

Kimyasal-fiziksel arıtma tesisi

Asamer-Becker Recyling GmbH-Arnolstein depolama alanında:

- Geri dönüşümü mümkün olmayan çöp depolanıyor.
- 2000 m³ lük toplama havuzu kullanılıyor.
- Tesis yılda 25 000 m³ (70 m³ /gün) sızıntı suyunu ön arıtmadan geçiriyor.
- Tesiste arıtılan sızıntı suyu kanalizasyona aktarılıyor (Schachermayer and Lampert 2010).

Asamer-Becker Recyling GmbH-Arnolstein depolama alanına ait sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması Şekil 16’da gösterilmiştir.

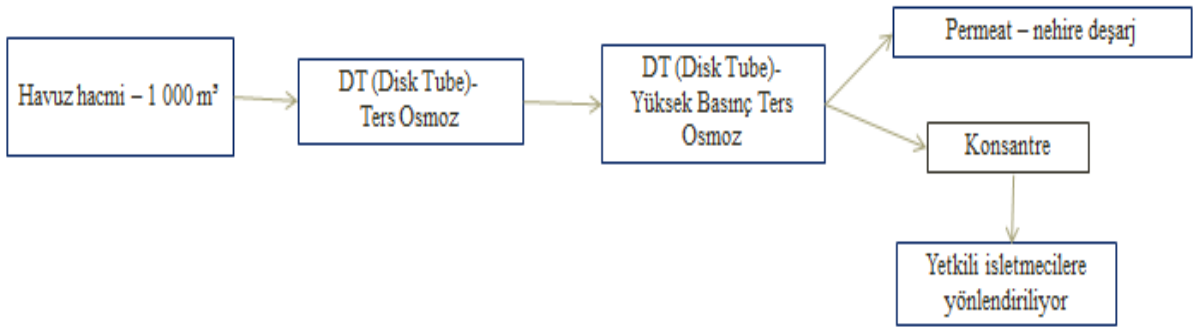


Şekil 16. Asamer-Becker Recycling GmbH-Arnolstein depolama alanına ait sızıntı suyu arıtma tesisi

Fiziksel arıtma tesisi

Şekil 17’de gösterilmekte olan Attnang Puchheim (Redlham) Depolama alanında:

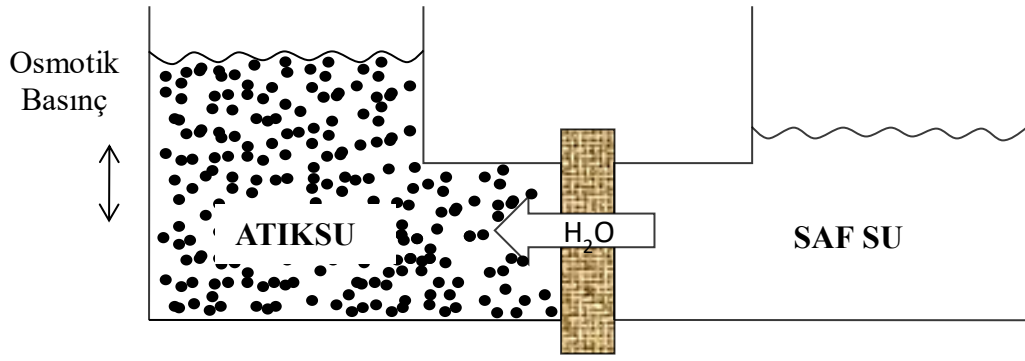
- Evsel atıklar depolanmaktadır.
- 1000 m³ lük toplama havuzu kullanılmaktadır.
- Tesis de yıl da 10000 m³ (30m³/ gün) sızıntı suyu arıtılmaktadır.
- Parmeat – Konsantre oranı = 80:20



Şekil 17. Attnang Puchheim (Redlham) depolama alanına ait sızıntı suyu arıtma tesisi

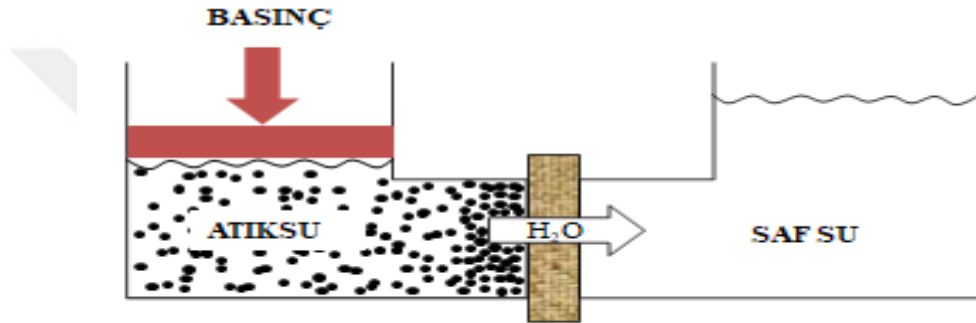
Sızıntı Suyu Arıtımında Ters Osmoz

Derişimleri farklı iki çözelti, belli molekül çapında moleküllerin geçişine izin veren yarı-geçirgen bir membran ile ayrıldıklarında, çözeltiler derişimlerini eşitlemeye çalışırlar. Örneğin tuzlu su çözeltisi ile saf su böyle bir membreanla ayrıldıklarında, tuzlu su çözeltisinin olduğu tarafa saf su geçişi olmaktadır. Bu doğal olaya ozmos denilmektedir. Osmoz olayı şekil 18’de gösterilmektedir.



Şekil 18. Osmoz prosesi

Bu olayın tersine ise ters ozmos adı verilir ve bu durumda derişimi yüksek olan tarafa basınç verilerek, çözeltideki suyun az yoğun tarafa geçişi sağlanır. Ters osmoz' a ait proses ise Şekil 19'da gösterilmiştir.



Şekil 19. Ters osmoz prosesi

Ters osmoz sistemleri, su kalitesini iyileştirmek ve atık suları arıtmak için kullanılmaktadır. Genelde, ters osmoz 10 ile 60 bar arasında yürütülürken, sızıntı suyu arıtımında bu basınç 150 bara kadar çıkartılabilmekte, böylece arıtma verimi %99'a kadar artırılabilir. Ters osmoz ile küçük molekülü maddelerin ve inorganik tuzların sudan uzaklaştırılması da sağlanabilmektedir.

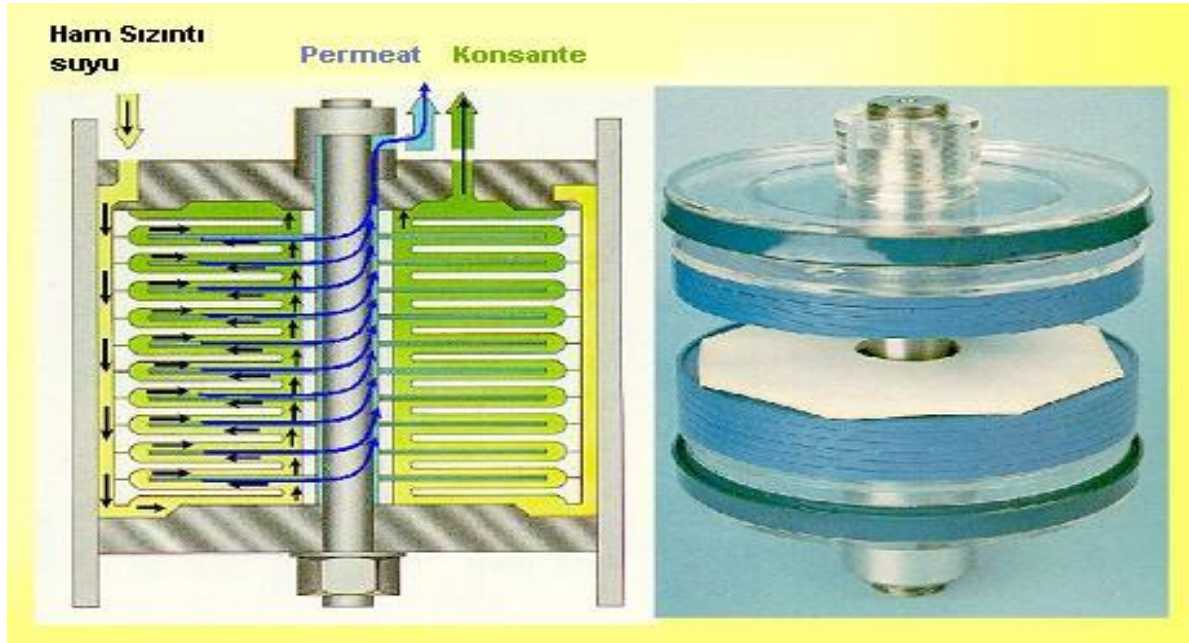
Ters osmozla arıtılabilecek sular aşağıdaki gibidir:

- Çöp sızıntı ve kompost suyu arıtımı
- Endüstriyel atıksuların arıtımı
- Deniz suyundan içme suyu üretimi
- Ultrasaf proses suyu üretimi
- Bira ve şarap filtrasyonu
- Zeytin karasuyu arıtımı

Ters osmoz membranları

Bu modül; merkez mil üzerine yerleştirilmiş plastik plakalar arasında bulunan sekizgen membranlardan oluşmaktadır. Gerilim mili tarafından tutulan bir basınç tüpü ve hidrolik

diskleri içerir. Şekil 20’de görülmekte olan modüllerin boyu 1000 mm, çapı ise 21,4 mm dir. Her bir DT modülün ortalama toplam filtre alanı 7,6 m² olup saatte birim alandan akış hızı 12 L/ m²/h dir.



Şekil 20. Ters osmoz modülleri (Anonim 2020a)

Membranlar, iki filtre tabakası ve bir ara tabakadan oluşmaktadır. Filtre tabakası poliamid ara tabaka ise polyesterden üretilmekte ve bu tabakalar özel bir ultrasonik kaynak ile birleştirilmektedir. Böylece membranların kullanıldığı atıksularda bulunan maddelerden etkilenmesi önlenmektedir (Anonim 2020a).

MATERYAL ve YÖNTEM

Erzurum İlinin Tanıtımı

Erzurum ili, 39" Kuzey – 41" Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Kuzeyinde Doğu Karadeniz Bölümü, Güneyinde Bingöl ve Muş, Batısında Erzincan, Doğusunda Ağrı, Kars ve Ardahan'a sınırı bulunmaktadır. Erzurum'a sınır olan iller Ağrı, Rize, Bayburt, Bingöl, Erzincan, Kars, Ardahan, Muş ve Artvin'dir. Erzurum, 25.066 km² yüz ölçümüyle Türkiye'nin en geniş dördüncü ilidir. Şekil 21'de görüldüğü üzere, Erzurum; Aziziye, Palandöken ve Yakutiye merkez ilçe olmak üzere, Aşkale, Çat, Hınıs, Horasan, İspir, Karaçoban, Karayazı, Köprüköy, Narman, Olur, Oltu, Pasinler, Pazaryolu, Şenkaya, Tekman, Tortum, Uzundere ilçelerinden oluşmaktadır. Nüfusu en kalabalık olduğu ilçe merkez Yakutiye İlçesi'dir. Erzurum 1993 yılında çıkarılan 504 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile Büyükşehir unvanı kazanmış olan bir ildir.



Şekil 21. Erzurum ili haritası

Büyük şehirler içinde en yüksek rakıma sahip olan (1900m) Erzurum merkezi yerleşim alanı (Aziziye, Palandöken, Yakutiye) olarak 3141km² yüz ölçümüne sahiptir. Erzurum yer şekilleri bakımından yüksek ve plato özelliği göstermektedir. Güneyinde Palandöken, kuzeyinde Kargapazarı, dağları ile çevrilidir.

Erzurum'un yükseltisinin fazla olması nedeniyle Türkiye'de en nadir görülen iklimlerinden biri olan sert karasal iklim hüküm sürmektedir. En yağışlı mevsimi ilkbahar sonu yaz başı olup, bu yağışların çoğu konveksiyonel veya kırkikindi yağışları şeklinde görülmektedir. Yılın yaklaşık 150 günü kar görülebilmektedir. Yaz mevsimi ortalama sıcaklığı en düşük olan il olan Erzurum'un yaz aylarında ortalama sıcaklığı 18,4°C'dir. Ocak ayı ortalama sıcaklığı -7°C ile yine en soğuk illerden biridir. Yıllık ortalama sıcaklık ortalaması 5°C civarındadır. Bitki örtüsü olarak genellikle dağ çayırları ile iğne yapraklı ormanlar görülmektedir. Orman ve fundalıklar yüz ölçümünün %9'unu, çayır ve meralar ise %68'ini kaplamaktadır.

Erzurum'da 2020 verilerine göre 762.062 kişi yaşamaktadır. Nüfus yoğunluğu bakımından 29. büyük ildir. Köyden kente göç yaşanması sonucunda, nüfusun büyük bir bölümü kent merkezinde yaşamını sürdürmektedir. Taşra nüfusunun çoğunluğu tarım, hayvancılık ve ormancılıkla geçimini sürdürmektedir.

Hayvancılık Erzurum ekonomisinin önemli bir bileşeni olmakla birlikte ülkemizde büyükbaş hayvancılığın en yaygın olarak yapıldığı bölgelerden birisidir. İklim ve yer şekillerinden dolayı, Erzurum- Kars platosunda büyükbaş hayvancılık çoğunlukla mera hayvancılığı şeklinde yapılmaktadır.

Yer şekilleri ve iklim koşullarından dolayı sanayi gelişim gösterememiştir. Son yıllarda yapılan yatırımlarla tekstil, şeker fabrikası, yem fabrikası, çimento fabrikası, yerli et ve süt alanları gelişim göstermeye başlamıştır.

Palandöken kayak merkezi toplam pist uzunluğu 70 km. ile Türkiye'nin en uzun kayak pistine sahip kış turizm merkezidir. Aynı zamanda doğa yürüyüş sporları, buz tırmanış parkurları, kayakla atlama kuleleri, buz hokeyi salonları ve kaplıcaları ile önemli bir turizm şehridir. Erzurum, kara, hava ve demiryolu ile yurdun her tarafına bağlanmış durumdadır (Anonim 2020b).

Erzurum'da Katı Atık Yönetimi

Erzurum'da evlerden ve işyerlerinden kaynaklanan katı atıklar, cadde ve sokak temizliği atıkları, atıksu arıtma tesislerinden gelen ızgara atıkları, peyzaj atıkları, rekreasyon

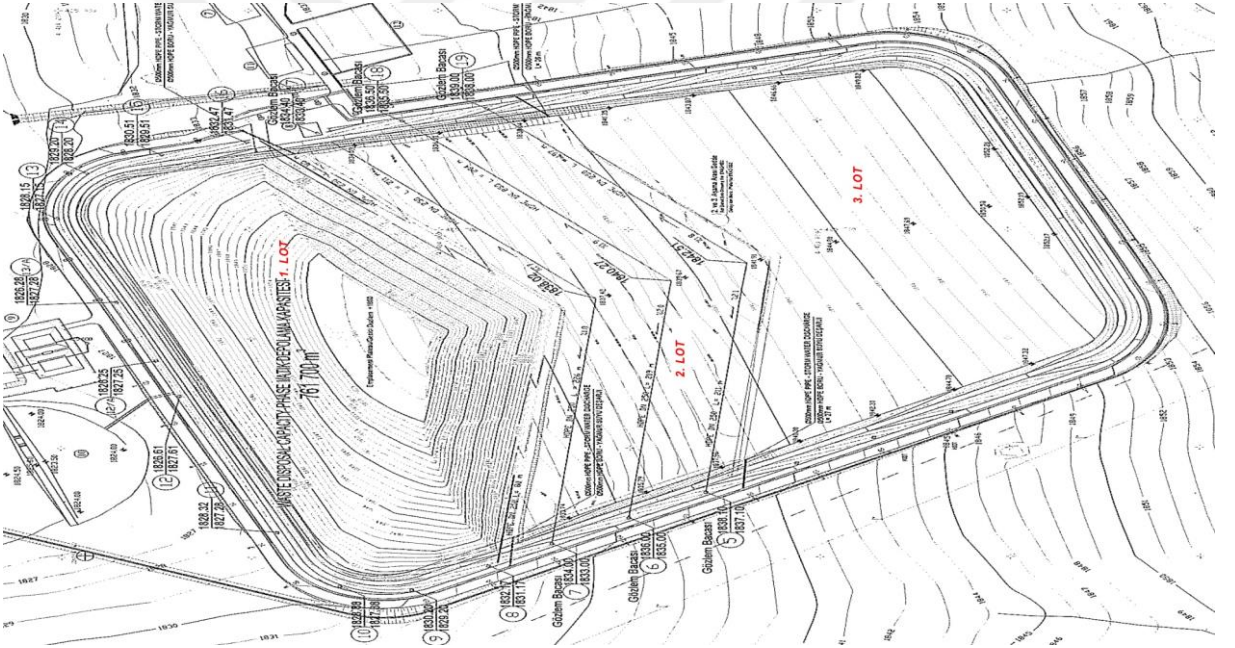
alanlarından kaynaklanan katı atıklar belediye hizmetleri ile toplanmakta ve taşınmaktadır. Şehir merkezi Aziziye, Palandöken ve Yakutiye olmak üzere üç ilçeden oluşmaktadır. Katı atıkların toplanması ve taşınmasında, Palandöken belediyesinde 9, Aziziye belediyesinde 4, Yakutiye belediyesinde ise 10 adet evsel katı atık toplama ve taşıma aracı bulunmaktadır. Haftanın her günü her araç ikili vardiya sistemi ile evsel katı atık toplama taşıma organizasyonu yürütmektedir. Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu güzergâhlarda ise bu araçlar gerek duyulması halinde yeniden çöp toplama işlemi yapmaktadır. Ayrıca Erzurum ili ve bazı çevre illerdeki hastaneler ve çeşitli kliniklerden kaynaklanan tıbbi atıkların toplanması 3 adet tıbbi atık taşıma lisansına sahip araçla gerçekleştirilmektedir. İlçe belediyelerinin topladığı atık miktarı günümüzde yaklaşık 360 ton civarında olup hastanelerden kaynaklanan atıklar ise yaklaşık 3 ton/gün dür. Toplanan bu atıklar 2008 yılından itibaren herhangi bir atık transfer istasyonuna uğramadan Erzurum-Çat ana yolunu kullanarak şehir merkezine yaklaşık 16 km uzaklıkta bulunan katı atık düzenli depolama sahasına getirilerek sağlıklı bir şekilde bertaraf edilmektedir. Katı atıklar, şehir içinde sokak ve caddelere belediye tarafından yerleştirilen konteynırlarla geçici olarak toplanmaktadır. Çoğunlukla sabit konteynır sistem işletilmekte olup konteynırlardan alınan atıklar sıkıştırılmalı toplama araçları ile depolama sahasına ulaştırılmaktadırlar. Toplama araçları aynı zamanda taşıma işlevini de görmektedir.

Erzurum Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Tanıtımı

Erzurum katı atık düzenli depolama sahası, Erzurum İli Aziziye İlçesinin 16 km güneybatısında yer almaktadır. En yakın yerleşim alanları Adaçay ve Yarımca köyleridir. 2005 yılında inşaatına başlanan tesis 2008 yılı Mayıs ayında hizmete açılmıştır. Ülkemizin ruhsatlı 12. katı atık düzenli depolama tesisi olup işletme ömrünün 20 yıl olduğu öngörülerek dizaynı yapılmıştır. Sahanın kamulaştırma alanı 55 hektardır. Bu alanın 17,64 hektarlık kısmı düzenli depolama alanı olarak projelendirilmiştir. Proje kapsamında depo sahası 3 lottan oluşmakta olup 1. lot 6 ha, 2. lot 5 ha, 3. lot 6,64 ha olarak belirlenmiştir. 2017 yılı temmuz ayı itibarıyla ilk lotun dolumu tamamlanmıştır. 1. lotun yüzeyi geçici olarak yaklaşık 2 metre kalınlığında toprakla kapatılarak 2. lot devreye alınmıştır. Şekil 22’de Erzurum katı atık düzenli depolama sahası genel görünümünü Şekil 23’de ise saha lotları gösterilmektedir.



Şekil 22. Erzurum katı atık düzenli depolama tesisi genel görünümü



Şekil 23. Erzurum katı atık düzenli depolama sahası lotları

Erzurum Düzenli Depolama Tesisinde Ana, Yardımcı ve Diğer Öğeler

Düzenli depolama sahalarında, muhtemel çevresel sorunların önlenmesi için sahalar ana ve yardımcı öğelerden oluşmaktadır (Anonim 2014).

Ana Öğeler

Düzenli depolama sahalarının en önemli iki ürünü sızıntı suyu ve depo gazıdır. Çevrenin korunması için sızıntı suyu ve depo gazı yönetiminin etkin bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Erzurum katı atık düzenli depolama tesisinin ana elemanları;

- Taban geçirimsizliği
- Sızıntı suyu toplama ve arıtma
- Üst örtü tabakası
- Depo gazı toplama ve enerji üretimi
- Depo gazı izleme birimlerinden oluşmaktadır.

Bu ana unsurların her birinin Erzurum düzenli depolama tesisinde uygulamaları sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

Taban geçirimsizliği

Deponi sahasının tabanının geçirimsizliğinin sağlanması için; depo tabanına 60 cm kalınlığında kil tabakası uygulanmıştır. Kullanılan kilin geçirimsizlik katsayısı 3×10^{-9} m/sn'dir. Bu kil tabakasının üzerine 2 cm kalınlığında yüksek yoğunluklu polietilen geomembran örtülmüştür. Geomembranın yoğunluğu 941-965 kg/m³ aralığındadır. Ayrıca geomembran üzerine ise geomembran tabakasını korumak için 1200 g/ m² yoğunluğa sahip jeotekstil tabakası serilmiştir. Geçirimsiz hale getirilen zemin üzerine drenaj boruları döşenerek sızıntı suları bir noktada toplanması için yerleştirilen drenaj borularının çapı minimum 100 mm ve minimum eğim %1'dir. Drenaj boruları, yatayda ve düşeyde kıvrım yapmadan doğrusal olarak depo sahası dışına çıkacak şekilde yapılmıştır. Ayrıca drenaj borularının çevresine kum ve çakıl filtreler yerleştirilmiş olup kum ve çakıl filtrenin boru sırtından itibaren yüksekliği minimum 30 cm'dir.

Sızıntı suyu toplama ve arıtma

Sızıntı suyunun toplanması için tali sızıntı suyu boruları 2/3'ü delikli DN 250 HDPE ve ana kolektör sızıntı suyu borusu DN 315 çapındadır. Toplanan sızıntı suyu; 400 gr/m² jeotekstil ve 2,5 mm HDPE jeomembran ile kaplanarak sızdırmazlığı sağlanan havuzlara iletilmektedir. Sızıntı suyu toplama havuzu sayısı 3 adettir. Bu havuzların ilk ikisi tesis ilk kurulduğunda 800 ve 1000 m³'lük kapasiteye sahip olacak şekilde yapılmışlardır. İlerleyen yıllarda ise bu ham sızıntı suyu toplama havuzlarına seri bağlı olarak 1000 m³'lük bir havuz daha inşa edilmiştir. Aynı zamanda bu havuzların yanına 1 adet 800 m³ kapasiteli konsantrat biriktirme havuzu yapılmıştır. Erzurum Katı Atık Düzenli Depolama Sahasına ait Sızıntı suyu toplama havuzları Şekil 24'de gösterilmiştir.



Şekil 24. Sızıntı suyu toplama havuzları

Depolama Sahası Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi

Erzurum Katı Atık Düzenli Depolama Sahasında bulunan sızıntı suyu arıtma tesisi Türkiye'nin sızıntı suyu arıtımında uygulanan ilk ters osmoz tesisidir. Sahadan gelen sızıntı suları bu yöntemle %99,9 verimle arıtılabilmektedir. Şekil 25'de ters osmoz ünitesinin dış ve iç görüntüleri verilmiştir. Sızıntı suyu arıtma tesisi, seri bağlı iki aşamalı membran sisteminden oluşmaktadır. İlk aşamada 18 adet membran, ikinci aşamada ise 5 adet membran olacak şekilde tasarlanmış olan sistem, 18 mS/cm sızıntı suyu iletkenliği ve 25°C sıcaklığında, 50 m³/gün sızıntı suyu arıtma kapasitesine sahiptir. 2013 yılında ilk aşamaya 4 adet membran ilave edilerek tesis kapasitesi 66 m³/gün'e çıkarılmıştır. Şekil 26'da görüldüğü üzere tesiste kullanılan membranlar disk tüp modül yapısındadır. Arıtma sonucunda, ortalama 20 m³/gün konsantrat oluşmakta ve bu konsantrat sahaya geri devredilmekte, elde edilen 40 m³/gün temiz su ise yüzey suyu toplama havuzuna deşarj edilmektedir. Sızıntı suyu arıtımında kullanılan membranın özellikleri Tablo 7'de verilmiştir.



Şekil 25. Sızıntı suyu arıtma tesisi dış ve iç görüntüleri



Şekil 26. Sızıntı suyu arıtımında kullanılan disk tüp membran

Tablo 7. Sızıntı suyu arıtımında kullanılan membranın özellikleri

Malzeme	Poliamid TFC
Tür	Yuvarlak
Dış çap	185 mm +/- 2 mm
İç çap	44 mm +/- 2 mm
25°C'de nominal NaCl reddi	99,20%
Atık suda tuz reddi aralığı	% 95,0 -% 99,0

Üst örtü

Deponi sahasının 1. lotun kapasitesini tamamlamasıyla birlikte üst örtüsü kil oranı yüksek toprakla yaklaşık olarak 2 m kalınlığında toprakla kapatılmıştır. Tüm deponi alanın üzeri ise atık depolama işlemi bittikten sonra ilgili kanun ve yönetmelikler göz önüne alınarak kapatılacaktır. Şekil 27'de EKADDT' nin 1. Lotun geçici üst örtü ile kapatılması gösterilmektedir.



Şekil 27. EKADDT’de 1. Lotun geçici üst örtü ile kapatılması

Depo Gazı Toplama ve Elektrik Üretim Ünitesi

Erzurum katı atık düzenli depolama sahasında 2018 yılı itibariyle hem deponi sahasında oluşan gazların emisyonunu azaltmak hem de oluşan gazı yakarak elektrik üretmek amacıyla Şekil 28’de gösterilen tesis kurulmuştur.



Şekil 28. Metan gazından elektrik üretim tesisi

Tesis de 5000 m³ kapasiteli depolama amaçlı gaz balonu bulunmaktadır. Elektrik üretimini gerçekleştiren toplam kurulu gücü 2,40 MW/h, her birinin kurulum gücü 1.20 MW/h, olan 2 adet gaz motoru bulunmaktadır. Sahada 2019 yılı itibarıyla yıllık toplam 12.433,47 MW değerinde elektrik üretimi yapılmakta olup aylık elektrik üretim verileri Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. 2019 yılında metan gazından elektrik üretim verileri

Aylar	Üretilen (MW/Ay)
Ocak	687,17
Şubat	637,36
Mart	893,23
Nisan	1.186,36
Mayıs	1.197,78
Haziran	1.111,10
Temmuz	1.060,26
Ağustos	1.198,08
Eylül	1.222,34
Ekim	1.207,51
Kasım	1.123,98
Aralık	908,3
Toplam	12.433,47

Depo gazı izleme

Depo gazının kontrolü ve izlenmesi için CH₄, CO₂, H₂S ve O₂ emisyonlarının günlük olarak ölçümleri yapılarak raporlanmaktadır. Aynı zamanda bu veriler PLC scada sistemi üzerinden anlık olarak da okunabilmektedir. EKADDT' de günlük depo gazı okuma ve PLC scada sistemi Şekil 29'da gösterilmektedir.



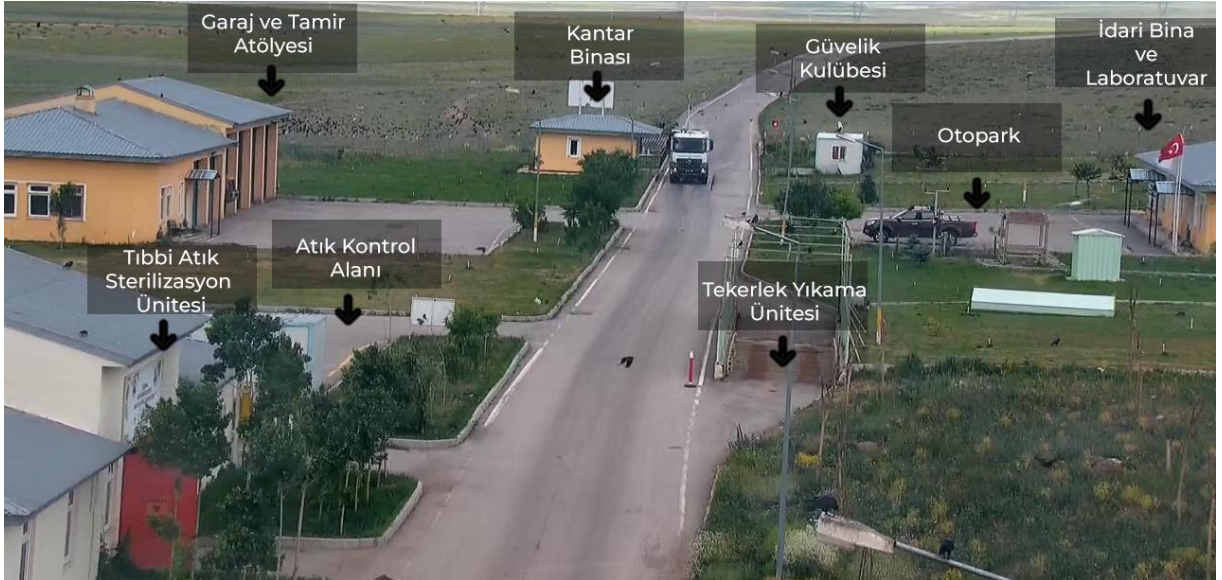
Şekil 29. Günlük depo gazı okuma ve PLC Scada sistemi

Yardımcı Öğeler

Erzurum düzenli depolama tesisinde bulunan yardımcı elemanlar şunlardır:

- Giriş yapıları
- Çevre çitleri
- İdari bina ve laboratuvar
- Yollar
- Otopark
- Garaj ve tamir atölyesi
- Tekerlek yıkama ünitesi
- Atık inceleme alanı
- Kontrol ve gözlem sistemi
- Altyapı tesisleri
- Yağmur suyu uzaklaştırma sistemi
- Yangın söndürme sistemi
- İlk yardım seti
- Araçlar

EKADDT' ne ait yukarıda belirtilen yardımcı öğelerin bazılarının konumları Şekil 30'da gösterilmiştir.



Şekil 30. EKADDT'de bazı yardımcı öğelerin konumları

Giriş yapıları

Düzenli depolama sahasına getirilen atıkların tartımı ve kaydı sahanın ana girişindeki kontrol binasında yapılmaktadır. Kamyonlar bu binaya bağlı düz seviyede bulunan kantar ile tartılmaktadır. 28 m² kontrol binası, tartım odası, depo, tuvalet ve küçük mutfaktan ibarettir. Kontrol giriş yapısının önünde 60 tonluk kantar bulunmaktadır. Bu binanın karşısında ise konteyner şeklinde bekçi kulübesi bulunmaktadır.

Çevre çitleri

Ana giriş kapı 7 m uzunluğunda elektrikli kayar kapıdır. Tesisin çevresi 3100 m uzunluğunda 2 m yüksekliğinde beton direkli kafes tel çit ile kapatılmıştır.

İdari bina ve laboratuvar

Deponi sahasının yönetimi ve işletme mühendisleri için ayrı odalar bulunduran 280 m² alana sahip binadır. Bina bünyesinde ofisler, toplantı odası, laboratuvar, giyinme odası, tuvalet, kafeterya, mutfak ihtiva etmektedir.

Yollar

Tesise ulaşımın sağlandığı saha erişim yolu, deponi sahasının çevre yolu, ünitelere ulaşım yolları yapılmış ve kullanılmaktadır. Saha çevre yolu ağır kamyonlar için (50 ton) uygun 1470 m uzunluğunda 7 m genişliğindedir. Sahanın tüm çevresi 8,3 m genişliğinde sıkıştırılmış, üzerine 30 cm alt taban tabakası ve dona karşı koruyucu 20 cm temel tabaka, 8 cm asfalt binder tabakası, 5 cm asfalt tabakası uygulanmış ve 7 m genişliğinde çevre yolu yapılmıştır.

Otopark

Tesis çalışanlarının araçları, tesis personel servisinin ve tesise gelen misafirlerin araçlarını park edeceği alan mevcuttur.

Garaj ve tamir atölyesi

İdari binanın karşısında 3 bölümden oluşan 420 m² alana sahip garaj, tamir ve bakım aletleri için iki adet depo yapılmıştır. İlk bölümde araçlar (pick-up) ve hareketli ekipmanlar (dozer, yükleyici, kamyon ve traktör) için 5 adet kapalı garaj vardır. Araçların bakımının yapılacağı alan da mevcuttur. İkinci bölümde ise işçi ve şoförlerin dinlenme odası, tuvalet, saha formeninin odası bulunmaktadır. Üçüncü bölüm ise tamir ve bakım aletleri için iki depodan oluşmaktadır.

Tekerlek yıkama ünitesi

Kirleticilerin yollara taşınmasını ve yayılmasını en aza indirmek, yolların kirlenmesini engellemek amacıyla tekerlek yıkama ünitesi yapılmıştır.

Atık inceleme alanı

500 m² civarında asfalt kaplı olan gerekli durumunda atıkların incelenebileceği alan olarak yapılmıştır. Atık inceleme alanı aynı zamanda kötü hava koşullarında tesiste atık depolanmanın imkânsız olduğu durumlarda kullanılacaktır.

Kontrol ve gözlem sistemi

Deponi sahasında atık depolanmaya başladıktan sonra yeraltı suyuna etkilerini belirlemek amacıyla ölçümler yeraltı suyunun membasında bir noktada ve mansabında 3 noktada olmak üzere 4 adet yer altı suyu gözlem kuyusu vardır. Yeraltı suyunun seviyesinin ölçümü her altı ayda bir ilgili mevzuat hükümlerine göre yapılmaktadır.

Altyapı tesisleri

Sahanın su ihtiyacı mevcut içme suyu şebekesi ile sağlanmaktadır. Saha içindeki yapılara su ileten dağıtım şebekesi, atıksu toplama hattı, fosseptik çukuru, çevre yolu aydınlatılması dahil elektrik dağıtım şebekesi, haberleşme sistemi tamamıyla kurulmuş ve kullanılmaktadır.

Yağmur suyu uzaklaştırma sistemi

Zemin ve yüzey suyu drenajı, saha geçirimsizlik sistemi altına yerleştirilen drenaj borusu, üst lotlarda oluşacak yüzey suyunun toplanması ve kontrollü bertarafı için inşa edilen yüzey suyu havuzu, çevre yolu etrafındaki kenar açık kanalı ve uzaklaştırma kanal ve boruları ile tasarlanmıştır. Yağmur ve yüzeysel suların toplanması için 1. Ve 2. Lotun çevresinin tamamı kanal yapılmıştır.

Yangın söndürme sistemi

Kantar binası, bekçi kulübesi, idari bina, tıbbi atık sterilizasyon tesisi, metan gazından elektrik üretim tesisi, ambalaj atığı toplama ve ayrıştırma tesisi ve sızıntı suyu arıtma tesisi, garaj ve tamir atölyesinde seyyar yangın söndürücülerini bulunmaktadır. Bu seyyar yangın söndürücüler 6 ay içerisinde kullanılsa bile boşaltılarak yenilenmektedir. Seyyar söndürme araçlarının yanı sıra tesis içerisinde her bir ünitenin yanında yangın hidrati bulunmaktadır. Olası bir yangın anında yangınla mücadele ekibi oluşturulmuştur. Ekibin görevleri; tesiste çıkabilecek yangınla müdahale edip ve söndürme çalışmalarını yürütmektir.

İlk yardım seti

İşçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili olarak depolama alanında görev yapacak olan tüm personelin alacağı aşamalı eğitimler, depolama sahasında kullanılacak; kişisel koruyucular ve kullanımda uyulacak esaslar, acil durum eylem planı, iş kazası ve raporlanması, güvenlik tedbirleri vb. yer almaktadır. Personele verilecek eğitimler, depolama alanında kullanılan kişisel koruyucular ve özellikler, kişisel koruyucular malzemelerin kullanımında uyulacak esaslar, kişisel emniyet kuralları, yangından koruma ve müdahale, motorlu araçlar konusunda emniyet, iş kazası ve raporlanması, depolama alanları trafik tedbir ve uygulamaları, tesis güvenlik/dış güvenlik tedbirleri hakkında bilgi verilmektedir.

Araçlar

Depolama tesisinde çöpün serilmesi, sıkıştırılması, örtü toprağının taşınması için dozer, lastikli loder, damperli kamyon, kompaktör ekskavatör ve miniekskavatör gibi iş makineleri bulunmaktadır. Kompaktör, atıkların serilmesi ve sıkıştırılmasında, dozer, atıkların serilmesi, platform ve yol yapımında, ekskavatör saha yapımında kullanılan hafriyatın yüklenmesinde, miniekskavatör platform ve saha drenaj kanallarının yapımı ve saha alt yapısının oluşturulması, Lastikli loder, saha alt yapı çalışmalarında, drenaj malzemelerin araçlara yüklenmesi, serilmesi, malzeme naklinde, kamyon ise hafriyat malzemesinin taşınmasında kullanılmaktadır.

Tesiste bir adet dozer, bir adet lastikli loder, bir adet damperli kamyon, bir adet kompaktör ve birer adette ekskavatör ve miniekskavatör çalıştırılmaktadır.

Diğer Öğeler

Erzurum Katı Atık Düzenli Depolama Tesisin 'de ana ve yardımcı öğeler haricinde iki farklı ünite de hizmet vermektedir. Bunlar:

- Ambalaj atığı toplama ve ayrıştırma ünitesi
- Tıbbi atık sterilizasyon ünitesidir.

Düzenli Depolanma Tesis Ambalaj Atığı Toplama ve Ayrıştırma Ünitesi

Günümüz teknolojisi ve insanların yaşam standartlarının giderek artması nedeniyle atık oluşumunun önlenmesi mümkün değildir. Ancak, atık oluşumunun azaltılması, üretim, teknik ve teknolojilerinin doğru seçilmesi ve tüketici duyarlılığının artması ile mümkün olabilecektir. Nesnelerin işlevlerini tamamlamalarının ardından alternatif kullanım yerleri oluşturarak yeniden kullanılması da kaynakta atık azaltımına veya atık oluşumun önlenmesine eşdeğer bir yaklaşımdır. Bu amaçla kullanım ömrünü tamamlamış plastik, pet, kâğıt, naylon, metal gibi ürünler ambalaj atığı tesisinde ayrıştırılmakta ve yeniden ekonomiye kazandırılmaktadır.

Şekil 31’de görülen ambalaj atığı toplama ve ayrıştırma ünitesi gelen atıklar ilk olarak tesis girişindeki kantarda tartılmaktadır. 2008 yılında faaliyete başlayan Katı Düzenli Depolama Sahasına günlük ortalama 359 ton/gün evsel atık gelmektedir. Tartımı yapılan atıklar 2016 yılında ambalaj atığı toplama ve ayrıştırma tesisine getirilerek atık rampasına boşaltılmaktadır. Bu atıklar sonra iş makinesi yardımı ile poşet patlatma makinesine boşaltılmaktadır. Daha sonra bant yardımı ile ayırma platformuna alınmaktadır. Kâğıt, pet şişe, plastik, metal ve naylon olarak ayrılmakta ve ayrılan geri dönüştürülebilir atıklar, preslenerek geri dönüşüm tesisine gönderilmektedir. Ayrıştırılan atıklar sayesinde deponi sahasın kullanım ömrünü uzatılmaktadır.



Şekil 31. Ambalaj atığı toplama ve ayrıştırma ünitesi

Ambalaj atığı toplam ve ayrıştırma tesisinde toplanan atıkları içerisinde kâğıt atık kartondan, metal atıklar konserve kutuları, bakır elektronik kablolardan, naylon atıkları ambalaj kaplamalarından, plastik atıklar ise yoğurt kovaları ve sebze taşıma sepetlerinde oluşmaktadır. Ambalaj atığı toplama ve ayrıştırma tesisinde ayrıştırılan malzeme miktarları Tablo 9 ve Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 9. 2018 yılında ambalaj atığı toplama ve ayrıştırma tesisinde ayrıştırılan malzeme miktarları

Aylar	Kâğıt (kg)	Metal (kg)	Naylon (kg)	Pet (kg)	Plastik (kg)	Toplam
Ocak	110.840,00	17.220,00	8.400,00	38.860,00	60.980,00	236.300,00
Şubat	114.420,00	16.340,00	112.340,00	14.540,00	45.320,00	302.960,00
Mart	60.060,00	10.900,00	11.500,00	31.920,00	27.940,00	142.320,00
Nisan	-	-	-	-	-	-
Mayıs	25.840,00	13.700,00	-	21.300,00	10.980,00	71.820,00
Haziran	78.680,00	22.100,00	23.560,00	32.680,00	82.660,00	239.680,00
Temmuz	122.240,00	42.040,00	25.080,00	56.980,00	84.880,00	331.220,00
Ağustos	36.460,00	20.820,00	10.960,00	67.260,00	79.740,00	215.240,00
Eylül	154.200,00	42.460,00	33.680,00	77.880,00	129.080,00	437.300,00
Ekim	220.460,00	60.060,00	560	73.700,00	181.540,00	536.320,00
Kasım	104.760,00	43.220,00	35.340,00	59.720,00	159.340,00	402.380,00
Aralık	84.120,00	39.460,00	-	49.080,00	73.820,00	246.480,00
Toplam	1.112.080,00	328.320,00	261.420,00	523.920,00	936.280,00	3.162.020,00

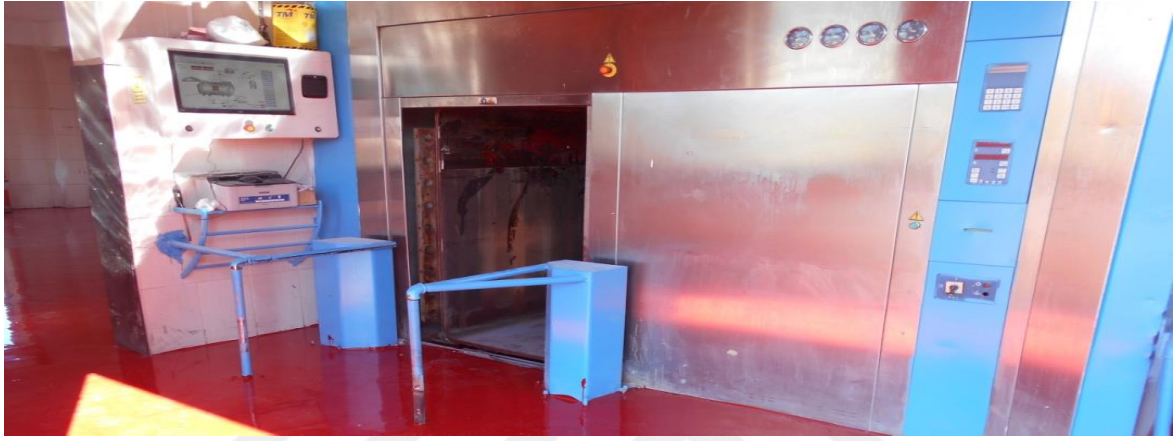
Tablo 10. 2019 yılında ambalaj atığı toplama ve ayrıştırma tesisinde ayrıştırılan malzeme miktarları (Anonim 2020c)

Aylar	Kâğıt (kg)	Metal (kg)	Naylon (kg)	Pet (kg)	Plastik (kg)	Toplam
Ocak	22.020,00	26.160,00	33.140,00	83.840,00	54.440,00	219.600,00
Şubat	47.740,00	21.440,00	13.540,00	52.040,00	43.180,00	177.940,00
Mart	42.920,00	38.940,00	31.860,00	112.820,00	155.540,00	382.080,00
Nisan	107.800,00	57.240,00	20.740,00	81.680,00	192.720,00	460.180,00
Mayıs	14.500,00	20.260,00	34.280,00	38.140,00	158.520,00	265.700,00
Haziran	112.360,00	70.580,00	71.820,00	50.480,00	150.400,00	455.640,00
Temmuz	15.160,00	56.120,00	77.700,00	-	139.960,00	288.940,00
Ağustos	125.120,00	26.760,00	46.080,00	18.660,00	88.360,00	304.980,00
Eylül	67.520,00	23.800,00	41.600,00	31.460,00	103.080,00	267.460,00
Ekim	67.600,00	8.980,00	-	40.520,00	159.980,00	277.080,00
Kasım	65.620,00	71.160,00	25.300,00	102.180,00	77.420,00	341.680,00
Aralık	-	12.600,00	-	17.640,00	39.900,00	70.140,00
Toplam	688.360,00	434.040,00	396.060,00	629.460,00	1.363.500,00	3.511.420,00

Düzenli Depolama Tesisinde Tıbbi Atık Sterilizasyon Ünitesi

Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi 2009 yılı Kasım ayında hizmete açılmıştır. Doğu Anadolu Bölgesinin ilk tıbbi atık tesisidir. Kurulu kapasitesi 9 ton/gün, fiili kapasitesi 3 ton/gün’ dür. Ünite, Erzurum ili haricinde Erzincan, Ardahan ve Bayburt illerinden gelen tıbbi atıkların da sterilizasyonuna imkân sağlamaktadır. Sağlık kuruluşlarında oluşan tıbbi atıklar lisanslı özel taşıma araçları ile toplanmaktadır. Toplama pek çok kentte olduğu gibi poşetlerle

değil ADR sertifikasına sahip bidonlarla yapılmaktadır. Toplanan atıklar tıbbi atık sterilizasyon tesisine getirilerek burada sterilize edilmektedir. Sistem özetle şu şekilde işlemektedir. Sağlık kuruluşlarında üretilen atıklar motat sistemiyle toplanır. Toplanan tıbbi atıklar lisanslı özel araçla sterilizasyon tesisine getirilip burada otoklav konteynerlerine boşaltılarak sterilizasyon işlemine tabi tutulurlar. Şekil 32’de görüldüğü üzere otoklavda yaklaşık 2,5 bar basınçta ve 135°C derecede gerçekleşen sterilizasyon işleminin ardından çıkan atıklar fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenlik kontrolleri gerçekleştirildikten sonra evsel atık niteliği kazanmakta ve bundan sonra parçalayıcıda küçültülerek katı atık düzenli depolama sahasında depolanmaktadırlar.



Şekil 32. EKADDT tıbbi atık sterilizasyon ünitesi

Erzurum ve diğer illerden sterilizasyon ünitesine gelen 2019 yılına ait aylık ve yıllık toplam tıbbi atık miktarları Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. 2019 Yılında Erzurum ve diğer illerden toplanan tıbbi atık miktarları (Anonim 2019c)

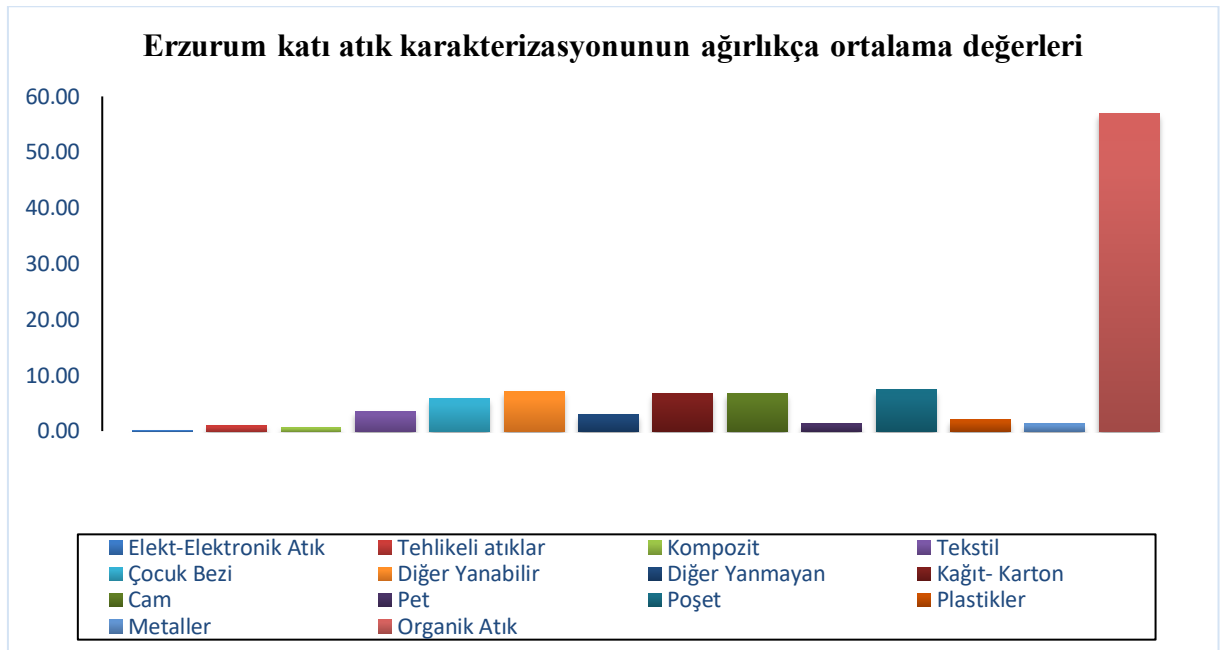
Aylar	Erzurum	Erzincan	Ardahan	Bayburt	Toplam
Ocak	102.331,00	19.109,00	5.411,00	3.962,00	130.813,00
Şubat	90.467,00	16.781,00	4.636,00	4.385,00	116.269,00
Mart	93.580,00	17.584,00	5.822,00	4.860,00	121.846,00
Nisan	97.815,00	18.723,00	4.367,00	3.783,00	124.688,00
Mayıs	92.023,00	17.797,00	4.886,00	4.296,00	119.002,00
Haziran	76.963,00	11.470,00	5.285,00	3.093,00	96.811,00
Temmuz	101.527,00	-	4.528,00	4.478,00	110.533,00
Ağustos	81.476,00	-	6.001,00	4.029,00	91.506,00
Eylül	89.340,00	-	5.254,00	4.882,00	99.476,00
Ekim	92.382,00	-	5.702,00	3.889,00	101.973,00
Kasım	83.414,00	-	4.487,00	3.583,00	91.484,00
Aralık	90.880,00	-	4.550,00	4.948,00	100.378,00
Toplam	1.092.198,00	101.464,00	60.929,00	50.188,00	1.304.779,00

Erzurum İli Katı Atık Düzenli Depolama Sahasına Kabul Edilen Atık Miktarı ve Karakterizasyonu

Katı atıkların bertaraf yöntemleri seçilirken, atığın karakterizasyonunu belirlemek önemli rol oynar. Katı atığın içeriğinin belirlenmesi, en doğru bertaraf yönteminin seçilmesini bunun sonucunda da hem insan sağlığının hem de çevre sağlığının olumsuz etkilerini azalmasına neden olur. 2015 yılında yapılan çalışmada Erzurum ilindeki atık karakterizasyonunun ağırlıkça ortalama değerleri Şekil 33'deki gibi belirlenmiştir. Yüksek gelir ve çarşı bölgesinden alınan numuneler ile düşük gelirli bölgelerden alınan numuneler arasında özellikle geri kazanılabilir atık muhtevasında belirgin bir farklılık görülmektedir. İlimizde kişi başına yaklaşık olarak günlük 0,94 kg/gün-kişi evsel atık üretilmektedir. 2019 yılı itibariyle ilçe belediyelerince toplanan günlük çöp miktarı yaklaşık 359 ton/gün' dur. Bu 359 ton çöpün sağlıklı bir şekilde bertarafı büyükşehir belediyesince yapılmaktadır. Tablo 13'de 2019 yılı Erzurum ili ilçelerine göre evsel atık miktarları, Tablo 14'de ise 2017, 2018, 2019 yıllarına ait evsel atık miktarları belirtilmiştir. Şekil 34'de 2019 yılı Erzurum ili atık miktarlarının ilçelere göre yüzdesel dağılımı gösterilmiştir. Her bir ilçe için elde edilen madde grup sınıflandırma sonuçları değerleri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Atık muhtevasının ilçelere göre değişimi (Anonim 2020d)

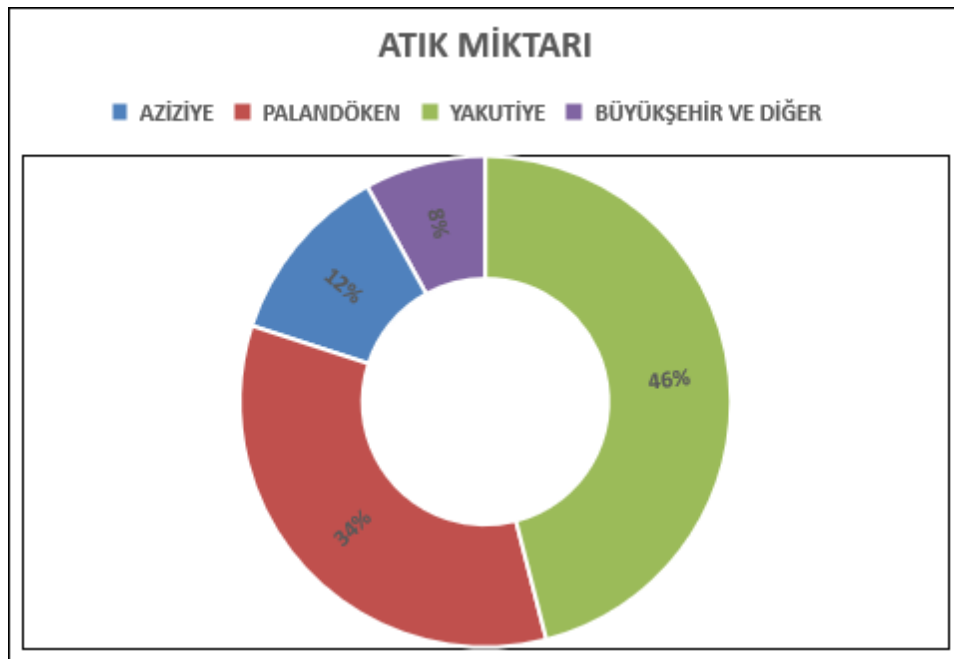
Atık Bileşenleri	İlçeler		
	Yakutiye	Palandöken	Aziziye
	%		
1 Kağıt-Karton	6,67	6,23	7,57
2 Cam	3,87	2,42	2,61
3 Pet	2,14	1,01	0,75
4 Poşet	8,11	7,23	6,85
5 Plastikler	2,36	1,87	1,74
6 Metaller	1,84	1,16	0,92
7 Mutfak-Park&Bahçe A.	54,2	60,11	56,29
8 Elektrik. - Elektronik Atık	0,12	0,03	0,18
9 Tehlikeli Atıklar	1,93	0,51	0,37
10 Kompozit	0,77	0,59	0,47
11 Tekstil	2,59	3,57	4,69
12 Çocuk Bezi	3,87	6,77	6,95
13 Diğer Yanabilir	9,46	6,5	5,55
14 Diğer Yanmayan	2,08	2	5,06
TOPLAM	100	100	100



Şekil 33. Erzurum katı atık karakterizasyonunun ağırlıkça ortalama değerleri (Anonim 2020d)

Tablo 13. 2019 Yılı Erzurum ili ilçelerine göre evsel atık miktarları

İLÇE	NÜFUS (Kişi)	ATIK MİKTARI (Ton/Yıl)
Yakutiye	186.993	59.307,00
Palandöken	172.337	43.894,00
Aziziye	63.502	15.700,00
Büyükşehir		
Eski		10.703,00
Diğer		
Toplam	422.832	129.604,00



Şekil 34. 2019 yılı Erzurum ili atık miktarlarının ilçelere göre yüzdesel dağılımı

Tablo 14. 2017, 2018, 2019 yıllarına toplam ait evsel atık miktarları

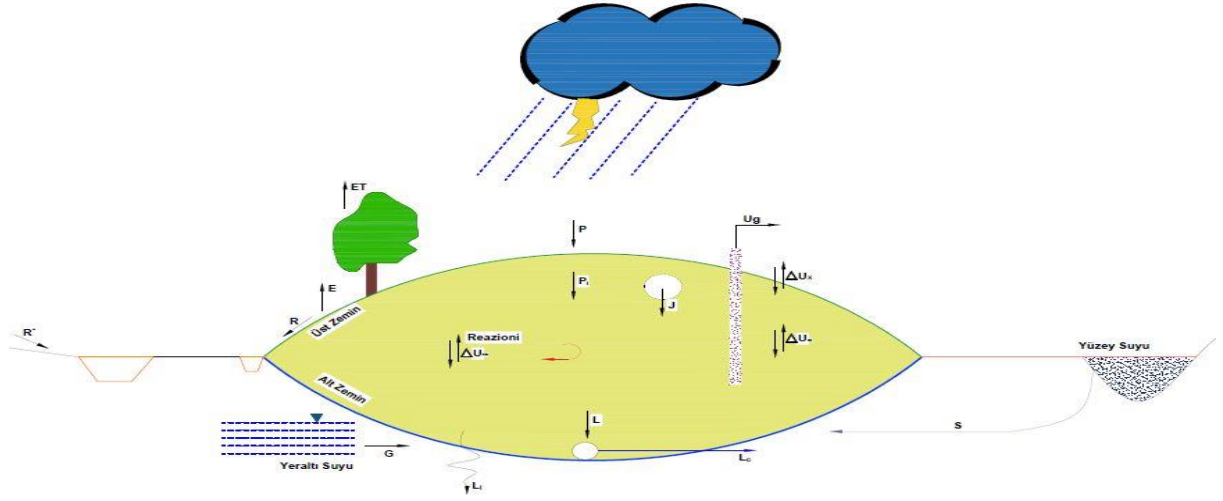
Aylar	Evsel Atık (Ton/Ay)		
	2017	2018	2019
Ocak	9.078,16	9.561,00	9.908,2
Şubat	8.376,02	8.762,00	9.588,5
Mart	10.785,24	11.387,00	10.614,4
Nisan	10.907,78	10.744,00	11.366,9
Mayıs	11.273,94	11.745,00	11.035,9
Haziran	11.238,72	11.158,00	11.026,2
Temmuz	12.127,41	11.959,00	11.312,7
Ağustos	13.823,57	11.891,00	12.312,9
Eylül	11.366,74	9.627,00	10.749,6
Ekim	12.180,40	11.699,00	11.260,5
Kasım	10.819,92	11.048,00	10.468,5
Aralık	9.085,38	10.373,00	9.963,1
Toplam	131.063,28	129.954,00	129.607,51

Su Dengesi Metodu

Sızıntı suyu oluşumu, aşağıdaki gibi gruplandırılacak birkaç faktör tarafından meydana gelir.

- İklim faktörleri
- Depolama sahasını özellikleri
- Atık özellikleri
- Depolama alanındaki prosesler

İklim faktörleri yağış sıklığı ve yoğunluğu, sıcaklık ve güneş radyasyonunu içerir. Yağış sızıntı suyu üretimine ana katkı yapan ve sıklıkla hesaplamalarda dikkate alınan bir kısım olarak kabul edilir. Sızıntı suyu karakteristiğini depolama sahasının şekli, deponi sahasının üst örtüsünün malzemesinin özelliği ve eğimi, atık depolama prosesi, atıkların sıkıştırılması etkiler (Alibardi and Cossu 2018). Atık karakteristikleri temel olarak sızıntı suyu kalitesini etkiler ancak atığın yoğunluğu, partikül büyüklüğü, nem içeriği, ve alan kapasitesi de sızıntı suyu oluşumunu etkilemektedir. Depolama sahasındaki sızıntı suyu oluşumunu etkileyen prosesler, atığın parçalanmasındaki biyolojik süreçlerde su oluşumu ya da su tüketimi, atığın sıkıştırılması sonucunda atıktan su sızması, depo gazı içerisindeki suyun biyogaz sistemleriyle uzaklaştırılmasıdır (Alibardi and Cossu 2018). Depo sahasında genel su dengesi Şekil 35’de verilen şemadaki gibidir.



Şekil 35. Depolama sahası için genel su dengesi

Depo sahalarındaki su dengesinden hareketle su dengesi metodu ile sahalarda oluşacak sızıntı suyu miktarı tahmini olarak hesaplanabilir. Depo sahasında sızıntı suyu oluşumunu etkileyen ve hesaplamalarda kullanılması gereken parametreler Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 15. Deponi sahasındaki sızıntı suyunu etkileyen parametreler (Alibardi and Cossu 2018)

E	Buharlaşma
ET	Evapotranspirasyon
G	Yeraltı suyu kaynaklarından gelen su
J	Sulama veya sızıntı suyu geri devri
L	Toplam sızıntı suyu üretimi
L_c	Drenaj sistemlerinde toplanan sızıntı suyu
L_i	Zeminde kontrol edilemeyen sızıntı suyu emisyonu
P	Yağış
P_e	Depolama sahası gövdesine ulaşan etkili yağış
R^*	Çevre bölgelerden gelen su
R	Yüzeysel akış
S	Yüzey suyu kaynaklarından gelen su
U_g	Çöp gazında bulunan su buharı
ΔU_{bio}	Kimyasal veya biyolojik işlemlerden kaynaklanan su üretimi veya tüketimi
ΔU_s	Toprağın içeriğindeki su değişimi
ΔU_w	Atık içindeki su değişimi

Depolama alanının üst örtüsü için su dengesi denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$P + R^* - R - E - ET = \Delta U_s$$

Depolama sahası için:

$$P_e + J + S + G - L - U_g \pm \Delta U_{bio} = \Delta U_w$$

Su dengesindeki tüm faktörleri göz önüne alarak sızıntı suyu üretimi için genel denklem:

$$L = P + R^* + J + S + G - R - E - ET - U_g \pm \Delta U_s \pm \Delta U_w \pm \Delta U_{bio}$$

Sızıntı suyu üretimine katkıda bulunan faktörler aşağıdaki gibidir:

Depolama sahası yüzeyine doğrudan yağış, çevresindeki alanlardan gelen su, sulama veya sızıntı suyu geri devri ve su kaynaklarından deponi sahasına sızmanın gerçekleşmesi sızıntı suyu üretimine doğrudan katkı sunar.

Sızıntı suyu üretimini azaltan faktörler şunlardır:

Buharlaştırma veya evapotranspirasyon, yüzeysel akış ve depolama gazındaki su buharı sızıntı suyu miktarını azaltabilirler.

Üst örtü toprağı ve atığın nem içeriğı, kimyasal veya biyolojik işlemlerden kaynaklanan su üretimi veya tüketimi pozitif veya negatif olabilir. Bu bileşenler sızıntı suyu miktarını artırabilir ya da azaltabilirler.

Üst örtü tabakasından sızan ve etkili bir şekilde çöp sahasına ulaşan su miktarı, depolama alanındaki yağış özelliklerine (miktar, sıklık ve yoğunluk), deponi sahasının topografyasına, deponi sahasının üst örtünün bitkisel yapısına ve depolama sahasının işletme durumuna bağlıdır (Alibardi and Cossu 2018).

Etkili yağış (P_e) şu şekilde hesaplanabilir:

$$P_e = P + R^* - R - E - ET \pm \Delta U_s$$

Drenaj sisteminde toplanan toplam sızıntı suyu miktarı (L_c) dir.

$$L_c = L - L_i$$

Modern bir depolama sahasında, kontrolsüz emisyonlardan düşük geçirgen tabakaların kullanılmasıyla önlenilmektedir.

Çevre bölgelerden gelen su depolama sahasının etrafındaki hendeklerle toplanıp kontrol edilebilir. Sızıntı suyu geri devri depolama sahasındaki nemi dengelemek ve biyolojik parçalanmayı hızlandırmak amacıyla kullanılabilir. Yeraltı suyu kaynaklarından veya yüzey suyu kütlelerinden gelen sular geçirimsiz tabakaların kullanılmasıyla önlenir.

Sistemde toplanan sızıntı suyu miktarını ifade eden denklem,

$$L_c = P + J - R - E - ET - U_g \pm \Delta U_s \pm \Delta U_w \pm \Delta U_{bio}$$

Denklemin her bölümü, sızıntı suyu üretimine farklı katkılar sağlar. Yağış bir depolama alanının ömrü boyunca ve kapanma sonrası sızıntı suyu üretimini etkileyen ana faktördür. Atıkların depolanması sırasında veya üst tabakaya toprak örtüsü serilmediyse buharlaşma etkili olabilir. Buna karşılık bitkilerden terleme yoluyla suyun uzaklaşması toprak örtüsünün serilmesinden sonra katkı sağlar. Sızıntı suyunun geri devir edilmesi ve sahaya özel uygulamalarla toz kontrolü amacıyla sulamanın yapılması, deponi sahası içerisindeki sızıntı suyu miktarının artışına katkı sağlar (Alibardi and Cossu 2018).

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Düzenli depolama sahalarının en önemli çıktılarından biri olan sızıntı sularının oluşumundan bertarafına kadar özenle takip edilmesi son derece önemlidir. Sızıntı suyu miktarının ve karakterizasyonunu belirlenmesi, sızıntı suyu azaltımına yönelik çalışmalar ve sızıntı suyunun arıtılması sızıntı suyu yönetiminin temel aşamalarını oluşturmaktadır. Depolama alanı tasarım ve işletim özelliklerine bağlı olarak değişen sızıntı sularının yönetiminde; her bir aşamanın etkin bir şekilde takibi sızıntı sularından kaynaklı çevresel etkilerin en aza indirgenmesini sağlayacaktır.

Çalışmada, Erzurum düzenli depolama sahasında oluşan sızıntı suyunun yönetimi kapsamında iki temel başlık üzerinden değerlendirilmeler yapılmıştır. Birincisi, depolama sahasının sızıntı suyu karakterizasyonu, sızıntı suyunun arıtma prosesi ve performansı ile birlikte sahada yağmur suyu kontrolünün mevcut durum üzerinden incelenmesidir. İkincisi ise Su Dengesi Metodu kullanılarak sızıntı suyu miktarının tahmin edilmesidir. Bu tahminler hem mevcut işletim sistemi için hem de farklı işletim senaryoları oluşturarak aylık ve yıllık bazda belirlenmiştir. Mevcut işletim sistemi dışında oluşturulan yaklaşımlarla sızıntı suyu azaltımına yönelik alternatif önerilerde bulunulmuştur.

Erzurum Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyu Yönetiminde Mevcut Durumun İncelenmesi

Erzurum Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyu Karakterizasyonu

Sızıntı suyu çok çeşitli organik ve inorganik bileşenlerden oluşan oldukça kompleks bir yapıya sahip özel bir atıksudur. Sızıntı suyunun karakteristiğini belirleyen en önemli unsur depolanan atığın bileşimidir. Ancak depo sahasında uygulanan teknoloji ile birlikte sahada meydana gelen karmaşık fiziksel, kimyasal ve biyolojik reaksiyonların etkisi de oldukça güçlüdür. Bu nedenle sızıntı suyu kompozisyonunun net bir şekilde ifade edilebilmesi bazı durumlarda zor olabilmektedir (Christensen 2017). Sızıntı suyu depo yaşına bağlı olarak da yıllar içerisinde farklı karakteristik özellikler göstermektedir. Genç, orta ve yaşlı evre depo sahalarında açığa çıkan sızıntı suları kirlilik parametreleri izlendiğinde özellikle BOİ, KOİ, azot konsantrasyonlarında zaman içinde önemli değişiklikler gözlemlenmektedir (Öztürk 1999).

Erzurum katı atık düzenli depolama sahası sızıntı suyu havuzlarından alınan numunelerde düzenli depolama sahasının işletmeye alındığı tarihten itibaren belirli periyotlarda

sızıntı suyu kirlletici konsatrasyonlarının belirlenmesi için depolama sahası yönetimi tarafından akredite laboratuvarıda çeşitli analizler yaptırılmıştır. Çalışmada ilgili yönetimden alınan izin kapsamında 7.11.2017, 3.02.2018 ve 9.06.2018 tarihlerinde yapılan analiz sonuçlarıyla birlikte ilgili kirlilik parametrelerinin deşarj standartları Tablo 16’da verilmiştir. Bu değerler depo yaşı bazında 9. ve 10. yıllara denk gelmektedir. Bu kapsamda sızıntı suyu karakteristiğinin temel parametrelerinden biri olan KOİ başta olmak üzere AKM, renk, yağ- gres, Kjeldahl azotu, çeşitli ağır metaller ve bazı toksik parametrelerle birlikte zehirlilik analizleri de yapılmıştır.

Tablo 16. Erzurum katı atık düzenli depolama sahasına ait sızıntı suyu karakterizasyonu

Parametre	7.11.2017	3.02.2018	9.06.2018	Deşarj Limitleri
pH	7,88	7,78	8,04	6-9
Renk (Pt-Co)	11428	12703	6284	280
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	17575	8750	13000	700
Askıda Katı Madde (mg/L)	665	1616	302	200
Toplam Kjeldahl Azotu (mg/L)	2115	1766	1105	20
Toplam Fosfor (mg/L)	3,92	22	18,4	2
Yağ-Gres (mg/L)	37,6	32	30	20
Toplam Siyanür (mg/L)	<0,005	<0,005	<0,005	1
Florür (mg/L)	0,82	0,71	0,84	15
Bakır (mg/L)	0,068	0,023	0,01	3
Çinko (mg/L)	0,176	0,275	0,136	5
Demir (mg/L)	7,37	5,32	5,65	10
Kadmiyum (mg/L)	0,0017	<0,001	0,0021	0,1
Krom (toplam) (mg/L)	0,481	0,726	0,244	2
Kromt6 (mg/L)	0,14	0,113	<0,02	0,5
Kurşun (mg/L)	0,0091	0,005	0,027	2
Balık Biyodeneyi	<10	<10	<10	10

Tablo 16 incelendiğinde pH’nın tüm ölçüm zamanlarında birbirine yakın değerlerde seyrettiği görülmektedir. pH değeri, sızıntı suyu karakteristiği ve depolama sahasındaki biyolojik aktivite hakkında fikir elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Genç deponi sahalarında oluşan sızıntı suyunun pH değeri düşük, yaşlı deponi sahalarında oluşan sızıntı sularında ise yüksek pH değerleri görülmektedir. Deponi alanlarında atık depolanmaya başladıktan sonra ilk dönemlerde oksijen miktarı fazladır ve aerobik faz olması sebebiyle organik maddeler hidrolize uğramaktadırlar. Bu evre çok kısadır ve bu evre sonrasında deponi de anaerobik süreç başlar,

burada 3 faz görülür. pH değerinin yüksek oluşu depolama alanının metan fazında olduğunun ifade etmektedir (Anonim 2014).

Pt-Co cinsinden renk parametresine bakıldığında sızıntı suyunun özellikle 2017 ve Kasım / 2018 döneminde yaklaşık 11000-13000 aralığında ve Haziran / 2018 döneminde 6000 değerinin üzerinde olması saha içindeki faaliyetin oldukça aktif olduğunun bir göstergesidir.

Deponi sahasının işletmeye alınmasından sonra geçen yaklaşık 10 yıllık bir süre sonunda KOİ Kasım /2017 yılı itibariyle 17575 mg/L iken Şubat /2018' de 8750 mg/L ve Haziran /2018'de 13000 mg/L olarak ölçülmüştür. Şubat /2018'deki düşüşün sebebi Erzurum'da kış aylarının sıcaklık ortalamasının çok düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürlerde KOİ değeri 5 yaşından küçük deponi sahalarında 10.000 mg/Lt' nin üzerinde, 5-10 yaş aralığının da 4.000-10.000 mg/L, 10 yaşından büyük deponi sahalarında 4.000 mg/L' nin altında olduğunu belirtmiştir (Foo and Hameed 2009). Her depolama sahasında zamana bağlı olarak KOİ parametresi mutlaka azalma göstermektedir. Ancak bu konsantrasyon değerleri, depo sahasının işletim sistemi, iklim koşulları, sahaya gelen katı atıkların özellikleri gibi pek çok faktörden etkilenebilmektedirler. Örneğin; Avrupa ülkelerinin sızıntı suyuna ait KOİ derişimleri incelendiğinde, Afrika ve Asya ülkelerindeki sızıntı sularından daha az konsantrasyonlara sahip olduğu görülmektedir. Avrupa'da deponi alanlarının uzun yıllardan beri kullanılıyor olması, deponi sahalarının genel olarak daha yaşlı olması, halkın yaşam kalitesinin yüksek olması, atıkları kaynağında ayırma yönteminin uygulanması ve atıkların düşük organik içeriğe sahip olabilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Akkaya vd 2011). Erzurum düzenli depolama sahasında Kasım/2017 ve Haziran/2018'de KOİ değerlerinin yüksek olması, orta yaşını tamamlamış 1. Lotun Temmuz/2017 itibariyle kapatılıp 2. Lotun hemen devreye alınması ile açıklanabilir. Başka bir ifadeyle, 1.Lottan çıkan sızıntı suyuna henüz genç evrenin başlangıcında olan 2.lottan gelen konsantre sızıntı suyunun eklenmesi ile KOİ değerlerinin yükseldiği düşünülmektedir. Ayrıca bu durum analizi yapılan numunenin kompozit olup olmamasıyla da alakalı olabilir (Akkaya vd 2011). Şubat/2018 döneminde ise KOİ daha düşük olup bu sonuç kış aylarında düşük organik madde ve yüksek inorganik maddeden kaynaklanabilir (Akkaya vd 2011).

Sızıntı suyu AKM konsantrasyonları 300-1600 mg/L aralığında değerlere sahiptir. AKM konsantrasyonu genç sızıntı sularında yüksek değerlerde iken zamanla daha düşük konsantrasyonlara düşebilmektedir. Deponi yaşına bağlı olarak AKM değerinin azalması, depo sahasının filtre görevi görmesinden kaynaklanmaktadır. Deponi sahasının üzerine atıkların gelmesi, depolanan atık içerisinde bulunan ve çözünerek sızıntı suyuna geçebilecek AKM'lerin, deponi içerisinde bekleme süresinin artması ve deponi içerisinde bir nevi filtrasyona uğrayacağı

söz konusu olacağından, deponi yaşı arttıkça askıda katı madde miktarının azalmasına sebep olacaktır. Ayrıca, sızıntı suyunda AKM miktarı için atık bileşenleri, yağış ve günlük örtü toprağı ile bağlantı kurulabilir (Balahorli 2011). Ancak AKM konsantrasyonunun Şubat /2018 döneminde 1616 mg/L değeri ile diğer ölçüm zamanlarına göre yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum kış aylarında katı yakıt kullanım sonucu oluşan kül gibi ince malzemenin çöp içerisinde mevcudiyetine bağlanabilir.

Sızıntı suyunu temsil eden en önemli kirlilik parametrelerinden biri de azottur. Sahada oluşan sızıntı suyunda azotlu madde Kjeldahl azotu olarak analizlenmiştir. 2017- 2018 arasında yaklaşık bir yıllık süreçte Kjeldahl azotu yaklaşık 2000 mg/L değerinden 1000 mg/L değerine düşmüştür. Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) amonyak ve organik azot bileşiklerinin toplamını ifade eder. Özellikle organik azot ve amonyum azotu konsantrasyonunun yüksek olduğu sızıntı sularında nitrat ve nitrit azot düşük konsantrasyonlarda bulunur (Balahorli 2011).

Sızıntı sularında fosfat konsantrasyonu azot ve karbonlu bileşiklere daha az konsantrasyonlarda görülmektedir. Literatürde sızıntı sularındaki fosfat derişimleri hakkında genç deponi sızıntı suları için 25-35 mg/l, orta yaş deponi sızıntı suları için 12 mg/l, yaşlı deponi sahaları ait sızıntı suları için ise ortalama 8 mg/l olabileceğini belirtmiştir (Chian and Walle 1977). Benzer şekilde toplam fosfor konsantrasyonuna bakıldığında 2017 – 2018 arasında yaklaşık olarak 3-22 mg/L tespit edilen değerler ilgili parametrenin KOİ ve TKN konsantrasyonları ile karşılaştırıldığında oldukça düşük olduğunu göstermektedir.

Yağ-gres analizleri 30-37,6 mg/L değerleri arasındadır. İlgili dönemlerde yaklaşık olarak birbirine yakın değerlerde gözlenmiş olup deşarj limitinin biraz üzerinde olduğu görülmektedir.

Sızıntı suyu analizlerinde takibi yapılan lirlilik parametrelerinden ikisi Siyanür ve Florür'dür. Siyanür özellikle HCN veya CN⁻ oldukça toksik olup sucul ortamlarda metabolik inhibitördür. Florürün yüksek konsantrasyonları da çevre için tehlikeli durumlar oluşturabilmektedir (Kang *et al.* 2008). Yapılan ölçümler her iki bileşenin deşarj limitlerinin altında olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, sahaya gelen atıkların belediye atıkları olması ile ilişkilendirilebilir.

Sızıntı sularını temsil eden en önemli kirleticilerden biri de genel adlandırılmasıyla ağır metallerdir. Kentsel katı atık depo sahalarına ait sızıntı sularında ağır metal konsantrasyonları oldukça düşüktür ve nadiren deşarj limitlerini aşar (Christensen 2017). Bu kapsamda sızıntı suyunda Çinko, Demir, Kadmiyum, Krom, Krom 6 ve Kurşun parametreleri takip edilmiş olup ilgili yıllarda bu parametrelerin tümünün konsantrasyonlarının limitlerin altında olduğu belirlenmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarının deşarj limitlerinin altında olmasının öncelikli

sebebi metallerin büyük oranda depo sahasındaki organik maddeler tarafından sabitlenmesi olarak ifade edilmektedir (Christensen 2017). Bu sonuçlar Erzurum katı atık düzenli depolama sahasının II. sınıf bir depolama sahası olmasına da bağlanabilir. Başka bir deyişle sahaya sterilize edilmiş tıbbi atıklar haricinde tehlikeli atık girdisi olmamaktadır.

Sızıntı suyunun zehirlilik analizleri Balık biyodeneyi ile belirlenmiş olup sonuçlar toksisite durumunun olmadığını göstermektedir.

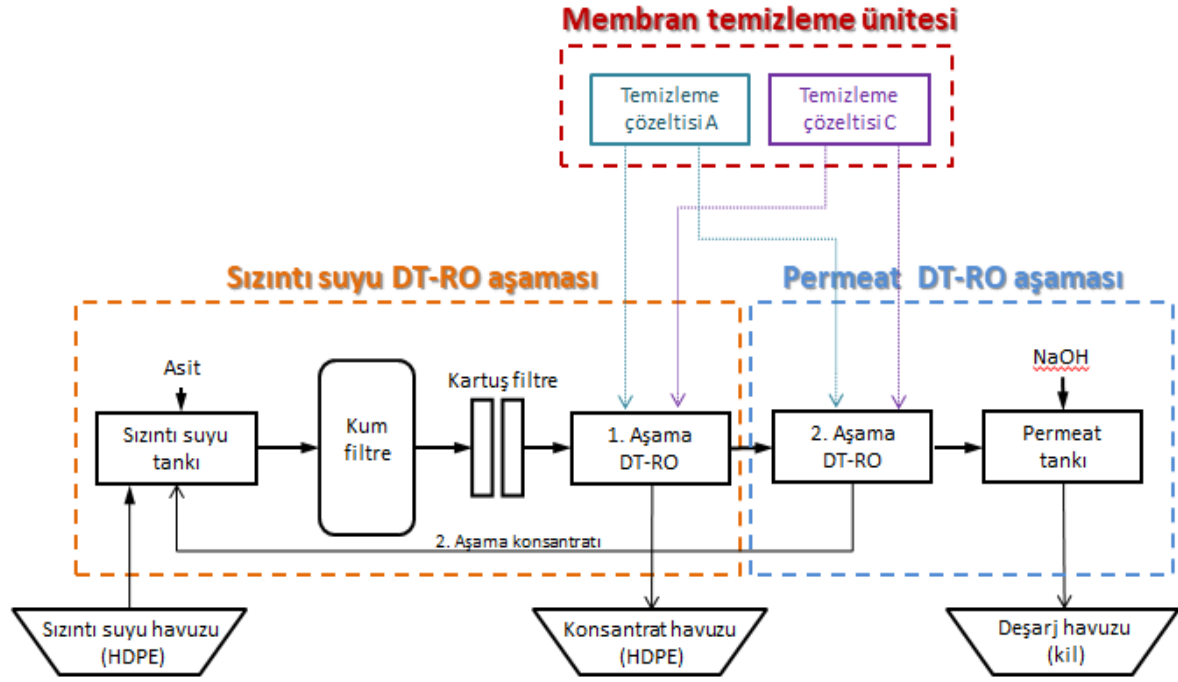
Erzurum Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyu Arıtma Prosesinin İncelenmesi ve Arıtma Performansının Değerlendirilmesi

Günümüze kadar pek çok ülkede ve ülkemizde belediye katı atıklarını bertaraf etmenin en yaygın yolu olan düzenli depolama işleminde ortaya çıkan sızıntı sularının etkin bir şekilde arıtılması için çeşitli arıtma teknolojileri uygulanmıştır. Genel olarak konvansiyonel ve yeni teknolojiler başlığı altında ifade edilebilecek uygulamalar söz konusudur. Gerek hacimsel akışta gerekse kimyasal bileşimde önemli farklılıklar gösteren oldukça kirli ve karmaşık bir karakteristiğe sahip tehlikeli sızıntı sularının çevre üzerindeki etkisi zaman içinde tanınmış olup bu durum giderek daha katı kirlilik kontrolü gereksinimlerini ortaya koymuştur (Chianese *et al.* 1999; Renou *et al.* 2008; Almeida *et al.* 2020). Yüksek standartlar dikkate alındığında biyolojik bozunma, fiziksel ve kimyasal metodlar gibi konvansiyonel arıtma metodlarının yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu nedenle ya konvansiyonel uygulamalarda birtakım iyileştirmeler ve modifikasyonlar yapılarak ya da membran gibi yeni teknolojiler geliştirilerek sızıntı suyu arıtımında daha kaliteli çıkış suyu sağlama yoluna gidilmiştir. Sızıntı suyu arıtımında yeni teknolojiler mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, membran biyoreaktörler, nanofiltrasyon ve ters osmozdur (Renou *et al.* 2008). Sızıntı suyu arıtımında özellikle ters osmoz prosesinin ya bir çöp sahası sızıntı suyu arıtma zincirinde ana adım olarak ya da ön arıtma sonrası adım olarak kullanılması ile suyu saflaştırmaya yakın verimler elde edilmesi sonucunu getirmiştir (Abbas *et al.* 2009). Hem organik hem de inorganik kirleticilerin giderilmesinde %99 ve üzerinde giderim gerçekleştirilmektedir (Chianese *et al.* 1999; Renou *et al.* 2008). Bu başarı zaman içinde ters osmoz ünitelerinde kullanılan modüllerdeki gelişmelerle de alakalıdır. Borulu ve spiral sargılı modüller, 1984 yılında başlayan çöp sızıntı suyunun saflaştırılması için ters osmoz ünitelerinde kullanılan ilk membran ortamıdır. Sonrasında 1988 yılında Pall -Exekia tarafından geliştirilen disk tüp modül (DT modülü) membranlar başarı ile pazarlanmıştır. DT modül ters osmoz ünitelerinin açık kanal modülü sayesinde kolay temizlenebilir özellikte olması bu teknolojiye ilgiyi artırmıştır. Almanya, Hollanda, İsviçre, Kuzey Amerika ülkelerinde DT modül ters osmoz sızıntı suyu arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde de sızıntı

suyu arıtımında ters osmoz ünitesi kullanılan depolama sahaları mevcut olup DT modül ters osmoz uygulaması ilk olarak EKADDT’de uygulanmıştır.

Sızıntı suyu arıtma prosesinin incelenmesi

EKADDT’de oluşan sızıntı suları ters osmoz prosesinde arıtılmaktadır. Prosesin akım şeması Şekil 36’da verilmiştir.



Şekil 36. EKADDT sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması

Ters osmoz sızıntı suyu arıtma tesisi; sızıntı suyu besleme bacası, dalgıç pompa, tesise bağlanan borular, ters osmoz ünitesi, giriş suyu havuzu, yedek havuzlar, konsantrat havuzu ve yüzey suyu havuzlarını kapsamaktadır. Şekilden de görüldüğü üzere proses işletimi 2 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; sızıntı suyu aşaması, permeat aşamasıdır. Sistemin diğer bir unsuru membran temizleme ünitesi olup bu ünite membranların etkinliğini artırmak için gereklidir. Sızıntı suyu aşamasında bulunan 1. Modül ters osmoz ünitesi ile permeat aşamasında bulunan 2. Modül ters osmoz ünitesi birbirine seri bağlanmıştır. Sistem, 18 mS/cm sızıntı suyu iletkenliği ve 25°C sıcaklıkta ideal olarak çalışmaktadır. Tesisin debisi 66 m³/gündür. Arıtma sonucunda, konsantrat havuzuna geri gönderilen yaklaşık 16,50 m³/gün konsantrat, yüzey suyu toplama havuzuna gönderilen 49,50 m³/gün arıtılmış su elde edilmektedir. Ters osmoz prosesinin teknik özelliklerine bakıldığında çalışma basıncının 65 bar, modül cinsinin disk tüp, temizlemenin iki aşamalı olduğu görülmektedir. Ham sızıntı suyu pompası (dalgıç pompa), sızıntı suyu nötralizasyon tankı (4 m³), kum filtre, kartuş filtre, 1. ve 2. aşama yüksek basınç pompaları, arıtılmış sıvı depolama tankı (4 m³), kimyasallar için depolama tankları ve dozaj sistemleri, konteyner, ölçme sistemi (pH, iletkenlik, sıcaklık), bilgisayar donanımı (endüstriyel

PC), depolanmış program kontrol (SPC), veri işlemci, bilgisayar yazılımı ve konteyner içinde ısıtılma, ısıtma, elektrik kaynağı diğer teknik ekipmanlardır.

Sızıntı suyu aşaması

Sızıntı suyu aşamasında; sızıntı suyu tankı, kum filtre, kartuş filtre ve 1. Aşama DT modül ters osmoz ünitesi bulunmaktadır.

Sızıntı suyu tankı, sızıntı suyu havuzundan dalgıç pompa vasıtası ile tesise pompalanan sızıntı suyuna, sülfürik asit dozlamasının yapıldığı ve giriş pH'sının ayarlandığı tanktır. Burada kullanılan sülfürik asit'in saflık derecesi kütlege %96 – 98 ve yoğunluğu 1,830 g/cm³'dür. Sızıntı suyu tankı otomatik seviye göstergeleri sayesinde otomatik olarak doldurulmakta, sızıntı suyu pH'sı ise yine otomatik olarak kontrol edilen pH metre ile ayarlanmaktadır.

Kum filtre, pH'sı ayarlanan sızıntı suyunda bulunan kaba maddelerin tutulması amacıyla kullanılmaktadır. Kum filtre giriş basıncı yaklaşık 4 bar civarındadır. Kum filtre giriş ve çıkış basınçları otomatik olarak kontrol edilmekte ve filtre geri yıkaması kum filtre üzerindeki basınç kaybına bağlı olarak otomatik olarak yapılmaktadır. Kum filtreye ihtiyaç duyulması halinde manuel olarak geri yıkaması yapılabilmektedir. Geri yıkama atık suyu sızıntı suyu toplama havuzuna gönderilmektedir.

Kartuş filtre, kum filtreden kaba maddeleri ayrılan sızıntı suyu, içerisindeki daha küçük maddelerin uzaklaştırılması amacıyla 10 µm gözenek çaplı 7 şer adet filtre içeren paralel iki kartuş filtrelerden geçirilmektedir. Kartuş filtre giriş ve çıkış basınçları otomatik olarak kontrol edilmekte ve kartuş filtre üzerindeki basınç kaybına bağlı olarak alınan uyarıyla değiştirilmektedir. Kartuş filtreler paralel iki adet olarak tasarlandığından, filtrelerin değişimi sırasında tesisin durdurulmasına gerek duyulmamaktadır. Filtreleri değiştirilmiş filtre vanaları açılıp, kirli filtrelerin bulunduğu filtrenin vanaları kapatılarak kartuşlar değiştirilir.

1.Aşama DT modül ters osmoz; kartuş filtrede işlem gören sızıntı suyu birinci arıtım aşaması olan 22 adet membrandan oluşan ters osmoz ünitesine verilir. Burada giriş suyu iletkenlik ve pH'ı otomatik olarak ölçülmektedir. Tesisin birinci arıtım aşamasında bir adet yüksek basınç pompası ve bir adet sistem pompası bulunmaktadır. İkinci pompa birinci pompanın basınçlandığı suyu DT modüllere eşit miktarda ve uygun basınçta verilmesini sağlamaktadır. Birinci aşamadaki DT modül sayısı, arıtılacak sızıntı suyu miktarına göre belirlenmektedir. Atık suyun DT modüllere basınçlı verilmesini sağlayan yüksek basınç pompası, otomatik ayarlanabilen vanalar yardımıyla kontrol edilmektedir. Bu vanalar çıkış suyu ve giriş suyu iletkenliğindeki değişikliklere göre otomatik olarak açılıp kapanmaktadır.

Konsantrat havuzu; Sızıntı suyunun ters ozmos prosesinde arıtılması sonucu genel olarak sızıntı suyunda bulunan maddeleri içeren hacimsel olarak %25-30 arasında sıvı formda olan konsantre kısmın iletildiği havuzdur.

Permeat Aşaması:

Bu aşama; 2. aşama DT modül ters osmoz, permeat tankı ve deşarj havuzundan ibarettir.

2. Aşama DT modül ters osmoz; sızıntı suyu arıtma aşamasında arıtılan su, arıtım verimini artırılması için ikinci bir kez daha arıtılmak üzere 5 adet membrandan oluşan permeat arıtma ters osmoz ünitesine verilir. Burada permeatın iletkenlik ve pH'sı otomatik olarak ölçülmektedir. Permeat bu aşamada basınç pompası yardımıyla basınçlandırılarak DT modüllere iletilmektedir. Bu aşamada arıtılan su permeat tankına, oluşan konsantrat ise sızıntı suyu arıtma aşamasına gönderilir. Arıtılan suyun kirliliğinin yüksek olmamasından dolayı genellikle %90 verimle çalıştırılmaktadır.

Permeat tankı; arıtılmış suyun toplandığı tanktır. Bu tanka verilen arıtılmış suyun nötralize edilmesi için saflık derecesi kütlece %45- 48 ve yoğunluğu 1,495 g/cm³ sıvı sodyum hidroksit kullanılmaktadır.

Permeat Deşarj Havuzu; deşarj standartları sağlandıktan sonra arıtılan suyun deşarj edildiği tabanı kille kaplanmış toprak havuzdur. Burada toplanan arıtılmış su zaman içinde buharlaşmaktadır.

Membran Temizleme Ünitesi:

Membranların temizleme ünitesi, 1. ve 2. modül ters osmoz ünitelerinin temizlenmesi için devrede olan iki adet tanktan oluşmaktadır. Bu tanklarda farklı özellikte temizleme çözeltileri bulunmaktadır. Bu çözeltilerden biri organik maddelerin membrandan uzaklaştırılması için kullanılan alkali özellikteki çözelti, diğeri ise inorganiklerin maddelerin membrandan uzaklaştırılması sağlayan asidik çözeltidir. Tablo 17'de temizleme çözeltilerinin özellikleri verilmiştir.

Tablo 17. Membran yıkamada kullanılan kimyasalların bileşenleri

Bileşim	Temizleme Çözeltisi A	Temizleme Çözeltisi C
Hali	Sıvı	Sıvı
Sodyum Hidroksit	% 0-5	-
Na-EDTA	% 0-5	-
Tenside	% 0-5	-
Sitrik asit	-	% 0 - 30
Yoğunluk (g/cm3)	1,1	1,1
pH	12,5-13	2,5-3
Viskozite (mPa.s)	< 5	< 5
Görünüm	Açık kahverengi	Açık

Arıtma performansının değerlendirilmesi

Ters osmoz prosesinin en önemli avantajı yüksek kalitede arıtılmış süzüntü üretimidir. Bununla birlikte bu proseslerin en önemli dezavantajı konsantre üretimidir (Christensen 2017). Bu bağlamda sistem performansı üzerine iki ayrı değerlendirme yapılabilir. Birincisi sızıntı suyu kompozisyonunu oluşturan kirlilik parametrelerinin giderilme performansı, ikincisi ise konsantreye uygulanan işlemlerdir.

Sızıntı Suyu Arıtma Performansı İle İlgili Değerlendirmeler

EKADDT sızıntı sularının DT modül ters osmoz prosesi ile arıtımının oldukça verimli olduğu gözlenmiştir. Sızıntı suyu karakteristiğini belirleyen kirlilik parametrelerinin Kasım/2017, Şubat/2018 ve Haziran 2018 dönemlerine ait çıkış suyu son konsantrasyon verileri deşarj standartları ile birlikte karşılaştırmalı olarak Tablo 18’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde çıkış suyu pH değerlerinin Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 20.6 deşarj limitleri ile uyumlu olduğu ve diğer parametrelerin, analizi yapılan dönemlerin tümünde, bütün kirletici konsantrasyonlarının SKKY deşarj limitlerinin altında olduğu görülmektedir. DT modül ters osmoz ünitesinin verimi bu kirlilik parametrelerinin çıkış suyundaki konsantrasyonları üzerinden hesaplanmış olup Şekil 38’de renk, KOİ, AKM, TKN, TP, yağ ve gres, Şekil 39’da toplam siyanür ve florür Şekil 40’de ise ağır metallerle ait verimler gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde renk giderimi %98,6 – 99,7 aralığında gerçekleştiği görülmektedir. Ham sızıntı suyunun rengi oldukça koyu kahverengi veya siyah olduğu dikkate alındığında deşarj edilen arıtılmış suya ait Şekil 37’de verilen görüntü arıtılmış suyun fiziksel olarak oldukça berrak olduğunu göstermektedir.

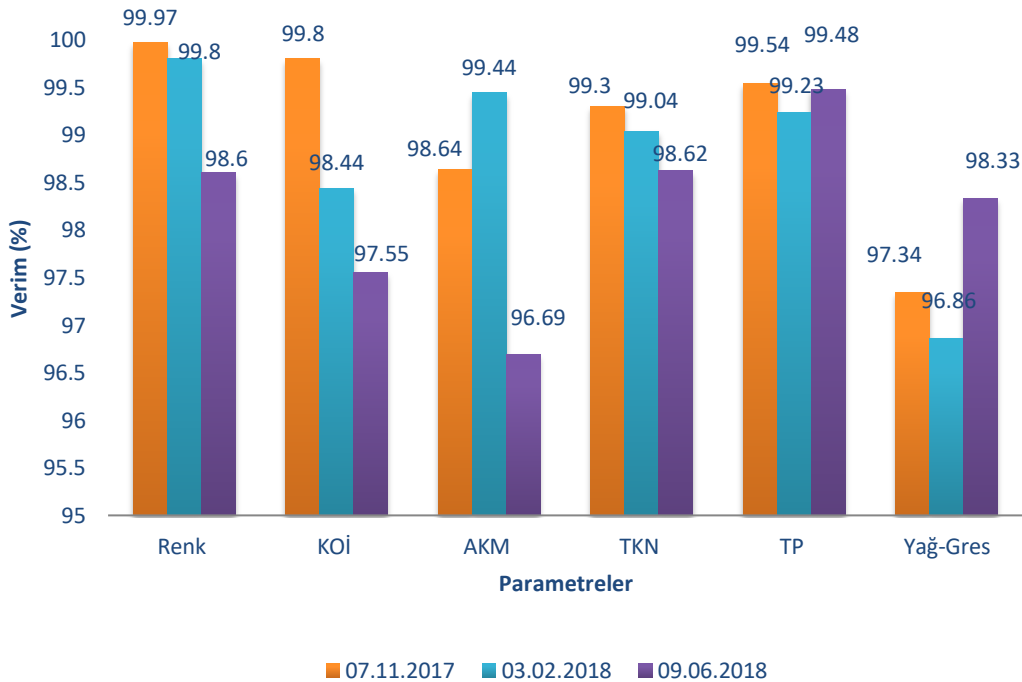


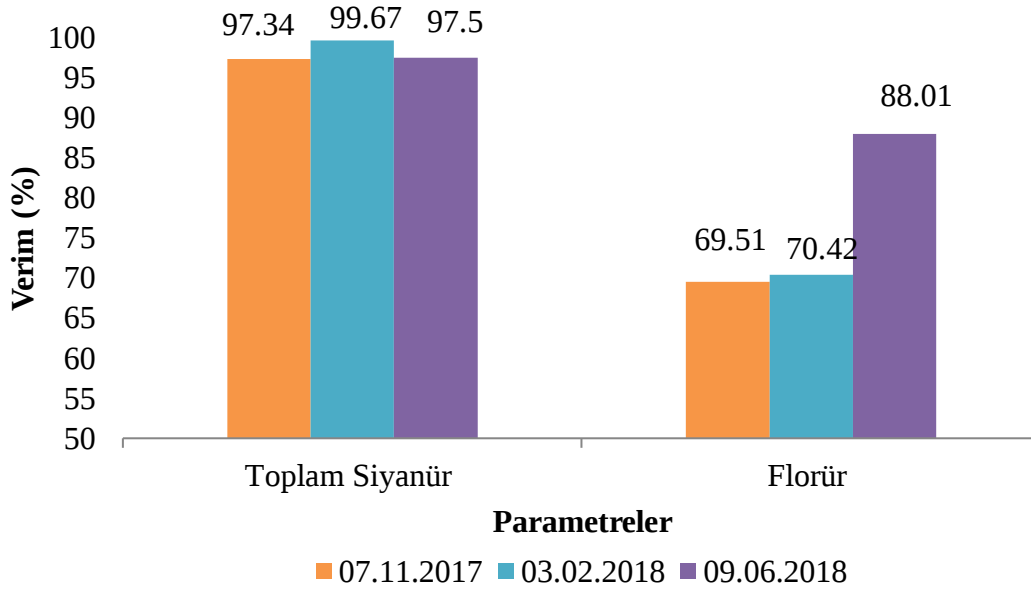
Şekil 37. Tesisi çıkış suyu görüntüsü Sızıntı suyu arıtma

Şekil 38'e göre diğer parametrelere bakıldığında, KOİ giderimi 97,55-99,8 aralığında gerçekleşirken AKM giderimi %96,69-99,44 olmuştur. Benzer şekilde TKN giderim verimi en düşük %98,62 en yüksek %99,04 olarak gerçekleşmiştir. TP giderimi ilgili sonuçlar verimi %99 değerinin üzerinde olduğunu göstermektedir. Yağ ve gres giderimi incelendiğinde sonuçların %96,86-98,33 aralığında gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 39'da görüldüğü üzere en yüksek giderim verimleri sırasıyla toplam siyanür ve florür için %99,67 ve %88,01 olarak hesaplanmıştır. Şekil 40'da demir ve toplam krom'un %99'lar, kadmiyumun %95 civarında giderildiği görülürken krom 6 için %82,5-%97,14 ve kurşun için %81,48-99,01 aralığında verimler elde edilmiştir. Dolayısıyla sızıntı sularının ters osmoz arıtma tesisi çıkış suyunun alıcı ortama deşarj standartlarını sağlamaktadır. Ters osmoz performansı ile ilgili literatürler incelendiğinde %99,9 AKM, %92,9 TN, %99,4 TP, %98,8 Fe, %98,7 Cu, %99,3 Zn, %100 Cr gibi değerlere ulaştığı tespit edilmiştir (Bilstad and Madland 1992). Benzer şekilde bir başka literatürde ters osmoz prosesi ile sızıntı suyu arıtımında KOİ, BOİ ve TKN'nun %90'ların üzerinde AKM ve bulanıklığın %99 değerinin üzerinde giderildiği belirtilirken; prosesin genç, orta ve yaşlı depo sahası sızıntı sularının arıtımın her birinde yüksek başarı gösterdiği vurgulanmıştır (Renou *et al.* 2008). Bazı sonuçların %80'ler civarında çıkması ters osmoz sisteminin işletilmesi sırasında meydana gelebilecek bir takım teknik problemlerden kaynaklanabilir.

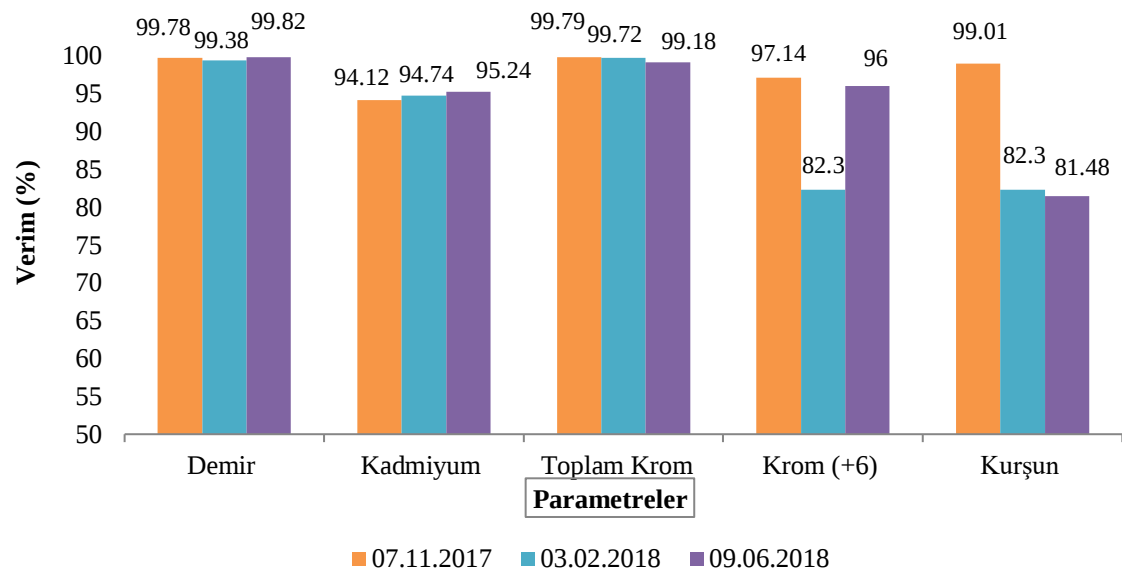
Tablo 18. Erzurum düzenli depolama sahası sızıntı arıtma tesisi deşarj suyu karakterizasyonu

Parametre	17.11.2017	27.02.2018	9.06.2018	Deşarj limitleri
pH	6,31	6,47	7,17	6-9
Renk (Pt-Co)	<5	26	88	280
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	35	128	318	700
Askıda Katı Madde (mg/L)	<10	<10	<10	200
Toplam Kjeldahl Azotu (mg/L)	14,4	17	15,2	20
Toplam Fosfor (mg/L)	0,018	0,17	0,096	2
Yağ-Gres (mg/L)	<10	<10	<10	20
Toplam Siyanür (mg/L)	<0,005	0,045	<0,005	1
Florür (mg/L)	0,25	0,21	<0,100	15
Bakır (mg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	3
Çinko (mg/L)	<0,001	0,011	<0,001	5
Demir (mg/L)	0,016	0,033	<0,010	10
Kadmiyum (mg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	0,1
Krom (toplam) (mg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	2
Krom 6 (mg/L)	0,25	<0,020	<0,02	0,5
Kurşun (mg/L)	<0,005	<0,005	<0,005	2
Balık Biyodeneyi	<10	<10	<10	10

**Şekil 38.** Ters osmoz çıkış suyunda KOİ, AKM, TKN, TP, Yağ-Gres giderim verimleri



Şekil 39. Ters osmoz çıkış suyunda toplam siyanür ve florür giderim verimleri



Şekil 40. Ters osmoz çıkış suyunda demir, kadmiyum, toplam krom, Krom (+6) ve kurşun giderim verimleri

Ters Osmoz Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi Konsantratu İle İlgili Değerlendirme

Membran sistemlerin en önemli dezavantajlarından biri konsantre oluşumudur. Çevresel farkındalık ve sıkı yönetmelikler, konsantre yönetimini gerekli hale getirmiştir. Herhangi bir arıtma yapmadan deşarj, arıtma ve/veya geri kazanım için yapılan yönetim ve bertaraf teknolojilerinin tamamı konsantre yönetimi kapsamındadır (Anonim 2020e). Sızıntı suyunun ters osmos prosesinde arıtılması sonucunda, hacimsel olarak % 25-30 arasında sıvı

formda konsantre atık oluşmaktadır. Oluşan konsantre atık sızıntı suyu karakterisitğini oluşturan kirlilik parametrelerinin hemen hemen tamamını içermektedir. Örneğin; Şanghai’da bir çöp depolama sahasının sızıntı suyunun ters osmozla arıtılması sonucunda oluşan konsantrede; KOİ ve TOK ile ifade edilen çözünmüş organik maddeler, uçucu yağ asitleri, hümkik asit ve hümkik asit bileşikleri gibi bazı dayanıklı organik bileşikler, alkol, organik asit, sekonder sülfonik asit ve polimerik moleküllerin varlığı tespit edilmiş olup konsantre sıvının biyolojik olarak parçalanabilirliğinin düşük olduğu vurgulanmıştır. Bunlarla birlikte farklı mevsim ve iklimlerde, konsantrenin inorganik içeriğinin ve konsantrasyonlarının büyük ölçüde değiştiği belirtilmiştir. Konsantrede tespit edilen inorganik sabit bileşenler Ca, Mg, Fe, Mn, Na, K, Cl⁻, SO₄ ve HCO₃⁻, Cl, NH₄ ve ayrıca B, As, Se, Ba, Li, Co vb.dir. Bu inorganiklere ilaveten konsantrede Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn ve Hg ağır metalleri ile birlikte bir dizi aromatik hidrokarbon içeren biyokütle organik madde, fenolikler, benzen sınıfı malzeme ve klorlu hidrokarbon yağının olduğu belirtilmiştir (Renou *et al.* 2008). Yüksek tuz ve ağır metal içeriği ve düşük parçalanabilirliğinden dolayı konsantre akımın arıtılması zordur. Evaporasyon, ileri oksidasyon prosesleri arıtma, katılaştırma, katın atık üzerine püskürtülerek yakma, deponi sahasına geri devir yaygın olarak kullanılan konsantre bertaraf yöntemleridir (Genç ve Durna 2019).

Bu yöntemlerin dışında konsantre atık depolanabilir. Örneğin, Almanya’da sızıntı suyu konsantrelerinin genellikle varillerde ve eski madenlerde saklandığı bilinmektedir (Christensen 2017). EKADDT ters osmoz ünitesinde oluşan konsantre geri devir ile deponi sahasına verilmektedir. Mühendislik uygulamalarında deponi alanına konsantrenin geri devri düşük maliyetinden dolayı tercih edilmektedir (Genç ve Durna 2019).

Sahada konsantre geri devir işlemi tesisin kurulumundan itibaren farklı yöntemlerle yapılmıştır. Bu yöntemler;

- Spreyleme yöntemi
- Pompa yardımıyla geri devir

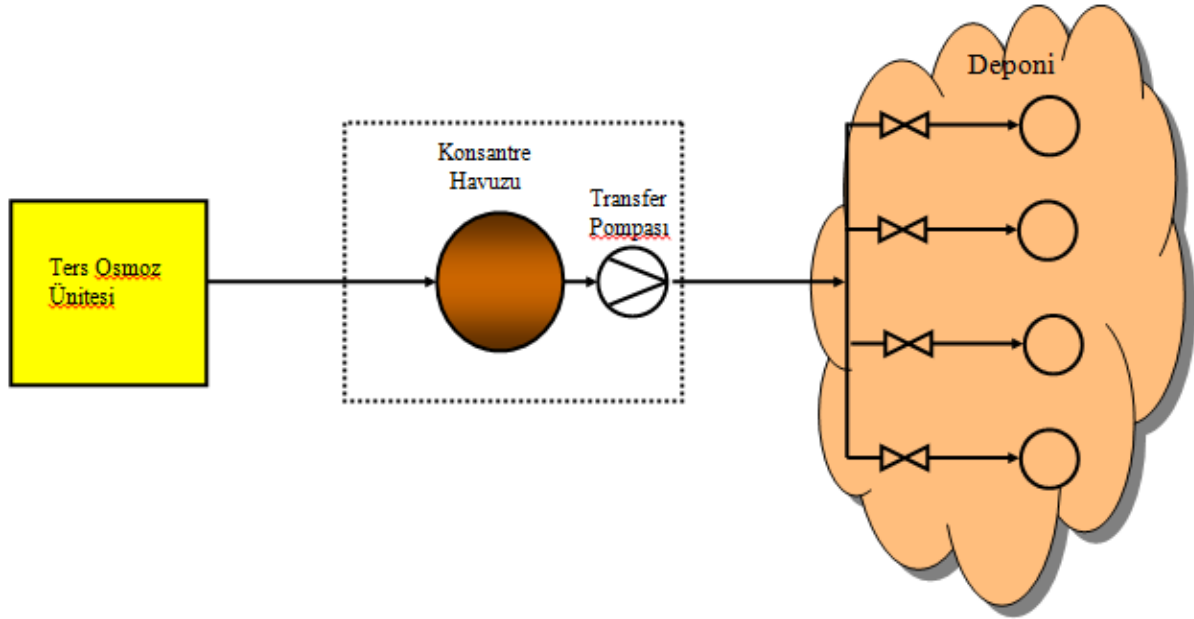
Spreyleme yöntemi

Konsantre havuzunda bulunan dalgıç pompa yardımıyla 4 m³’lük bir tankere aktarılan konsantrat traktörle lot üzerine taşınmaktadır. 2 personel yardımıyla spreyleme yapılmaktadır.

Pompa yardımıyla geri devir

Bu durumda, konsantratın geri devri için bir transfer pompası kullanılmaktayken, 2017 yılı sonu itibari ile metan gazından elektrik üretim tesisine deponi sahasına gaz çekilmesi için borulama yapıldığı esnada deponi içerisindeki nemin yeterliliğini sağlamak amacıyla ekstra

borulama sistemi yapılmıştır. Bu borulama sistemi üzerine aşılama bacaları yapılmıştır. Bunun için konsantrat havuzunun yanına yerleştirilen pompa konsantre kısmı deponi üzerindeki aşılama bacalarına transfer etmektedir. Şekil 41’de konsantre dağıtım yapısı gösterilmektedir.



Şekil 41. Konsantre dağıtım yapısı

Erzurum Düzenli Depolama Sahasında Yağmur Suyu Yönetiminin Değerlendirilmesi

Düzenli depolama tesislerinde hidroloji saha yönetimini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Yağışlardaki değişimler, sahaya düşen yağış miktarı, yağış şiddeti sahanın kontrolü açısından önemlidir. Yağışlar sahanın işletilmesinde çeşitli problemler oluşturabilmektedir. Ancak yağışların en önemli olumsuz tarafı sızıntı suyu miktarında artışa neden olmasıdır. Yağmur suları sızıntı suyunu oluşumunun en önemli paydaşıdır. Dolayısıyla yağmur suyu kontrolü sızıntı suyu yönetiminin temel işlemi olarak ifade edilebilir. Sızıntı suyu miktarını önemli ölçüde azaltmanın en etkili yolu budur.

Sızıntı suyu debisinin artması sızıntı suyu arıtımında işletme problemleri oluşturabilmekte ve ilave maliyetler getirmektedir. Ülkemizde depolama sahalarında yetersiz işletme koşulları ve verimli bir atık ayrımı yapılamamasından ötürü fazla miktarda sızıntı suyu üretildiği bilinmektedir. Bu durum ülkemizdeki depolama sahalarında oluşan sızıntı suyu miktarlarının ülkemiz yağış ortalamasının üzerinde yağış yüksekliğine sahip ülkelerden daha fazla olduğu şeklinde örneklendirilmektedir. Yağmur suyunun başarısız kontrolü, sızıntı suyu artışı ile birlikte sahanın mansap kısmındaki alıcı ortamlara atık, sediment, kimyasal kirleticiler taşıyabilmektedir. Bu problemlerin önlenmesi için depolama sahalarında eğimler, kanallar,

borulu drenajlar gibi elemanlar oluşturularak yağmur suyunun sahayı terk etmesi sağlanmaktadır (Anonim 2014).

EKADDT’inde de yağmur suyu drenajı yağmur suyu toplama yapıları, şevler, kanallar ve drenaj boruları vasıtasıyla yapılmaktadır. Sahada 1. Lot ve 2. lotun şevlerinden ve boş hücrelerinden gelen yağmur sularını toplayan yağmur suyu kanalı Şekil 42’de gösterilmiştir.



Şekil 42. EKADDT ’de yağmur suyu kanalı

EKADDT’nin tabanına kil ve membran serildikten sonra 100 mm çapında belirli aralıklarla kıvrım yapmayacak şekilde ortalama %1 eğime sahip delikli borularla kaplanmıştır. Bu borular yüksek basınca dayanıklı olmakla beraber üzerine gelecek suyu tahliye edebilmek için üst kısmı küçük deliklerle kaplıdır. Ayrıca drenaj borularının çevresine kum ve çakıl filtreler yerleştirilmiş olup kum ve çakıl filtrenin boru sırtından itibaren yüksekliği minimum 30 cm’dir. EKADDT’de boş hücrelerden yağmur suyu toplam sisteminin yapımı Şekil 43’de gösterilmiştir.



Şekil 43. EKADDT 'de boş hücrelerden yağmur suyu toplam sisteminin yapımı

Yüzeysel suların ve/veya yeraltı sularının depolanmış atığa temasını engellemek de yağmur suyu yönetiminin bir parçasıdır. Bunun için EKADDT'de sahada oluşan sızıntı sularının yeraltı suyuna etkilerini belirlemek için ölçümler yeraltı suyunun menbasında bir noktada ve mansabında ise üç noktada gözlem kuyusu açılmıştır. Erzurum katı atık düzenli depolama sahasında atık depolanmaya başladıktan sonra sızıntı suyunun yeraltı suyuna herhangi bir etkisinin olup olmadığını belirlemek amacıyla belirli aralıklarla analizler yaptırılmaktadır. Bu bağlamda ilgili yönetimden alınan izin kapsamında 15.12.2017 tarihinde yapılan analiz sonuçları Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. Erzurum katı atık düzenli depolama sahasına ait yeraltı suyu izleme parametreleri

Parametre	15.12.2017
pH	7,67
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	<10
Askıda Katı Madde (mg/L)	42,5
Toplam Kjeldahl Azotu (mg/L)	1,01
Toplam Fosfor (mg/L)	0,282
Yağ-Gres (mg/L)	<10
Toplam Organik Karbon (µg/L)	<1
Amonyum (mg/L)	0,36
Amonyum Azotu (mg/L)	0,3
Nitrat Azotu (mg/L)	1,3
Nitrit Azotu (mg/L)	0,023
Kadmiyum (mg/L)	<0,001
Klorür (mg/L)	17,5
Kurşun (mg/L)	0,0061
Arsenik (mg/L)	<0,005
Civa (mg/L)	<0,0005
Sülfat (mg/L)	14
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	5,61
İletkenlik (µg/L)	449
Trikloretan (µg/L)	<0,09
Tetrakloretan (µg/L)	<0,09

Deponi sahalarında oluşan sızıntı suları organik ve inorganik kirleticileri içerdiklerinden dolayı, yeraltı suyunun kalitesini değiştirebilmektedirler. Yeraltı suyu kaynaklarının kirlenmesi, içme suyu kaynaklarının tehlikeye girmesi anlamına gelebilmektedir. Bu tehlikenin yorumlanmasında; sızıntı suyunun oluşturacağı risklerin azaltılması, yeraltı suyunun

iyileştirilmesi ve yeraltı suyunu izleme programlarının belirlenmesi çok büyük önem arz etmektedir (Holm *et al.* 1995). Kirleticileri durumlarına göre; durumu değişiklik göstermeyenler, durumu değişebilenler ve kalıcı maddeler olmak üzere sınıflandırmıştır. Yeraltı suyunda durumu değişiklik gösterebilen kirleticiler sınıfında yer alan çözünmüş organik karbonun yüksek konsantrasyonda bulunması, yeraltı suyunun sızıntı suyu ile kirlendiğinin bir göstergesidir (Christensen *et al.* 1998). EKADDT gözlem kuyusunda yapılan analizlerde herhangi bir problem olmadığı belirlenmiştir.

Erzurum Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyu Miktarının Su Dengesi Metodu İle Belirlenmesi ve Sızıntı Suyu Miktarının Minimize Edilmesine Yönelik Yaklaşımlar

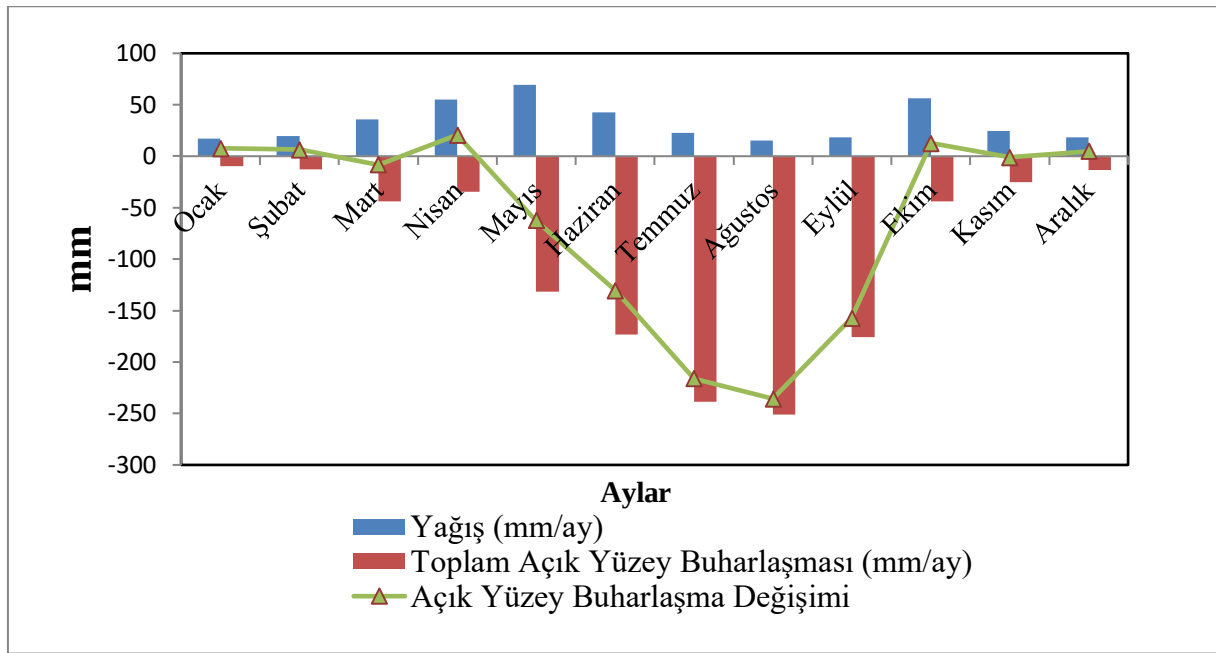
Sızıntı suyu oluşumu ve sızıntı suyu miktarı yağış miktarı ile alakalıdır. Sızıntı suyu miktarı hesaplanmasında çeşitli modeller kullanılmaktadır. Su Dengesi, Help, Swiss, Rational model bunlardan birkaçıdır (Akdemir 2003; Silva *et al.* 2016; Christensen 2017, Cossu and Stegman 2018).

Erzurum Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyu Miktarının Tahmini İçin Meteorolojik Veri ve Kabuller

Bu çalışmada sızıntı suyu miktarının hesaplanmasında su dengesi metodu kullanılmıştır. Su Dengesi Metodu ile sızıntı suyu miktarının hesaplanabilmesi için Tablo 20’de belirtilen Erzurum iline ait 1999-2018 yılları arasında yağış ve buharlaşma verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilerek hesaplamalarda kullanılmasının yanında Tablo 21’ de verilen Su Dengesi Metodu parametrelerine kullanılmıştır. Erzurum ilinin 1999-2018 yıllarına ait aylık yağış ve açık yüzey buharlaşması farkları Şekil 44’de gösterilmektedir.

Tablo 20. Erzurum iline ait 1999- 2018 yılları arasında yağış ve buharlaşma verileri (D.M.İ.G.M 2018)

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1999-2018 yıllarına ait yağış değişimi (mm/ay)	17,14	19,42	35,45	55,35	69,07	42,62	22,48	15,22	18,56	56,29	24,33	18,09
1999-2018 yıllarına ait Açık Yüzey Buharlaşması (mm/ay)	9,46	12,96	43,63	34,64	131,6	173,11	238,44	250,88	175,83	43,75	25,4	13,3
Atık yüzeyinden buharlaşma oranı / su yüzeyinden buharlaşma oranı	0,15	0,15	0,15	0,15	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,15	0,15
Sızıntı suyuna geçen ortalama yağış miktarı (mm/ay) =Net Yağış suyuna	15,72	17,48	28,91	50,15	29,59	-9,31	-49,05	-60,04	-34,19	43,17	20,52	16,1



Şekil 44. Erzurum ilinin 1999-2018 yıllarına ait aylık yağış ve açık yüzey buharlaşması farkları

Tablo 21. Su dengesi metodu parametreleri

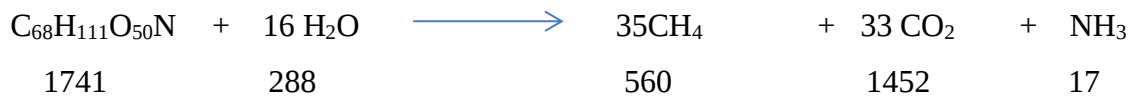
Atığın yoğunluğu (ton/m ³)	1
Depolanan atığın su oranı (kg su/kg atık)	%46
Anaerobik reaksiyonlar sırasında kullanılan su (kg su/kg atık)	%24
Kapatılmış hücreler için yağın yağışın deponi sahasına sızma oranı	%20
1. Lot için tesirli drenaj alanı ve planlanan deponi hizmet yılı	6 ha, 7 yıl
2. Lot için tesirli drenaj alanı ve planlanan deponi hizmet yılı	5 ha, 6 yıl
3. Lot için tesirli drenaj alanı ve planlanan deponi hizmet yılı	6,64 ha, 6 yıl

Yıllık atık üretim artışı ve yıllık nüfus artışı ise sabit kabul edilmiştir.

Sızıntı suyu debisini aşağıdaki bileşenler etkilemektedir:

- Deponi içerisindeki anaerobik reaksiyonları sonucu harcanan su
- Atığın içerisindeki su muhtevası mevcut olan su
- Yağış veya yüzeysel akış sonucu atığa eklenen su
- Buharlaşma sonucu kaybedilen su

Depolanan atığın anaerobik bozunması aşağıdaki kimyasal reaksiyon denklemi ile ifade edilmiştir:



Anaerobik biyokimyasal bozunma sonucu tüketilen özgül su miktarı, söz konusu denklemden hareketle $288/1197 = 0,24 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg biyobozunur kuru atık}$ olarak hesaplanmıştır.

Atık yüzeyinden buharlaşma oranı / su yüzeyinden buharlaşma oranının Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Kasım, Aralık ayları için %15, Mayıs, Haziran Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ayları için %30 kabul edilmiştir.

Haziran- Temmuz- Ağustos- Eylül ayları arasında buharlaşma oranı yağış miktarından fazla olduğu için yağışın sızıntı suyuna etkisi olmamaktadır.

Tüm hesaplamalarda (#) simgesi kapalı hücreleri ifade etmektedir. Depolama yapılmayan hücrelerden sızıntı suyu oluşmamaktadır.

Depolama yapılan aktif hücrelerde hesaplamalarda yüzeysel akışın olmadığı kabul edilmiştir.

Tüm hesaplamalarda depolama yapılmayan boş hücrelerden gelebilecek yağmur suları ise yağmur suyu toplama havuzunda toplanarak buharlaşacağı kabul edilmiştir.

Yağıştan kaynaklı sızıntı suyu oluşum hesabı yapılırken aşağıdaki işlemler kullanılmıştır:

- 1-) Net Yağış Yüksekliği = Yağış Yüksekliği – (Açık yüzey buharlaşması * Atık yüzeyinden buharlaşma oranı / su yüzeyinden buharlaşma oranı)
- 2-) Yağış kaynaklı sızma miktarı = düzenli depolama alanı x net yağış yüksekliği eşitliği şeklindedir.

Atıktan Kaynaklı Sızıntı suyu oluşum hesabı yapılırken aşağıdaki işlemler kullanılmıştır:

- 1-) Atık İçerisindeki Su Miktarı= Toplam atık (m^3/ay) x Depolanan atığın su oranı (kg su/kg atık)
- 2-) Biyolojik Bozunma Sırasında Tüketilen Su = Toplam atık (m^3/ay) x Anaerobik reaksiyonlar sırasında kullanılan su (kg su/kg atık)
- 3-) Atık İçindeki Net Sızıntı Suyu = Atık İçerisindeki Su Miktarı - Biyolojik Bozunma Sırasında Tüketilen Su

Net Sızıntı suyu = Atık İçindeki Net Sızıntı Suyu + atık yüzeyinden sızıntı suyuna geçen net yağış miktarı

Ayrıca depolama alanı işletim süresine ilave bir 10 yıl daha oluşan sızıntı suyu toplanacaktır. Bu hesaplama için ise Erzurum'a ait yıllık yağış yüksekliğine ait ortalamanın (381,58mm/yıl) depolama yapılmayan alan ile çarpımının %20' si alınarak elde edilmiştir.

EKADDT Mevcut İşletme Durumu İçin Aylık Ve Yıllık Bazda Sızıntı Suyu Miktarı Tahmini

Mevcut işletme durum sızıntı suyu hesabında 2029 yılı da dahil olmak üzere her yıl depolanacak atık miktarı sabit tutularak yıllık olarak 130000 ton/yıl olacağı kabul edilmiştir. Sahada 1. Lot 2017 yılı itibariyle kapatılmıştır. 2. Lot'un ise hali hazırda 2018 yılından beri yarısına katı atık kabulü yapılmaktadır. Diğer bir ifadeyle 2. Lot 2'ye bölünmüştür. Dolayısıyla hesaplamada 2018-2019-2020 yılları da dahil olmak üzere 2. Lotun yüzde %50' si 2021-2022-2023 yılları arasında ise 2. Lotun geri kalanından oluşabilecek sızıntı suyu hesaplanmıştır. 3. Lot 2024 yılında faaliyete alınacaktır ve bu lotun da ikiye bölünerek işletilmesi plan dahilindedir. Bu nedenle 3. Lot' ta oluşacak sızıntı suyu hesabında lot alanı ikiye bölünerek tahmin yapılmıştır.

2018 yılı ocak ayı için örnek sızıntı suyu hesabı;

Yağıştan kaynaklı sızıntı suyu oluşum hesabı yapılırken;

1-) Net Yağış Yüksekliği = $17,14 - (9,46 \times 0,15) = (15,72 \text{ mm/ay})$

2-) Yağış kaynaklı sızma miktarı =

$(2.\text{Lotun yüzde \%50'si}) 2,5 \text{ ha} \times (10000 \text{ m}^2/1 \text{ ha}) \times 15,72 \text{ (mm/ay)} \times (1\text{m}/1000\text{mm})$
 $= 393\text{m}^3/\text{ay}$

Atıktan Kaynaklı Sızıntı suyu oluşum hesabı yapılırken;

1-) Atık İçerisindeki Su Miktarı = $10833,33 \text{ (m}^3/\text{ay)} \times 0,46 \text{ (kg su/kg atık)} = 4983,33\text{m}^3/\text{ay}$

2-) Biyolojik Bozunma Sırasında Tüketilen Su = $10833,33 \text{ (m}^3/\text{ay)} \times 0,24 \text{ (kg su/kg atık)} = 2600 \text{ m}^3/\text{ay}$

3-) Atık İçindeki Net Sızıntı Suyu = $4983,33 \text{ m}^3/\text{ay} - 2600 \text{ m}^3/\text{ay} = 2383,33 \text{ m}^3/\text{ay}$

Net Sızıntı suyu = $2383,33 \text{ m}^3/\text{ay} + 393 \text{ m}^3/\text{ay} = 2776,33 \text{ m}^3/\text{ay}$

2017 yılında 1. Lot kapalı olacağından kapalı hücreden oluşabilecek sızıntı suyu hesabı;

Erzurum'a ait 20 Yıllık Yağış (381,58 mm/yıl) ortalamasının depolama yapılmayan alanın çarpımının %20' si alınarak yeni depolama yapılan alanda oluşan sızıntı suyuna eklenmesiyle elde edilmiştir.

2017 yılında kapatılan 1. Lottan yağış kaynaklı oluşacak sızıntı suyu hesabı =

$$6 \text{ ha} \times (10000 \text{ m}^2/1 \text{ ha}) \times 381,58 \text{ (mm/yıl)} \times (1\text{m}/1000\text{mm}) \times 0,2 = 381,58 \text{ m}^3/\text{ay}$$

Mevcut durum dahil tüm yaklaşımlarda boş hücrelerden gelen yağmur sularının, sızıntı suları ile karıştırılmaksızın ayrıca uzaklaştırıldığı kabul edilmiştir.

Sahanın tamamı mevcut işletme şartlarında 2029 yılında kapatılacaktır. 2029 yılı dahil olmak üzere 2. lot ve 3. lot için aylık olarak hesaplanan sızıntı suyu miktarı tahminleri Tablo 22’de verilmiştir. Aylık yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlara göre en fazla sızıntı suyu miktarı nisan ayı için hesaplanmıştır. Tablo 23’de ise mevcut işletme şartları için kapatılan 1. Lot dahil olmak üzere 2. ve 3 lotlarda 2039 yılına kadar oluşacak olan ortalama günlük sızıntı suyu debisi sonuçları görülmektedir.



Tablo 22. Mevcut işletme durumu için sızıntı suyu hesabı

		Toplam Atık		Atık İçerisindeki Su Miktarı	Biyolojik Bozunma Sırasında Tüketilen Su	Atık İçindeki Sızıntı Suyu	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs
		(Ton/yıl)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)
8	2018	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2776,33	2820,33	3106,08	3637,08	3123,08
	2019	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2776,33	2820,33	3106,08	3637,08	3123,08
	2020	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2776,33	2820,33	3106,08	3637,08	3123,08
	2021	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2776,33	2820,33	3106,08	3637,08	3123,08
	2022	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2776,33	2820,33	3106,08	3637,08	3123,08
	2023	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2776,33	2820,33	3106,08	3637,08	3123,08
	2024	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2905,24	2963,67	3340,15	4048,31	3365,72
	2025	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2905,24	2963,67	3340,15	4048,31	3365,72
	2026	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2905,24	2963,67	3340,15	4048,31	3365,72
	2027	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2905,24	2963,67	3340,15	4048,31	3365,72
	2028	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2905,24	2963,67	3340,15	4048,31	3365,72
	2029	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2905,24	2963,67	3340,15	4048,31	3365,72

2. (devamı)							
n	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	

81

Tablo 23. Mevcut işletme duruma göre her bir depolama hücresinde oluşabilecek sızıntı suyu miktarları

Yıllar	Toplam Atık	Atık İçerisindeki Su Miktarı	Biyolojik Bozunma Sırasında Tüketilen Su	Atık İçindeki Sızıntı Suyu	1. Lotun Tamamı (6 ha)	2. Lotun %50'si (2,5 ha) 1. Hücre	2. Lotun %50'si (2,5 ha) 2. Hücre	3. Lotun %50'si (3,32 ha) 1. Hücre	3. Lotun %50'si (3,32 ha) 1. Hücre	Toplam	Ortalama Günlük Debi
	(Ton/yıl)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)		
2018	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	2845,08	#	#	3226,66	107,56
2019	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	2845,08	#	#	3226,66	107,56
2020	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	2845,08	#	#	3226,66	107,56
2021	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	158,99	2845,08	#	3385,65	112,86
2022	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	158,99	2845,08	#	3385,65	112,86
2023	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	158,99	2845,08	#	3385,65	112,86
2024	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	158,99	158,99	2996,28	3695,84	123,19
2025	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	158,99	158,99	2996,28	3695,84	123,19
2026	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	158,99	158,99	2996,28	3695,84	123,19
2027	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	158,99	158,99	211,14	3906,98	130,23
2028	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	#	158,99	158,99	211,14	3525,40	117,51
2029	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	#	158,99	158,99	211,14	3525,40	117,51
2030	#	#	#	#	#	#	158,99	158,99	211,14	740,26	24,68
2031	#	#	#	#	#	#	#	158,99	211,14	581,27	19,38
2032	#	#	#	#	#	#	#	158,99	211,14	581,27	19,38
2033	#	#	#	#	#	#	#	158,99	211,14	581,27	19,38
2034	#	#	#	#	#	#	#	#	211,14	422,28	14,08
2035	#	#	#	#	#	#	#	#	211,14	422,28	14,08
2036	#	#	#	#	#	#	#	#	211,14	422,28	14,08
2037	#	#	#	#	#	#	#	#	211,14	211,14	7,04
2038	#	#	#	#	#	#	#	#	211,14	211,14	7,04
2039	#	#	#	#	#	#	#	#	211,14	211,14	7,04

EKADDT Sızıntı Suyu Minimizasyonu İçin Alternatif Yaklaşımlar

Katı atık düzenli depolama sahalarına düşen yağış suları sızıntı suyu oluşumunun temel unsurudur. Yağış sularının depo gövdesi içerisine süzülmesi ile ortamda gerçekleşen kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar kirleticilerin ayrışması ve çözünmesi sonucu oluşan sızıntı suyu atığın cinsi, zaman, depo sahasının işletim sistemi, iklim gibi pek çok faktöre bağlı olarak değişik kirletici karakterizasyonuna sahip olabilmektedir. Sızıntı suları özellikle genç depo yaşı evresinde oldukça konsantre bir yapıya sahip olması nedeniyle çevreyi tehdit eden bir karaktere sahip olması nedeniyle kontrol altına alınması gerekmektedir. Sızıntı suyu günümüz teknolojisiyle arıtılabilmektedir. Ancak çevresel sürdürülebilirlik yaklaşımı ile kaynağında azaltılması daha iyi bir çözüm yolu olarak düşünülebilir. Sızıntı suyunun minimize edilmesi hem arıtma yükünü hem de arıtma maliyetini azaltıcı bir sonuç elde edilmesine katkıda bulunmaktadır.

Çalışmada sızıntı suyu minimizasyonuna yönelik alternatif yaklaşımlar belirlenmiştir. Mevcut durumda 1. Lot 2017 yılı itibarıyla kapatılmıştır. Ancak deponi sahasının bünyesinde biyolojik işlemler devam ettiği için tüm yaklaşımlarda kapalı hücrelerden oluşacak sızıntı suyu yeni hücrelerde oluşacak sızıntı suyuna eklenmiştir. Yaklaşımlarda halen aktif olan 2. Lot ve ilerleyen yıllarda devreye alınacak 3. Lot üzerinden birtakım kabuller yapılarak sızıntı suyu azaltımına yönelik su dengesi metodu kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu bağlamda oluşturulan yaklaşımlar aşağıdaki gibidir:

Yaklaşım 1 için sızıntı suyu oluşumu hesabı

2029 yılı da dahil olmak üzere her yıl depolanacak atık miktarı yıllık olarak 130000 ton/yıl, olacağı kabulüyle hesaplama yapılmıştır. Bu hesaplamada 2018-2019 yılları arasında 2. Lotun 1/3'ü, 2020-2021 1/3'ü, 2022-2023 1/3'ünden oluşabilecek sızıntı suyu miktarı ve aynı zamanda 2024 da dahil olmak üzere 3. lotun alanı 3'e bölünerek daha küçük alanda çalışarak sızıntı suyu miktarı tahminleri yapılmıştır. Tablo 24'de yaklaşım 1 için 2. Ve 3. Lota ait aylık sızıntı suyu tahminleri bulunmaktadır. Yaklaşım 1'e göre nisan ayı sızıntı suyu miktarı 2029 yılı için 3491,65 m³/ay olarak belirlenmiştir. Mevcut işletme şartlarında ise 2029 yılında nisan ayında sızıntı suyu miktarı 4048,31 m³/ aydır. Yaklaşım 1 ile en fazla sızıntı suyu üretilen nisan ayı için 556,66 m³/ ay değerinde bir azalma söz konusu olmuştur. Tablo 25'de ise Yaklaşım 1'e ait 1. 2.ve 3 lotların tamamı için 2039 yılına kadar yıllık sızıntı suyu miktarı hesaplamaları verilmiştir.

Tablo 24. Yaklaşım1 verilerine göre sızıntı suyu hesabı

	Toplam Atık	Atık İçerisindeki Su Miktarı	Biyolojik Bozunma Sırasında Tüketilen Su	Atık İçindeki Sızıntı Suyu	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	
	(Ton/yıl)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	
2018	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2644,29	2673,50	2863,24	3215,82	2874,53
2019	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2644,29	2673,50	2863,24	3215,82	2874,53
2020	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2644,29	2673,50	2863,24	3215,82	2874,53
2021	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2644,29	2673,50	2863,24	3215,82	2874,53
2022	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2644,29	2673,50	2863,24	3215,82	2874,53
2023	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2644,29	2673,50	2863,24	3215,82	2874,53
2024	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2730,75	2769,64	3022,24	3491,65	3037,27
2025	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2730,75	2769,64	3022,24	3491,65	3027,27
2026	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2730,75	2769,64	3022,24	3491,65	3027,27
2027	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2730,75	2769,64	3022,24	3491,65	3027,27
2028	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2730,75	2769,64	3022,24	3491,65	3027,27
2029	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	2730,75	2769,64	3022,24	3491,65	3027,27

Tablo 24. (devamı)

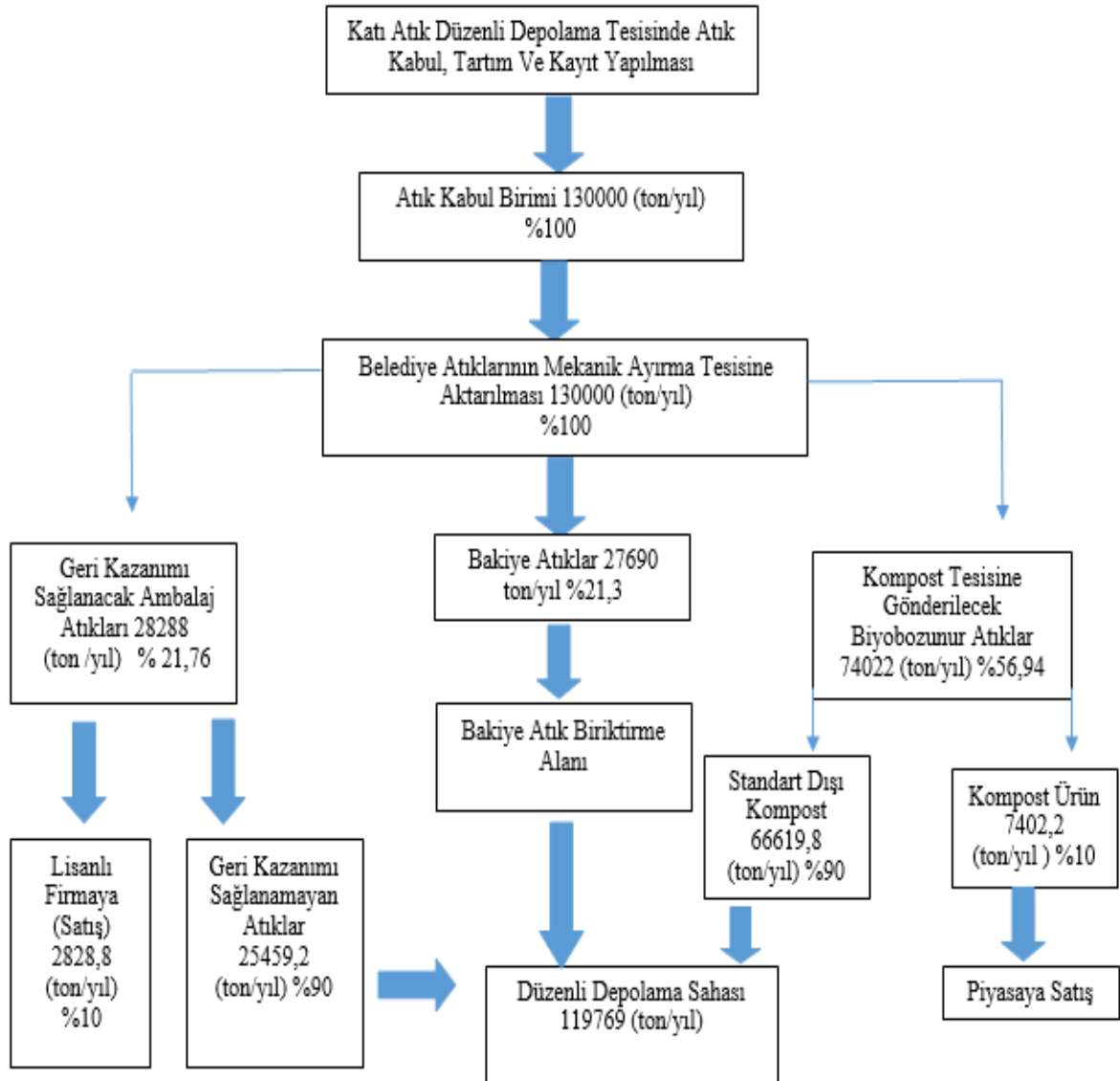
	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam	Ortalama Aylık Debi	Ortalama Günlük Debi
	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /yıl)	(m ³ /ay)	(m ³ /gün)
	2383,33	2383,33	2383,33	2383,33	3099,95	2723,96	2650,59	32279,21	2689,93	89,66
	2383,33	2383,33	2383,33	2383,33	3099,95	2723,96	2650,59	32279,20	2689,93	89,66
	2383,33	2383,33	2383,33	2383,33	3099,95	2723,96	2650,59	32279,20	2689,93	89,66
	2383,33	2383,33	2383,33	2383,33	3099,95	2723,96	2650,59	32279,20	2689,93	89,66
	2383,33	2383,33	2383,33	2383,33	3099,95	2723,96	2650,59	32279,20	2689,93	89,66
	2383,33	2383,33	2383,33	2383,33	3099,95	2723,96	2650,59	32279,20	2689,93	89,66
	2383,33	2383,33	2383,33	2383,33	3337,38	2836,82	2739,14	33498,22	2791,52	93,05
	2383,33	2383,33	2383,33	2383,33	3337,38	2836,82	2739,14	33488,21	2790,68	93,02
	2383,33	2383,33	2383,33	2383,33	3337,38	2836,82	2739,14	33488,21	2790,68	93,02
	2383,33	2383,33	2383,33	2383,33	3337,38	2836,82	2739,14	33488,21	2790,68	93,02
	2383,33	2383,33	2383,33	2383,33	3337,38	2836,82	2739,14	33488,21	2790,68	93,02
	2383,33	2383,33	2383,33	2383,33	3337,38	2836,82	2739,14	33488,21	2790,68	93,02

Tablo 25. Yaklaşım 1' göre elde edilen sızıntı suyu miktarı

Yıllar	Toplam Atık	Atık İçerisindeki Su Miktarı	Biyolojik Bozunma Sırasında Tüketilen Su	Atık İçindeki Sızıntı Suyu	1. Lotun Tamamı (6 ha)	2. Lotun %33'ü (1,66 ha) 1. Hücre	2. Lotun %33'ü (1,66 ha) 2. Hücre	2. Lotun %33'ü (2,21ha) 3. Hücre	2. Lotun %33'ü (2,21ha) 1. Hücre	3. Lotun %33'ü (2,21ha) 1. Hücre	3. Lotun %33'ü (2,21ha) 1. Hücre	3. Lotun %33'ü (2,21ha) 1. Hücre	Toplam	Ortalama Günlük Debi
	(Ton/yıl)	(m3/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/ay)	(m³/gün)
2018	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	2689,93	#	#	#	#	#	3071,51	102,38
2019	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	2689,93	#	#	#	#	#	3071,51	102,38
2020	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	105,57	2689,93	#	#	#	#	3177,08	105,90
2021	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	105,57	2689,93	#	#	#	#	3177,08	105,90
2022	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	105,57	105,57	2689,93	#	#	#	3282,65	109,42
2023	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	105,57	105,57	2689,93	#	#	#	3282,65	109,42
2024	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	105,57	105,57	105,57	2790,68	#	#	3488,97	116,30
2025	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	105,57	105,57	105,57	2790,68	#	#	3488,97	116,30
2026	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	105,57	105,57	105,57	140,55	2790,68	#	3629,52	120,98
2027	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	381,58	105,57	105,57	105,57	140,55	2790,68	#	3629,52	120,98
2028	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	#	105,57	105,57	105,57	140,55	140,55	2790,68	3388,49	112,95
2029	130000,00	10833,33	4983,33	2600,00	2383,33	#	105,57	105,57	105,57	140,55	140,55	2790,68	3388,49	112,95
2030	#	#	#	#	#	#	#	105,57	105,57	140,55	140,55	140,55	632,79	21,09
2031	#	#	#	#	#	#	#	105,57	105,57	140,55	140,55	140,55	632,79	21,09
2032	#	#	#	#	#	#	#	#	105,57	140,55	140,55	140,55	527,22	17,57
2033	#	#	#	#	#	#	#	#	105,57	140,55	140,55	140,55	527,22	17,57
2034	#	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	140,55	421,65	14,06
2035	#	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	140,55	421,65	14,06
2036	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	281,10	9,37
2037	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	281,10	9,37
2038	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	4,69
2039	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	4,69

Yaklaşım 2 için sızıntı suyu oluşumu hesabı

Yaklaşım 2’de tesise kabul edilen 130000,00 ton/yıl atığın yaklaşık olarak %22’ si geri düşürülebilecek ambalaj atıkları, %22’si bakiye atıklar ve %56’sı kompostlanabilir biyobozunur atıklar olarak kabul edilmiştir. Ambalaj atıklarının % 10’luk kısmı mekanik ayırma tesisinde ayrıştırılacağı ve biyobozunur atıkların %10’luk kısmının kompost’a dönüştürüleceği varsayımı üzerinden hesaplama yapılmıştır. Bu işleme ait detaylar Şekil 45’de verilmiştir. Bu yaklaşımda bertaraf edilecek atık miktarı 119769 ton/yıl’dır. Ayrıca 2. lot 2’ye, 3. Lot 3’e bölünerek hesaplama yapılmış olup hesaplama yapılırken Tablo 20 ve Tablo 21’de belirtilen verilerden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 26’da görülmektedir.



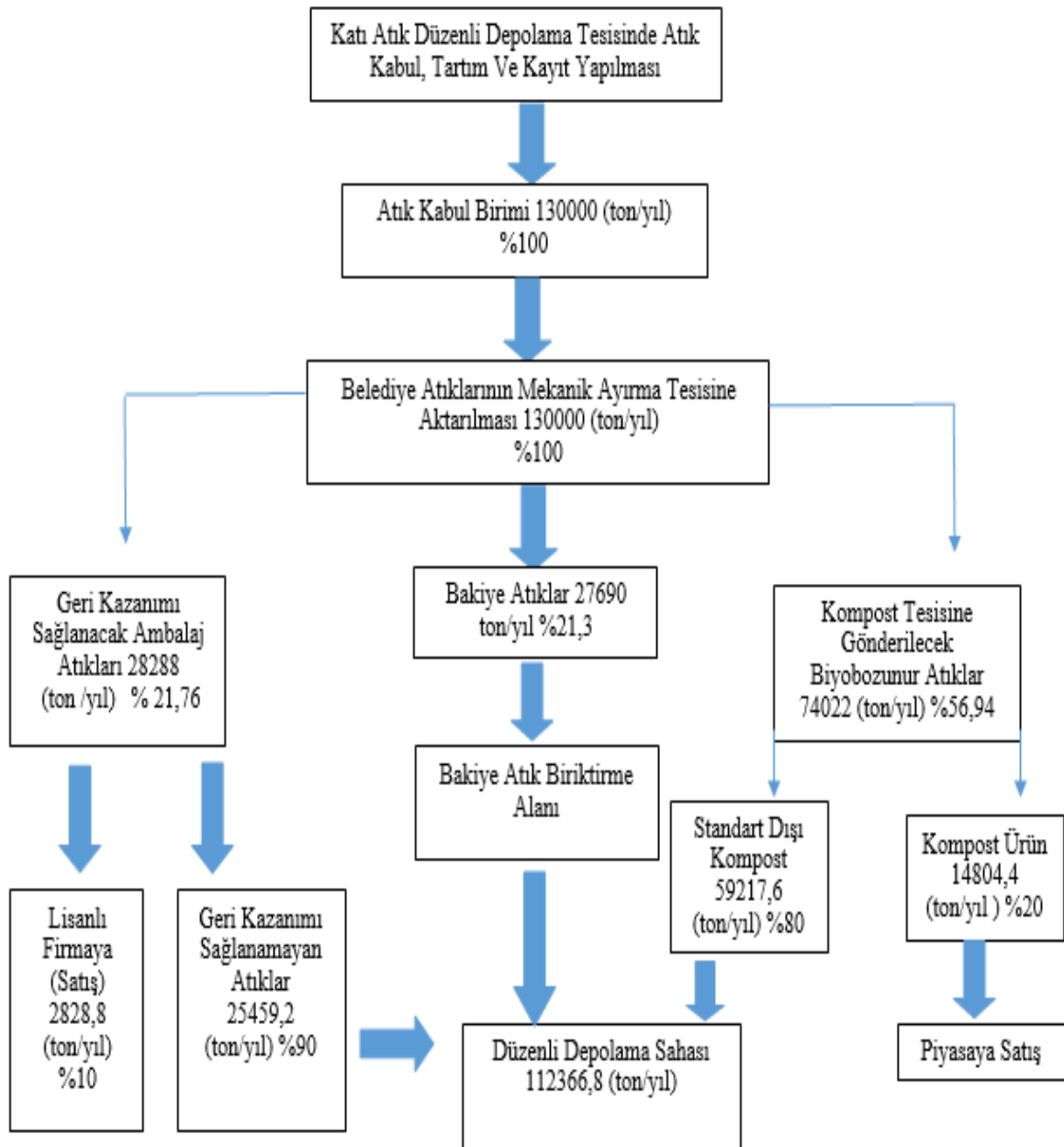
Şekil 45. Yaklaşım 2’ e göre atık ayrıştıma akış şeması

Tablo 26. Yaklaşım 2 verilerine göre sızıntı suyu hesabı

Yıllar	Toplam Atık		Atık İçerisindeki Su Miktarı	Biyolojik Bozunma Sırasında Tüketilen Su	Atık İçindeki Sızıntı Suyu	1. Lotun Tamamı Kapalı (6 ha)	2. Lotun %50'si (2,5 ha) 1. Hücre	2. Lotun %50'si (2,5 ha) 2. Hücre	3. Lotun %33'ü (2,21 ha) 1. Hücre	3. Lotun %33'ü (2,21ha) 1. Hücre	3. Lotun %33'ü (2,21ha) 1. Hücre	Toplam	Ortalama Günlük Debi
	(Ton/yıl)	(m³/ay)											
2018	119769	9980,75	4591,15	2395,38	2195,77	381,58	2657,52	#	#	#	#	3039,10	101,30
2019	119769	9980,75	4591,15	2395,38	2195,77	381,58	2657,52	#	#	#	#	3039,10	101,30
2020	119769	9980,75	4591,15	2395,38	2195,77	381,58	2657,52	#	#	#	#	3039,10	101,30
2021	119769	9980,75	4591,15	2395,38	2195,77	381,58	158,99	2657,52	#	#	#	3198,09	106,60
2022	119769	9980,75	4591,15	2395,38	2195,77	381,58	158,99	2657,52	#	#	#	3198,09	106,60
2023	119769	9980,75	4591,15	2395,38	2195,77	381,58	158,99	2657,52	#	#	#	3198,09	106,60
2024	119769	9980,75	4591,15	2395,38	2195,77	381,58	158,99	158,99	2603,96	#	#	3303,52	110,12
2025	119769	9980,75	4591,15	2395,38	2195,77	381,58	158,99	158,99	2603,96	#	#	3303,52	110,12
2026	119769	9980,75	4591,15	2395,38	2195,77	381,58	158,99	158,99	140,55	2603,96	#	3444,07	114,80
2027	119769	9980,75	4591,15	2395,38	2195,77	381,58	158,99	158,99	140,55	2603,96	#	3444,07	114,80
2028	119769	9980,75	4591,15	2395,38	2195,77	#	158,99	158,99	140,55	140,55	2603,96	3203,04	106,77
2029	119769	9980,75	4591,15	2395,38	2195,77	#	158,99	158,99	140,55	140,55	2603,96	3203,04	106,77
2030	#	#	#	#	#	#	158,99	158,99	140,55	140,55	140,55	739,63	24,65
2031	#	#	#	#	#	#	#	158,99	140,55	140,55	140,55	580,64	19,35
2032	#	#	#	#	#	#	#	158,99	140,55	140,55	140,55	580,64	19,35
2033	#	#	#	#	#	#	#	158,99	140,55	140,55	140,55	580,64	19,35
2034	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	140,55	421,65	14,06
2035	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	140,55	421,65	14,06
2036	#	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	281,10	9,37
2037	#	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	281,10	9,37
2038	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	4,69
2039	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	4,69

Yaklaşım 3 için sızıntı suyu oluşumu hesabı

Yaklaşım 3’ de Yaklaşım 2’ de geçerli olan kabullerin haricinde biyobozunur atıkların %20’si kompostlaştırılacağı varsayımı üzerinden hesaplama yapılmıştır. Bu işleme ait detaylar Şekil 46’da verilmiştir. Bu yaklaşımda bertaraf edilecek atık miktarı 112366,8 ton/yıl dır. Ayrıca 2. lot 2’ye, 3. Lot 3’e bölünerek hesaplama yapılmış olup hesaplama yapılırken Tablo 20 ve Tablo 21’de belirtilen verilerden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 27’de görülmektedir.



Şekil 46. Yaklaşım 3’ e göre atık ayrıştıma akış şeması

Tablo 27. Yaklaşım 3'e göre elde edilen sızıntı suyu miktarı

Yıllar	Toplam Atık		Atık İçerisindeki Su Miktarı	Biyolojik Bozunma Sırasında Tüketilen Su	Atık İçindeki Sızıntı Suyu	1. Lotun Tamamı Kapalı (6 ha)	2. Lotun %50'si (2,5 ha) 1. Hücre	2. Lotun %50'si (2,5 ha) 2. Hücre	3. Lotun %33'ü (2,21 ha) 1. Hücre	3. Lotun %33'ü (2,21ha) 1. Hücre	3. Lotun %33'ü (2,21ha) 1. Hücre	Toplam	Ortalama Günlük Debi
	(Ton/yıl)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /ay)	(m ³ /gün)
2018	112366,8	9363,90	4307,39	2247,34	2060,06	381,58	2521,82	#	#	#	#	2903,40	96,78
2019	112367,8	9363,98	4307,43	2247,36	2061,06	381,58	2521,82	#	#	#	#	2903,40	96,78
2020	112368,8	9364,07	4307,47	2247,38	2062,06	381,58	2521,82	#	#	#	#	2903,40	96,78
2021	112369,8	9364,15	4307,51	2247,40	2063,06	381,58	158,99	2521,82	#	#	#	3062,39	102,08
2022	112370,8	9364,23	4307,55	2247,42	2064,06	381,58	158,99	2521,82	#	#	#	3062,39	102,08
2023	112371,8	9364,32	4307,59	2247,44	2065,06	381,58	158,99	2521,82	#	#	#	3062,39	102,08
2024	112372,8	9364,40	4307,62	2247,46	2066,06	381,58	158,99	158,99	2468,21	#	#	3167,77	105,59
2025	112373,8	9364,48	4307,66	2247,48	2067,06	381,58	158,99	158,99	2468,21	#	#	3167,77	105,59
2026	112374,8	9364,57	4307,70	2247,50	2068,06	381,58	158,99	158,99	140,55	2468,21	#	3308,32	110,28
2027	112375,8	9364,65	4307,74	2247,52	2069,06	381,58	158,99	158,99	140,55	2468,21	#	3308,32	110,28
2028	112376,8	9364,73	4307,78	2247,54	2070,06	#	158,99	158,99	140,55	140,55	2468,21	3067,29	102,24
2029	112377,8	9364,82	4307,82	2247,56	2071,06	#	158,99	158,99	140,55	140,55	2468,21	3067,29	102,24
2030	#	#	#	#	#	#	158,99	158,99	140,55	140,55	140,55	739,63	24,65
2031	#	#	#	#	#	#	#	158,99	140,55	140,55	140,55	580,64	19,35
2032	#	#	#	#	#	#	#	158,99	140,55	140,55	140,55	580,64	19,35
2033	#	#	#	#	#	#	#	158,99	140,55	140,55	140,55	580,64	19,35
2034	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	140,55	421,65	14,06
2035	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	140,55	421,65	14,06
2036	#	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	281,10	9,37
2037	#	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	281,10	9,37
2038	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	4,69
2039	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	140,55	140,55	4,69

Yaklaşımlardan Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

EKADDT için mevcut işletme durumu için 2018- 2029 yıllarına ait yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen günlük sızıntı suyu verileri Tablo 28’de verilmiştir. Sahada sadece 2. Lot 1.hücre aktif iken ortalama günlük debi 107,56 m³/gün iken en yüksek değere 130,23 m³/gün değeri ile sadece 3.Lot 2.hücre aktifken ulaşılmıştır. Başka bir ifade ile sahanın tamamen kapatılmasında yaklaşık iki yıl önceye denk gelmektedir. Bu durum atıkların saha içinde kümülatif olarak artmasıyla alakalıdır. Ancak sahanın kapatılacağı son yıl olan 2029’da bir miktar düşüş gözlenmiştir. Bunun nedeni 1. lot’tan 2028 ve 2029 yıllarında sızıntı suyunun üretilmediği ile açıklanabilir.

Tablo 28. Mevcut işletme durumuna ait günlük ortalama debiler

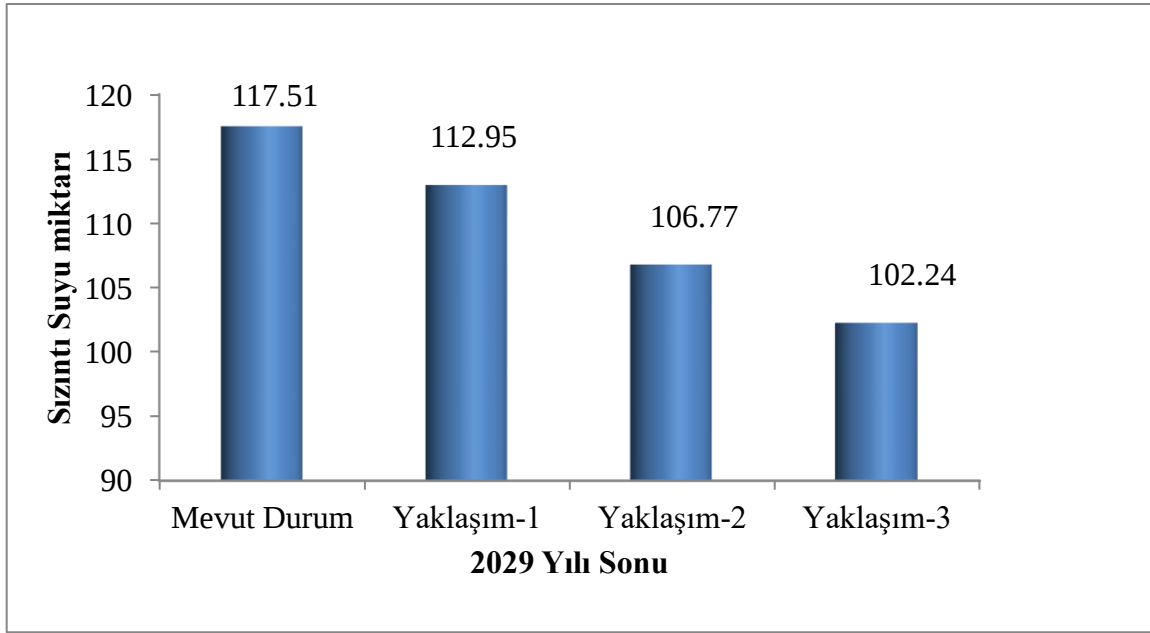
Mevcut Durum	Yıllar	Depolama Alanı İşletme Durumu	Günlük Ortalama Debi m ³ /gün
	[2018-2020]	1. Lot Kapalı -2.Lot 1.hücre açık - 3.lot Kapalı	107,56
	[2021-2023]	1. Lot Kapalı -2.Lot 1.hücre Kapalı- 2.lot 2. Hücre Açık - 3.Lot Kapalı	112,86
	[2024-2026]	1. Lot Kapalı -2.Lot Kapalı-3.Lot 1. Hücre Açık -3.Lot 2. Hücre Kapalı	123,19
	[2027-2028]	1. Lot Kapalı -2.Lot Kapalı - 3.Lot Kapalı 1.Hücre Kapalı- 3.Lot 2. Hücre Açık	130,23
	[2028-2029]	2. Lot Kapalı -2.Lot Kapalı - 3.Lot Kapalı 1.Hücre Kapalı- 3.Lot 2. Hücre Açık	117,51

EKADDT için sızıntı suyu azaltımına yönelik alternatif yaklaşımlar ile ilgili yapılan sızıntı suyu miktarı hesaplamalarından elde edilen sonuçlar yıllar bazında Lotların kapalı ve aktif durumlarına göre Tablo 29’da verilmiştir.

Tablo 29. Yaklaşım 1, Yaklaşım 2 ve Yaklaşım 3’ e ait günlük ortalama debiler

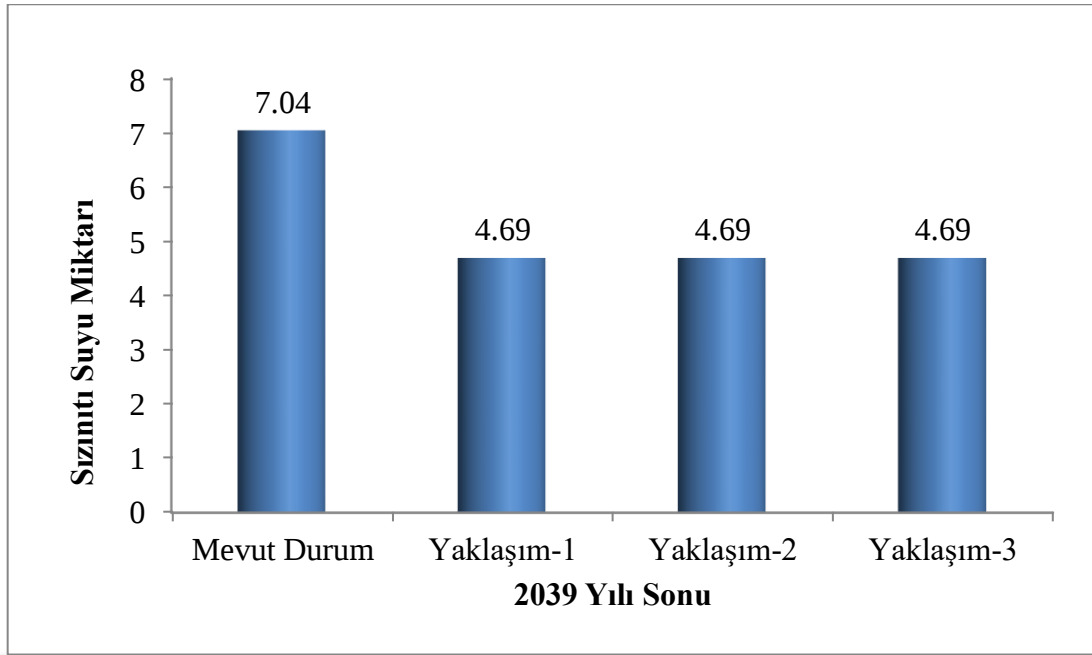
Yıllar	Depolama Alanı İşletme Durumu	Günlük Ortalama Debi m ³ /gün	Yıllar	Depolama Alanı İşletme Durumu	Günlük Ortalama Debi m ³ /gün	Yıllar	Depolama Alanı İşletme Durumu	Günlük Ortalama Debi m ³ /gün
[2018-2019]	1. Lot Kapalı -2.Lot 1.hücre açık - 3.Lot Kapalı	102,38	[2018-2020]	1. Lot Kapalı -2.Lot 1.hücre açık - 3.Lot Kapalı	101,30	[2018-2020]	1. Lot Kapalı -2.Lot 1.hücre açık - 3.Lot Kapalı	96,78
[2020-2021]	1. Lot Kapalı -2.Lot 1.hücre Kapalı-2.Lot 2. Hücre Açık-2. Lot 3 Hücre Kapalı - 3.Lot Kapalı	105,90	[2021-2023]	1. Lot Kapalı -2.Lot 1.hücre Kapalı-2.Lot 2. Hücre Açık - 3.Lot Kapalı	106,60	[2021-2023]	1. Lot Kapalı -2.Lot 1.hücre Kapalı-2.Lot 2. Hücre Açık - 3.Lot Kapalı	102,08
[2022-2023]	1. Lot Kapalı -2.Lot 1.hücre Kapalı-2.Lot 2. Hücre Kapalı- 2.Lot 3. Hücre Açık 3.Lot Kapalı	109,42	[2024-2025]	1. Lot Kapalı -2.Lot Kapalı - 3.Lot 1.Hücre Açık- 3.Lot 2. Hücre Kapalı- 3.Lot 3. Hücre Kapalı	110,12	[2024-2025]	1. Lot Kapalı -2.Lot Kapalı - 3.Lot 1.Hücre Açık- 3.Lot 2. Hücre Kapalı- 3.Lot 3. Hücre Kapalı	105,59
[2024-2025]	1. Lot Kapalı -2.Lot Kapalı - 3.Lot 1.Hücre Açık- 3.Lot 2. Hücre Kapalı- 3.Lot 3. Hücre Kapalı	116,30	[2026-2027]	1. Lot Kapalı -2.Lot Kapalı - 3.Lot 1.Hücre Kapalı- 3.Lot 2. Hücre Açık- 3.Lot 3. Hücre Kapalı	114,80	[2026-2027]	1. Lot Kapalı -2.Lot Kapalı - 3.Lot 1.Hücre Kapalı- 3.Lot 2. Hücre Açık- 3.Lot 3. Hücre Kapalı	110,28
[2026-2027]	1. Lot Kapalı -2.Lot Kapalı - 3.Lot 1.Hücre Kapalı- 3.Lot 2. Hücre Açık- 3.Lot 3. Hücre Kapalı	120,98	[2028-2029]	1. Lot Kapalı -2.Lot Kapalı - 3.Lot 1.Hücre Kapalı- 3.Lot 2. Hücre Kapalı- 3.Lot 3. Hücre Açık	106,77	[2028-2029]	1. Lot Kapalı -2.Lot Kapalı - 3.Lot 1.Hücre Kapalı- 3.Lot 2. Hücre Kapalı- 3.Lot 3. Hücre Açık	102,24
[2028-2029]	1. Lot Kapalı -2.Lot Kapalı - 3.Lot 1.Hücre Kapalı- 3.Lot 2. Hücre Kapalı- 3.Lot 3. Hücre Açık	112,95						

Sahanın son yılı olan 2029 yılı için yapılan sızıntı suyu miktarı hesaplamalarının mevcut işletme durumu ve yaklaşımlarla karşılaştırılması Şekil 47’de gösterilmiştir. 2029 yılı itibariyle mevcut işletme şartlarında sızıntı suyu miktarı 117,51 m³/gün iken Yaklaşım 1’de hücre sayısında yapılan artışla bu miktar 112,95 m³/gün olarak hesaplanmıştır. Bu yaklaşımla 2029 yılında sızıntı suyu azaltımı %3,88’dir. Bu sonucun debi bazında karşılığı günlük 4,56 m³, yıllık 1664,4 m³ sızıntı suyunun azaltılmasıdır. Yaklaşım 2’de günlük 10,74 m³, yıllık 3920,1 m³; Yaklaşım 3’de günlük 15,27 m³ yıllık 5573,55 m³ sızıntı suyu azalması hesaplanmıştır. Yaklaşım 2 ve 3 için sırasıyla sızıntı suyu azaltım yüzdeleri 9,13 ve 12,99’dir.



Şekil 47. 2029 yılı sonu itibariyle oluşan sızıntı suyunun aylık ortalama değerleri

Sızıntı suyu üretimi saha kapatıldıktan sonra da devam etmektedir. 2029 yılına ilaveten bir 10 yıl sonrası için de sızıntı suyu miktarı tahminleri yapılmıştır. Mevcut işletme şartları ve Yaklaşımlar için 2039 yılı itibariyle hesaplanan günlük sızıntı suyu miktarlarına ait sonuçlar Şekil 48’de görüldüğü gibidir. 2039 yılında tüm Yaklaşımlar için 4,69 m³/gün olarak hesaplanan sızıntı suyu miktarının yıllık karşılığı 1711,85 m³/yıl’dır. Mevcut durum ve Yaklaşımlar karşılaştırıldığında 2039 yılı sonunda sızıntı suyu azalması %33,38 olarak bulunmuştur.



Şekil 48. 2039 yılı sonu itibariyle oluşan sızıntı suyunun aylık ortalama değerleri

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada EKADDT’de oluşan sızıntı suyunun yönetimi değerlendirilmiştir. Sızıntı suyu yönetimi, sızıntı suyunun karakteristik özelliklerinin takibini, arıtma ünitesi ve proses verimini, oluşan sızıntı suyunun miktarındaki artışın engellenmesi için yağmur suyu kontrolünü kapsamaktadır. Sızıntı suyu arıtımında uygulana yöntem ve prosesin başarısı önemli olmakla birlikte sızıntı suyu yönetiminin üzerinde durulması gereken en önemli aşaması sızıntı suyunun azaltılması olmalıdır. Saha işletiminde çeşitli değişiklikler yapılarak sızıntı suyu azaltılabilir. Bunun dışında kentin katı atık yönetimindeki farklı uygulamalar da sızıntı suyunun minimizasyonunda önemli bir işlev gösterebilirler. Hem sahadaki işletim sisteminde hem de katı atık yönetiminde tasarlanan yaklaşımların mevcut durum ve gelecek yıllar için sızıntı suyu miktarındaki etkisini belirlerken çeşitli tahmin metodları kullanılmaktadır. Bu çalışmada oluşturulan senaryolar için Su Dengesi Metodu kullanılarak sızıntı suyu miktarları hesaplanıp muhtemel azalmalar tespit edilmiştir.

Çalışmaya ait sonuçlar beş temel başlık altında değerlendirilmiştir.

Erzurum düzenli depolama sahası sızıntı suyu karakterizasyonu:

Depolama sahalarından açığa çıkan sızıntı suları bünyesinde organik ve inorganik pek çok kirletici bulunmaktadır. EKADDT’ ne ait sızıntı suyu karakteristiği saha faaliyete geçtikten sonra düzenli olarak belirli periyotlarda analiz edilmiştir. Sahada üretilen sızıntı suyunda pH ile birlikte renk, KOİ, AKM, TKN, toplam fosfor, yağ-gres, toplam siyanür, florür ve bazı ağır metallerin konsantrasyonları belirlenmektedir. Çalışmada 2017- 2018 yıllarına ait sızıntı suyu karakteristiği değerlendirilmiştir. Bu yıllar sahanın işletmeye alındığı tarihten itibaren literatürlere göre depo yaşı olarak orta yaş evreye karşılık gelmektedir. İlgili yıllara ait kirlilik parametrelerinin ve özellikle KOİ konsantrasyonlarının evsel katı atıkların depolandığı sahalara ait orta yaş evre depo sahası sızıntı suları ile uyumlu olduğu belirtilebilir. Ağır metal konsantrasyonları ilgili yıllara ait analiz sonuçlarına göre deşarj limitlerinin altındadır ancak pek çok ağır metalin düşük konsantrasyonlarda da olsa sızıntı suyunda varlıkları tespit edilmiştir. Ağır metal konsantrasyonlarının limitlerin altında olması sahanın II. Sınıf depolama sahası olması yani belediye atıklarının bertarafının yapılmasından kaynaklı olabileceği düşünülebilir. Sahaya sterilize edilmiş tıbbi atıklar haricinde tehlikeli atık girdisi söz konusu değildir.

Erzurum düzenli depolama sahası sızıntı suyu ters osmoz prosesinin incelenmesi ve performansının değerlendirilmesi:

Sızıntı sularının arıtılmasında konvansiyonel arıtma yöntemlerine alternatif olarak günümüzde ters osmoz gibi ileri teknolojiler uygulanmaktadır. Sızıntı suyunun karmaşık yapısı ve içinde bulunan kirleticilerin yüksek konsantrasyonları konvansiyonel arıtma yöntemlerini zaman zaman yetersiz kılmaktadır. Bu problemlerin giderilmesi ve etkin bir arıtma sağlanabilmesi için ileri yöntemlerin ya konvansiyonel yöntemlerle birlikte ya da tek kullanılması günümüzde yaygınlaşmaya başlamıştır.

EKADDT sızıntı suyu iki kademeli disk tüp modüllü ters osmoz prosesinde arıtılmaktadır. Arıtma tesisinde sızıntı suyu tankından gelen atıksu önce kum filtreden sonrasında kartuş filtreden geçirilip 1. DT modül ters osmoz ünitesinde bir kademe arıtıldıktan sonra seri bağlı 2.DT modül ters osmoz ünitesinde ilave bir arıtıma tabi tutulmaktadır. İki kademeli ters osmoz arıtımından sonra oluşan süzüntü permeat tankında toplanmaktadır. 1. Membranda konsantre malzeme oluşmakta olup bu atık konsantre havuzuna alınmaktadır. Ünite her mevsimde işletilmekte olup soğuk bir iklime sahip olan Erzurum'da ters osmozla sızıntı suyu arıtımında herhangi bir problem yaşanmadığı gözlemlenmiştir. Prosesin arıtma başarısı 2017- 2018 yıllarına ait arıtılmış su analizleri ile aynı yıllara ait ham sızıntı suyu değerlerinin karşılaştırılmasıyla değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre arıtılmış suyunu rengini oldukça berrak olduğu diğer parametrelere ait konsantrasyon verilerinin çok düşük olduğu belirlenmiştir. KOİ giderimi verimin %100'e yakındır. Benzer şekilde AKM, TKN, TP, toplam siyanür, demir, toplam krom ve kurşunun %99'lar civarında giderildiği belirlenmiştir. Yağ-gres %98, kadmiyum %95, krom 6 %97 değerlerine yakın giderilirken florür gideriminin %88'lerde olduğu görülmüştür. Arıtma prosesinde konsantre oluşması ve konsantre atıkta sızıntı suyunu temsil eden kirleticilerin hemen hemen hepsinin yüksek konsantrasyonlarda mevcudiyeti sistemin en önemli dezavantajlarından biridir. Buna ilaveten zaman içinde membranlarda meydana gelebilecek problemlerden kaynaklı membran değişimleri ve proste kullanılan temizleme çözeltilerinin maliyet açısından ilave masraflar oluşturabileceği gözlenmiştir.

Erzurum düzenli depolama sahasında yağmur suyu yönetiminin değerlendirilmesi:

Sızıntı suyu azaltımının en önemli işlemlerinden biri yağmur suyunun sahadan uzaklaştırılmasıdır. EKKDDT'de yağmur suyu yönetimi yapıldığı bunun için lotlarda uygun eğimlerin oluşturulduğu saha içinde ve saha dışında drenaj boruları ve kanallarla yağmur suyunun tahliye edildiği gözlemlenmiştir. Çöplerle temas etmeden sahadan uzaklaştırılan suyun

yağmur suyu toplama havuzunda biriktirildiği belirlenmiştir. Ancak işletmede her katı atık sahasında olduğu gibi birtakım yetersizlikler olabilmektedir. Bu durum sızıntı suyu miktarında artışa sebep olabilmektedir ki EKKDDT’de de ülkemizde işletilen diğer depolama sahalarında olduğu gibi sızıntı suyu miktarının yağış ortalamalarının üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Erzurum düzenli depolama sahası sızıntı suyu minimizasyonu için alternatif yaklaşımlar:

Sızıntı suyu değişken ve konsantre karakteri ile oldukça tehlikeli bir yapıdadır. Arıtmalarındaki gerekliliğin öncesinde miktarının azaltılması hem çevrenin korunması hem de arıtımında oluşabilecek gerek teknik gerekse maliyet problemlerinin önlenmesi açısından önemlidir. Sızıntı suyu oluşumunun azaltılması sızıntı suyu yönetiminin en önemli bileşeni olmalıdır. Bu yaklaşım uzun süreli çevresel sürdürülebilirliği beraberinde getirecektir.

Çalışmada sızıntı suyu azaltımına yönelik 3 farklı yaklaşım üzerinden EKADDT’de saha kapatılıncaya kadar ve kapatıldıktan sonraki 10 yıllık süreç için Su Dengesi Metodu ile sızıntı suyu miktarları tahmin edilmiştir. Bu tahminlerin öncesinde sahanın mevcut işletme şartları için de 2039 yılına kadar sızıntı suyu hesaplamaları yapılmıştır. Mevcut işletme şartları ile 3 farklı yaklaşım üzerinden yapılan hesaplamalar karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların sızıntı suyunun azalmasını sağladığı görülmüştür. Lotların bölünmesi şeklinde yaklaşımın sızıntı suyu miktarının azalmasını sağladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte depolama sahalarında lotların küçültülerek işlem yapılması sahalarda koku problemini de azaltıcı bir fayda sağlayabilir.

Buna ilaveten mevcut katı atık yönetimi kapsamının dışında; katı atığın bir miktarının geri dönüşüme tabi tutulması, organiklerin bir kısmının kompostlaştırılarak faydalı ürüne dönüştürmesi gibi birtakım farklı yaklaşımların da depo sahasında oluşacak sızıntı suyu miktarlarının azalmasına katkı sağladığı belirlenmiştir. Bu bağlamda deponi sahasının kapatılacağı 2029 yılında yaklaşım 1 ile %3,8, yaklaşım 2 ile %9,13 ve yaklaşım 3 ile %12,99 oranında sızıntı suyu azaltımı gerçekleştirileceği tespit edilmiştir. Çalışmadaki sızıntı suyu azalmasına yönelik 3 farklı yaklaşımın haricinde daha farklı yaklaşımlar geliştirilerek de depo sahalarındaki sızıntı suyu miktarlarında azalmalar sağlanabilir. Ülkemizde özellikle yeni işletmeye alınan veya gelecekte devreye alınacak katı atık düzenli depolama sahalarında sızıntı suyunun önlenmesi için çalışmadan elde edilen sonuçlara göre lot alanlarının küçültülerek işletilmesi tavsiye edilebilir. Aynı zamanda sistemli bir şekilde katı atıkların geri kazanılması, hem depo sahasının ömrünü uzatacak hem de sızıntı suyunun azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abbas, A. A. Jingsong, G. Ping, L. Z. Ya, P. Y. and Al-Rekabi, W. S., 2009. Review On Landwll Leachate Treatments. *Journal of Applied Sciences Research*, 5(5), 534-545.
- Adar, E., 2013. Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Alternatif Taban Sistemlerinden Sızıntı Suyu Kirleticilerinin Geçişinin İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Akdemir, A., 2003. Samsun Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Help Modeli Kullanılarak Sızıntı Suyu Miktarının İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Akkaya, E. Demir, A. and Varank, G., 2011. Characterisation Of Odayeri Sanitary Landfill Leachate. *Sigma*, 3, 238-251.
- Alibardi, L. and Cossu, R., 2018. Leachate Generation Modeling. *Solid Waste Landfilling: Concepts, Processes, Technology*, 229.
- Almeida, R. Bila, D. M. Quintaes, B. R. and Campos, J. C., 2020. Cost estimation of landfill leachate treatment by reverse osmosis in a Brazilian landfill. *Waste Management & Research*, 0734242X20928411.
- Alver, A., 2012. Aksaray İli Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyu Karakterizasyonu Ve Elektrokimyasal Arıtılabilirliği. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray Üniversitesi, Aksaray.
- Anonim., 2014. [https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/editordosya/Duzenli_Depolama_Tesis Saha Yon ve isletme kilavuzu.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/editordosya/Duzenli_Depolama_Tesis_Saha_Yon_ve_isletme_kilavuzu.pdf) (11.12.2019).
- Anonim., 2019a. <https://www.conserve-energy-future.com/sources-effects-methods-of-solid-waste-management.php> (04.11.2019).
- Anonim., 2019b. <https://www.epa.gov/roe>. (04.11.2019).
- Anonim., 2019c. hlccevre.com/atik-yonetimi-nedir/ (04.11.2019).
- Anonim., 2020a. <http://www.cevreyonetimmerkezi.com/dokuman/cop/tanitim.pdf> (22.01.2020).
- Anonim., 2020b. erzurum.ktb.gov.tr/TR-56063/cografya.html (03.06.2020)
- Anonim., 2020c. <https://www.erzurum.bel.tr/dosya/faaliyet2019.pdf> (22.06.2020)
- Anonim., 2020d. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/erzurum-cdr2018-20190906171600.pdf> (08.04.2012).
- Anonim., 2020e. <http://www.mem-tek.org/memtekbulten4sayi.pdf> (12.08.2020)
- Atmaca, K., 2015. Samsun Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Deponi Gazı Enerji Verimliliğinin İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Balahorli, V., 2011. Düzenli Depolama Sahalarında Oluşan Sızıntı Sularının Membran Biyoreaktör Ve Nanofiltrasyon Teknolojisi İle Arıtımı. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Bilstad, T. and Madland, M., 1992. Leachate Minimization By Reverse Osmosis. *Water Science and Technology*, 25(3), 117-120.
- Chian, E.S.K, De Walle, F.B., 1977. Evaluation of Leachate Treatment. *Water Research*, 11(2), 225-232.
- Chianese, A. Ranauro, R. and Verdone, N., 1999. Treatment Of Landfill Leachate By Reverse Osmosis. *Water Research*, 33(3), 647-652.
- Christensen BJ, Jensen DJ, Gron C, Filip Z, Christensen TH., 1998. Characterization of the Dissolved Organic Carbon in Landfill Leachate Polluted Groundwater. *Water Research* 32, 125-135.

- Christensen, T. H., 2017. Katı Atık Yönetimi ve Teknolojileri. Nobel Akademik Yayıncılık Ankara, Türkiye.
- Christensen, T. H., Kjeldsen, P., Bjerg, P. L., Jensen, D. L., Christensen, J. B., Baun, A., Heron, G., 2001. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Applied Geochemistry*, 16(7-8), 659-718.
- Comstock, S. E. Boyer, T. H. Graf, K. C. and Townsend, T. G., 2010. Effect Of Landfill Teristics On Leachate Organic Matter Properties And Coagulation Treatability. *Chemosphere*, 81(7), 976-983.
- Cossu, R., Stegmann R., 2018. Solid Waste Landfilling Solid Waste Landfilling: Concepts, Processes, Technology, 229.
- D.M.İ.G.M., 2018. Erzurum iline Ait Meteoroloji Veriler. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Erzurum.
- Dede, Ş., 2017. Membran Biyoreaktör Sistemi İle Çöp Sızıntı Suyu Arıtımı Ve Nanofiltrasyon Konsantresi İçin İleri Arıtma Yöntemlerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Eggen, T. Moeder, M. and Arukwe, A., 2010. Municipal Landfill leachates: a significant source for new and emerging pollutants. *Science of the Total Environment*, 408(21), 5147-5157.
- Esen, H., 2019. Sızıntı Suyundan Elektro-Fenton Yöntemi İle KOİ Giderimi Üzerine İşletme Koşullarının Etkisi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Foo, K. and Hameed, B., 2009. An Overview Of Landfill Leachate Treatment Via Activated Carbon Adsorption Process. *Journal of Hazardous Materials*, 171(1-3), 54-60.
- Frikha, Y. Fellner, J. ands Zairi, M., 2017. Leachate generation from landfill in a semi-arid climate: A qualitative and quantitative study from Sousse, Tunisia. *Waste Management & Research*, 35(9), 940-948.
- Genç, N. ve Durna, E. 2019. Sızıntı suyu membran konsantre akımının yönetiminde en uygun metodun analitik hiyerarşi prosesi ile belirlenmesi
- Gümüşel, E., 2019. Samsun İli Katı Atıklarının Biyoreaktör Depolama Yöntemi İle Bertarafının İncelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Gürdal, U., 2019. Düzenli Depolama Sahalarının İşletilmesi Atık Karakterizasyonu ve LFG Gazından Enerji Üretimi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray Üniversitesi, Aksaray.
- Holm, J. V., Rügge, K., Bjerg, P. L., & Christensen, T. H., 1995. Occurrence And Distribution Of Pharmaceutical Organic Compounds In The Groundwater Downgradient Of A Landfill (Grindsted, Denmark). *Environmental Science & Technology*, 29(5), 1415-1420.
- Jha, A. K. Singh, S. Singh, G. and Gupta, P. K., 2011. Sustainable Municipal Solid Waste Management In Low Income Group Of Cities: A Review. *Tropical Ecology*, 52(1), 123-131.
- Kang, D.-H. Tsao, D. Wang-Cahill, F. Rock, S. Schwab, A., and Banks, M., 2008. Assessment Of Landfill Leachate Volume And Concentrations Of Cyanide And Fluoride During Phytoremediation. *Bioremediation Journal*, 12(1), 32-45.
- Kulikowska, D. and Klimiuk E., 2008. The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Bioresource Technology*, 99(13), 5981-5985.
- Özgöçmen, S., 2007. Düzenli Depolama Sahaları Sızıntı Suları, Kontrol Ve Bertaraf Yöntemleri ve Bir Uygulama. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Öztürk, F., 2011. Katı Atık Sızıntı Suyu Miktarını Azaltıcı yönetim Stratejileri. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Öztürk, İ., 1999. Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul
- Öztürk, İ., Arıkan, O., Altınbaş, M., Alp, K., & Güven, H., 2016. Katı Atık Geri Dönüşüm Teknolojileri (El Kitabı). Türkiye Belediyeler Birliği.
- Öztürk, İ., Turgut-Onay T., Çallı B., Mertoğlu B. ve Yıldız Ş., 2010. Sızıntı Suyu Yönetimi İhtisas Komisyonu Taslak Çalışma Raporu, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye
- Purmessur, B. and Surroop, D., 2019. Power Generation Using Landfill Gas Generated From New Cell At The Existing Landfill Site. Journal Of Environmental Chemical Engineering, 7(3), 103060.
- Renou, S. Givaudan, J. Poulain, S. Dirassouyan, F. and Moulin, P., 2008. Landfill Leachate Treatment: Review And Opportunity. Journal Of Hazardous Materials, 150(3), 468-493.
- Şahinci, E., 2014. Tekirdağ İli Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Sularının Arıtım Metotlarının İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Schachermayer, E., Lampert, C., 2010. Aufkommen Und Behandlung Von Deponiesickerwasser. Wien. Da Silva, A. F., Cruz, T. N. S., Da Nobrega, S. L., Silva Filho, P. A., & Antunes, A. F. N. R. 2016. Landfill Leachate Production Through Empirical Methodologies: A Case Study Of The Lajes Site In Northeastern Brazil. The Electronic Journal Of Geotechnical Engineering, 21, 2195-2213.
- Slack, R. Gronow, J. And Voulvoulis, N., 2005. Household Hazardous Waste In Municipal Landfills: Contaminants In Leachate. Science Of The Total Environment, 337(1-3), 119-137.
- Steiner, M., & Wiegel, U. 2009. Katı Atık Yönetimi Atık Yönetiminin Temellerine Yönelik Rehber Kitap. Eflatun Yayınevi, Ankara.
- Youcai, Z., 2018. Pollution Control Technology For Leachate From Municipal Solid Waste: Landfills, Incineration Plants, And Transfer Stations: Butterworth-Heinemann.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Emrah SUSCAN
Doğum tarihi:	29 Mart 1992
Doğum Yeri:	Palandöken/ERZURUM
Uyruğu:	T.C.
Adres:	ERZURUM
Tel:	05344361489
E-mail:	emrah.suscan@gmail.com
Eğitim	
Lise:	Yıldızkent İMKB Lisesi
Lisans:	Atatürk Üniversitesi,Mühendislik Fakültesi
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi
Çalıştığı Kurumlar:	
01.07.2017-31.11.2018 Erzurum Çevre, Temizlik, Ağaç, Peyzaj, Enerji A.Ş 01.12.2018 Tarihinden İtibaren Erzurum Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Sahasında Görevli Mühendis	