



**T.C. ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI**  
**Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü**

**SIZINTI SUYU YÖNETİMİ İHTİSAS KOMİSYONU**  
**TASLAK ÇALIŞMA RAPORU**

Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK/Komisyon Başkanı  
Prof. Dr. Turgut T. ONAY/Komisyon Bşk. Yrd.  
Doç. Dr. Barış ÇALLI/ Komisyon Üyesi  
Doç. Dr. Bülent MERTOĞLU/ Komisyon Üyesi  
Şenol YILDIZ /Komisyon Üyesi

Ağustos 2010

## İçindekiler

1	SIZINTI SUYU OLUŞUMU VE MİKTARI.....	11
1.1	Sızıntı Suyu Oluşumu .....	11
1.2	Sızıntı Suyu Miktarı .....	11
1.3	Sızıntı Suyu Özellikleri.....	13
2	SIZINTI SUYU ARITIMI .....	15
2.1	Sızıntı Suyu Yönetimi .....	15
2.2	Biyoreaktör Depolama Alanları ve Dahili (in-situ) Sızıntı Suyu Arıtımı .....	16
2.2.1	Sızıntı Suyu Özellikleri.....	17
2.2.2	Biyoreaktör Depolama Alanının Sızıntı Suyu Karakteristiği Açısından Üstünlükleri .....	20
2.2.3	Depolama Alanlarında Sızıntı Suyu Yönetiminin Maliyet Açısından Değerlendirilmesi	20
2.2.4	Dünya’da Biyoreaktör Uygulamalarının Sızıntı Suyu Miktarları Açısından Değerlendirilmesi .....	20
2.3	Harici Sızıntı Suyu Arıtımı.....	21
2.3.1.	Sızıntı Sularının Yerinde Arıtımı .....	22
2.3.2.	Sızıntı Sularının Kentsel Atıksular ile Birlikte Arıtımı .....	26
2.3.3.	Sızıntı Suyu Arıtma Tesislerinde Pompa, Ekipman ve Malzeme Seçimi .....	27
2.3.4.	Ekonomik Analiz .....	28
2.3.5.	Sızıntı Suları ile İlgili Deşarj Standartları .....	30
3	SIZINTI SUYU YÖNETİMİ ve MİKTARININ AZALTILMASINA YÖNELİK ÖNLEMLER .....	33
3.1	Atık Doldurma Tekniği .....	33
3.2	Depo Sahası İşletimi ve Yağış Kontrolü.....	33
3.3	Nihai Kapama.....	35
3.4	Sızıntı Suyu Geri Devir Uygulamaları .....	35
4	TÜRKİYE’DE SIZINTI SUYU YÖNETİMİ .....	36
4.1	Mevcut Durum .....	36
4.2	Sızıntı Suyu Arıtma Tesisleri.....	37
4.3	Sızıntı Suyu Özelliklerinin Bölgesel Olarak Belirlenmesi .....	43
5	Farklı Senaryolar için Sızıntı Suyu Oluşumunun İncelenmesi .....	48
5.1	İncelenen Senaryolar .....	48
5.2	Sızıntı Suyu Oluşumu Hesabı ile İlgili Temel Kabuller ve Seçilen 3 İlin Meteorolojik Durumu .....	48
5.3	Sızıntı Suyu Oluşumu Tahminleri .....	52
6	DEĞERLENDİRME, SONUÇ ve ÖNERİLER .....	69
6.1	Sızıntı Suyu Miktarının Azaltılması.....	69
6.2	Sızıntı Suyu Kontrolü ve Arıtımı .....	69
6.3	Sızıntı Suyu Yönetimi ile İlgili Bazı Kritik Hususlar .....	70
	KAYNAKLAR .....	72

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1-1 Sızıntı suyu oluşumu ve katı atıklardan sızıntı suyuna kirletici geçişi .....	11
Şekil 1-2 Bir katı atık düzenli depolama tesisi için su dengesi .....	11
Şekil 2-1 Sızıntı suyu ve depo gazı yönetim alternatifleri .....	15
Şekil 2-2 Atık bozunma evreleri .....	17
Şekil 2-3 Harici sızıntı suyu arıtımı uygulamaları .....	22
Şekil 2-4 Alıcı ortama deşarj için genç depo sahası sızıntı suyu arıtma alternatifleri .....	23
Şekil 2-5 Katı atık sızıntı sularına uygulanabilecek arıtma sistemleri ve arıtılmış su deşarj ortamları ..	24
Şekil 3-1 Atık doldurma tekniği .....	34
Şekil 3-2 Depolama sahası drenaj uygulaması .....	34
Şekil 3-3 Geçici örtü .....	34
Şekil 3-4 Depolama sahası yüzey suyu drenajı .....	35
Şekil 3-5 Nihai kapama ve yağış sularının kontrolü .....	35
Şekil 4-1 Türkiye’de sızıntı suyu arıtma tesisi bulunan illerin haritada gösterimi. ....	36
Şekil 4-2 Türkiye’de düzenli depolama yapılan sahalarda sızıntı suyu yönetimi .....	37
Şekil 4-3 Antalya Kızıllı KADDS sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması .....	38
Şekil 4-4 Bursa Hamitler KADDS sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması .....	38
Şekil 4-5 Çanakkale Katı Atık Düzenli Depo Sahası sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması .....	39
Şekil 4-6 Didim Katı Atık Düzenli Depo Sahası sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması .....	39
Şekil 4-7 Erzurum KADDS sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması .....	40
Şekil 4-8 İstanbul Odayeri ve Kömürcüoda Sızıntı suyu arıtma tesisleri akım şeması .....	41
Şekil 4-9 Marmaris KADDS sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması .....	42
Şekil 4-10 Trabzon Katı Atık Düzenli Depo Sahası sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması .....	43
Şekil 4-11 Kömürcüoda sızıntı suyu karakteristiği .....	46
Şekil 4-12 Kömürcüoda sızıntı suyu karakteristiği .....	46
Şekil 4-13 İstanbul sızıntı suyu oluşumu .....	47
Şekil 4-14 Antakya sızıntı suyu oluşumu .....	47
Şekil 4-15 Trabzon-Rize sızıntı suyu oluşumu .....	47
Şekil 5-1 Seçilen merkezlerin türkiye haritası üzerinde gösterimi .....	50

Şekil 5-2 İzafi (Mutasavver) depolama alanlarında yıllara göre toplanan atık miktarı (geri dönüşüm/geri kazanım olmadığı durum).....	50
Şekil 5-3 Depolanan atık içindeki kuru katı madde ve su dağılımı .....	51
Şekil 5-4 Seçilen illerin günlük maksimum ve yıllık ortalama yağış yükseklikleri .....	51
Şekil 5-5 Tipik karışık atığın ana madde grupları .....	52
Şekil 5-6 Günlük ortalama sızıntı suyu oluşum miktarları .....	53
Şekil 5-7 Depolama alanı işletim süresi ve kapanmayı izleyen 10 yıllık devrede sızıntı suyu oluşumu (Malatya) .....	54
Şekil 5-8 Günlük ortalama sızıntı suyu oluşum miktarları .....	56
Şekil 5-9 Depolama alanı işletim süresi ve kapanmayı izleyen 10 yıllık devrede sızıntı suyu oluşumu (Malatya) .....	57
Şekil 5-10 Senaryo 2 kapsamında depolanan atığın ana madde grupları .....	59
Şekil 5-11 Günlük ortalama sızıntı suyu oluşum miktarları .....	59
Şekil 5-12 Depolama alanı işletim süresi ve kapanmayı izleyen 10 yıllık devrede sızıntı suyu oluşumu (Malatya) .....	60
Şekil 5-13 Senaryo 3 kapsamında depolanan atık .....	61
Şekil 5-14 Günlük ortalama sızıntı suyu oluşum miktarları .....	62
Şekil 5-15 Depolama alanı işletim süresi ve kapanmayı izleyen 10 yıllık devrede sızıntı suyu oluşumu (Malatya) .....	63
Şekil 5-16 Günlük ortalama sızıntı suyu oluşum miktarları .....	64
Şekil 5-17 Depolama alanı işletim süresi ve kapanmayı izleyen 10 yıllık devrede sızıntı suyu oluşumu (Malatya) .....	65
Şekil 5-18 Günlük ortalama sızıntı suyu oluşum miktarları .....	66
Şekil 5-19 Depolama alanı işletim süresi ve kapanmayı izleyen 10 yıllık devrede sızıntı suyu oluşumu (Malatya) .....	67
Şekil 5-20 Malatya’da farklı senaryolar için oluşan ortalama sızıntı suyu miktarlarının Senaryo 1B’ye göre normalize durumları.....	67

## TABLO LİSTESİ

Tablo 1-1 Avrupa ülkelerinde kaydedilmiş sızıntı suyu miktarları.....	12
Tablo 1-2 Almanya'daki bazı katı atık depolama tesislerinde açığa çıkan sızıntı suyu miktarları (Ehrig, 1983).....	12
Tablo 1-3 Sızıntı suyu özelliklerinin depo yaşı ile değişimi (Chain ve De Walle, 1977) .....	14
Tablo 2-1 Konvansiyonel ve biyoreaktör depolama sahalarında stabilizasyon evrelerine göre sızıntı suyu karakteristiği (Reinhart ve Townsend, 1998).....	18
Tablo 2-2 Konvansiyonel ve biyoreaktör depolama sahalarında sızıntı suyu karakteristiği (Reinhart ve Townsend, 1998).....	18
Tablo 2-3 Sızıntı suları sınıfları (Renou vd., 2008) .....	19
Tablo 2-4 Biyoreaktör depolama sahalarındaki KOİ giderim verimi (Rodriguez vd., 2004; Sponza vd., 2004).....	19
Tablo 2-5 Amerika'da bölgelere göre seçilmiş biyoreaktör depolama alanlarının özellikleri (Benson vd., 2007).....	21
Tablo 2-6 Amerika'da seçilmiş bölgelerdeki biyoreaktör uygulamalarında oluşan sızıntı suyu ve geri devir miktarları (Benson vd., 2007) .....	21
Tablo 2-7 Sızıntı suyu arıtımında kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler (Tchobanoglous vd., 1993).....	22
Tablo 2-8. Dünya genelinde sızıntı suyu arıtma uygulamaları.....	25
Tablo 2-9 Sızıntı suyu iletimi için kullanılan boru malzemelerini .....	27
Tablo 2-10 İki farklı sızıntı suyu arıtma tesisinin maliyet açısından karşılaştırılması (EA-UK, 2007) .....	29
Tablo 2-11 Membran biyoreaktör tipi 2 sızıntı suyu arıtma tesisinin işletme ve toplam yatırım maliyetleri (Robinson, 2005) .....	29
Tablo 2-12 Membran biyoreaktör sızıntı suyu arıtma tesisi enerji tüketimi (Robinson, 2006).....	29
Tablo 2-13 Almanya'daki tesislerde kapasiteye bağlı sızıntı suyu arıtma maliyetleri (Heyer ve Stegmann, 2002) .....	30

Tablo 2-14 Sızıntı sularının ön arıtmayı müteakip şehir atıksu kanal şebekesine deşarji için uygulanan standartlar (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 25) .....	30
Tablo 2-15 Katı artık değerlendirme ve bertaraf tesislerinden kaynaklanan sızıntı sularının alıcı ortama deşarj standartları (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 20.6, Değişik R.G.-13/02/2008-26786).....	31
Tablo 2-16 Almanya’da uygulanan sızıntı suyu deşarj standartları (Heyer ve Stegmann, 2002) .....	32
Tablo 4-1 Antalya KADDS Sızıntı suyu arıtma tesisi tasarım kriterleri.....	37
Tablo 4-2 Bursa Hamitler KADDS arıtma tesisi tasarım kriterleri .....	38
Tablo 4-3 Çanakkale KADDS Sızıntı suyu arıtma tesisi tasarım kriterleri.....	39
Tablo 4-4 İstanbul Odayeri ve Kömürcüoda KADDS 2008 yılı sızıntı suyu analiz sonuçları ve ortalama debisi .....	40
Tablo 4-5 Kocaeli Solaklar KADDS 2009 yılı sızıntı suyu analiz sonuçları.....	41
Tablo 4-6 Kuşadası KADDS sızıntı suyu arıtma tesisi tasarım kriterleri .....	41
Tablo 4-7 Samsun KADDS 2009 yılı sızıntı suyu analiz sonuçları .....	42
Tablo 4-8 Sinop KADDS sızıntı suyu arıtma tesisi tasarım kriterleri .....	42
Tablo 4-9 İstanbul Kömürcüoda ve Odayeri, Samsun ve Trabzon KADDS sızıntı suyu analiz sonuçları	44
Tablo 4-10 Ankara Şereflikoçhisar, Antalya Kızıllı, Bursa Hamitler ve Gaziantep KADDS sızıntı suyu analiz sonuçları.....	45
Tablo 5-1 Sisteme alınan atık bileşen ve yüzdeleri (ENVEST, 2005) .....	50
Tablo 5-2 Seçilen iller için yağış verileri.....	51
Tablo 5-3 Depolama hücrelerinin alan ve dolum süreleri .....	52
Tablo 5-4 İncelenen üç ilde senaryo 1A için sızıntı suyu debileri (İşletim Süresi=20 yıl).....	53
Tablo 5-5 10 ha’lık hücrelerde yıllık ortalama sızıntı suyu miktarının işletme sürecindeki değişimi ....	54
Tablo 5-6 2 ha’lık hücrelerde yıllık ortalama sızıntı suyu miktarının işletme sürecindeki değişimi .....	54
Tablo 5-7 İncelenen üç ilde senaryo 1B için sızıntı suyu debileri (İşletim süresi=20 yıl) .....	56
Tablo 5-8 10 ha’lık hücrelerde yıllık ortalama sızıntı suyu miktarının işletme sürecindeki değişimi ....	57

Tablo 5-9 2 ha'lık hücrelerde yıllık ortalama sızıntı suyu miktarının işletme sürecindeki değişimi .....	57
Tablo 5-10 İncelenen iki ilde Senaryo 2 için sızıntı suyu debileri (İşletim süresi=20 yıl) .....	59
Tablo 5-11 İncelenen iki ilde Senaryo 3 için sızıntı suyu debileri (İşletim süresi=20 yıl) .....	62
Tablo 5-12 İncelenen iki ilde Senaryo 4 için sızıntı suyu debileri (İşletim süresi=20 yıl) .....	64
Tablo 5-13 İncelenen ilde Senaryo 5 için sızıntı suyu debileri (İşletim süresi=20 yıl).....	66

## EKLER

- Ek I: Senaryolar için Sızıntı Suyuna Geçen Katı Atık Su Muhtevasının Tayini  
Ek II: Senaryo 1B için Sızıntı Suyu Hesap Sonuçları  
Ek III: Senaryo 1A için Sızıntı Suyu Hesap Sonuçları  
Ek IV: Senaryo 2 için Sızıntı Suyu Hesap Sonuçları  
Ek V: Senaryo 3 için Sızıntı Suyu Hesap Sonuçları  
Ek VI: Senaryo 4’de Uygulanan Atık Azaltım Oranları ve Yıllara Göre İşletime Alınacak Atık Bertaraf Tesisleri  
Ek VII: Senaryo 4 için Sızıntı Suyu Hesap Sonuçları  
Ek VIII: Senaryo 5 için Sızıntı Suyu Hesap Sonuçları

## KISALTMALAR

KADDS	: Katı Atık düzenli Depolama Sahası
AKM	: Askıda Katı Madde
BOİ <sub>5</sub>	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (5 günlük)
EKY	: Entegre Katı Atık Yönetimi
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KAAP	: Katı Atık Ana Planı
Qay-ort	: Aylık Ortalama Sızıntı Suyu Oluşumu
Qgün-maks	: Maksimum Yağışla Oluşan Günlük Maksimum Sızıntı Suyu Oluşumu
Qgün-ort	: Günlük Ortalama Sızıntı Suyu Oluşumu
TN	: Toplam Azot
TP	: Toplam Fosfor
MBR	: Membran Biyoreaktör
UF	: Ultrafiltrasyon
NF	: Nanofiltrasyon



Bakanlık Makamının 12.11.2009 tarih 18574 sayılı Olur'ları gereğince Özel Sızıntı Suyu İhtisas Komisyonu oluşturulmuştur. İhtisas Komisyonu çalışmalarına 15 Aralık 2009 tarihinde başlamış ve Ağustos 2010 itibarı ile tamamlamıştır.

Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK/Komisyon Başkanı :

Prof. Dr. Turgut T. ONAY/Komisyon Bşk. Yrd. :

Doç. Dr. Barış ÇALLI/ Komisyon Üyesi :

Doç. Dr. Bülent MERTOĞLU/ Komisyon Üyesi :

Şenol YILDIZ /Komisyon Üyesi :

## Giriş

İnsan faaliyetleri neticesinde ortaya çıkan evsel nitelikli katı atıklar, atık yönetiminin bir parçası olup, çevre kirliliğine olası etkilerinin kontrol altına alınması ve sürdürülebilir programlar ile yönetilmesi gereken bir atık türüdür. Katı atıkların bertarafı için ileri teknolojiler kullanılsa da, nihai bertaraf için düzenli depolama ihtiyacı devam etmektedir. Ülkemizde evsel atıkların bertarafında yaygın olarak depolama yöntemi tercih edilmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2010) verilerine göre Türkiye’de 2008 yılı itibarı ile toplanan kentsel katı atık miktarı 24.360.863 ton/yıl (1,15 kg/kişi.gün, 420 kg/kişi.yıl) olup ülke nüfusunun % 82’si, belediye nüfusunun ise % 99’u atık toplama hizmetinden yararlanmaktadır. Belediyelerden toplanan atığın % 46’sı düzenli depolama ve kompostlaştırma gibi atık yönetimi mevzuatına uygun yöntemlerle bertaraf edilmekte olup belediye nüfusunun ~% 46’sı bu tür tesislerden yararlanmakta, % 54’ünün atıkları ise düzensiz (kontROLSÜZ) depolama ve diğer yöntemlerle uzaklaştırılmaktadır. ÇOB Atık Yönetimi Eylem Planı’nda (2008-2012), 2012 yılında belediye nüfusunun % 70’inin atıklarının düzenli depolama tesislerinde bertarafı öngörülmektedir.

Düzenli Depolama, diğer yöntemlere göre daha basit, ekonomik ve hızlı uygulanabilen bir bertaraf yöntemi olmasının yanı sıra, özellikle depo gazı ve sızıntı suyu yönetimi gibi önemli bileşenleri ihtiva etmektedir. Kentsel atıkların yönetiminde nihai bertaraf yöntemi olan katı atık depolama sahalarının en önemli sorunlarından biri sızıntı suyu yönetimidir. Sızıntı suyu, düzenli depolama sahalarında atık muhtevassından kaynaklanan ve depo alanlarına ulaşan yağmur sularının atık içerisinde süzülmesi ile oluşur. Sızıntı suyu arıtımı evsel atıksulara göre oldukça zor ve karmaşık bir proses gerektirir. Sızıntı suyu hacimsel olarak az ancak organik kirlilik yükü açısından çok yüksek bir atıksu türüdür. Bu nedenle, miktarca az olmasına rağmen çevresel etkilerinin oldukça önemli ve riskli olması nedeniyle, sızıntı suyunun oluşumunun kontrol altına alınarak asgari seviyelere çekilmesi ve uygun arıtma yöntemlerle arıtılması gerekmektedir.

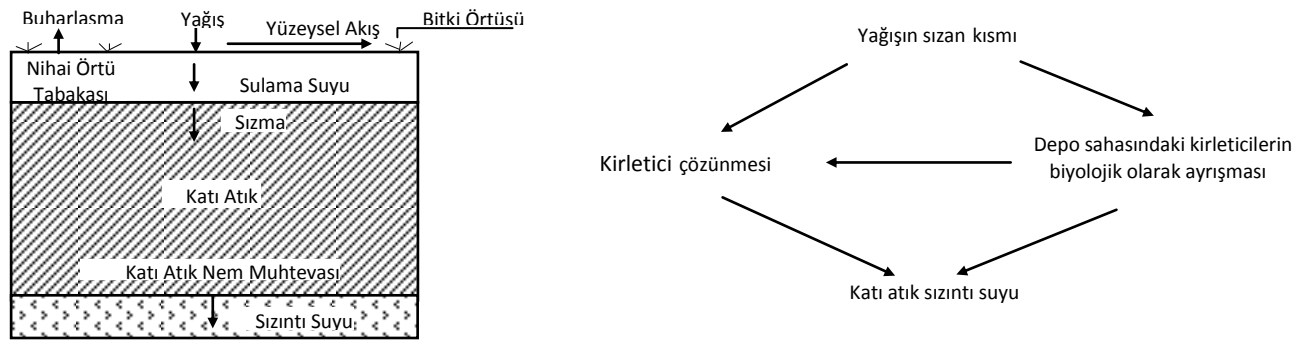
Özellikle son 10 yılda sayısı hızla artan mevcut ve inşa halindeki düzenli depolama sahalarında sızıntı suyu yönetimine ilişkin olarak yaşanan sorunlar ve elde edilen deneyimleri, dünyadaki benzer uygulama pratiklerini de dikkate alarak ortaya koymak, bu yolla sonraki tasarım ve uygulamalara yol göstermek amacıyla ÇOB bir komisyon çalışmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu kapsamda, Çevre ve Orman Bakanlığı’nın 12.11.2009 tarih 18574 sayılı Olur’ları gereğince Özel İhtisas Komisyonu oluşturulmuştur.

Bu Rapor anılan karar uyarınca, ÇOB Atık Yönetimi Daire Başkanlığı koordinasyonunda, İTÜ, Boğaziçi Üniversitesi, Marmara Üniversitesi ile İstanbul BB İSTAÇ A.Ş. ve uzmanlarından oluşan bir ekip tarafından hazırlanmıştır.

# 1 SIZINTI SUYU OLUŞUMU VE MİKTARI

## 1.1 Sızıntı Suyu Oluşumu

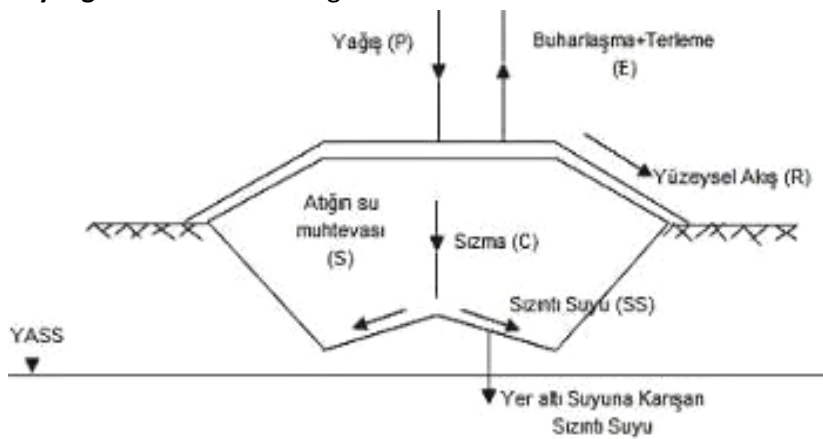
Katı atık depo sahasına düşen yağış sularının, buradaki katı atık kütlesi arasından süzülmesi esnasında çeşitli kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar gerçekleşir. Bunun sonucu olarak, inorganik ve organik bileşikler atıktan sızıntı suyuna geçer. Katı atık ve sızıntı suyu arasındaki bu etkileşimler, **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de basit olarak ifade edilmektedir. Depo gövdesinde gerçekleşen söz konusu bu tür karmaşık reaksiyonların son ürünleri, sızıntı suyu ve depo gazı ile taşınır. Sızıntı suyu, çok sayıda bileşen içerir ve kalitesi çok değişkendir. Sızıntı suyu kalitesi izlenerek, bir depolama sahasındaki atığın yaşı ya da stabilizasyon durumu hakkında önemli bilgiler elde edilebilir.



Şekil 1-1 Sızıntı suyu oluşumu ve katı atıklardan sızıntı suyuna kirletici geçişi (Öztürk, 2010)

## 1.2 Sızıntı Suyu Miktarı

Sızıntı suyu miktarı; ampirik veri veya kriterler ya da yağış, buharlaşma, yüzeyel akış ve atığın su muhtevası bileşenleri dikkate alınarak, atık hücreleri üzerinde kurulacak su dengesi yöntemi ile tahmin edilir. Atık özellikleri, iklimsel özellikler, depolama alanı işletme yöntemi vb. şartlar, sızıntı suyu miktarını önemli oranda etkiler. Depolama sahasına özel verilerle, bir katı atık düzenli depolama tesisi için su dengesi, **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'deki gibi kurulabilir:



Şekil 1-2 Bir katı atık düzenli depolama tesisi için su dengesi (Vesilind vd., 2002)

$$SS = C \pm S - E = P \cdot (1-R) - S - E \quad (1.1)$$

Burada;

- C : Atık deposu gövdesine sızan yağış suyu (=  $P \cdot (1-R)$ ), mm/yıl
- P : Yağış yüksekliği, mm/yıl

- R : Yüzeysel akış katsayısı, mm/yıl  
S : Atık yığını (hücre) bünyesinde tutulan su, mm/yıl  
E : Depo yüzeyinden buharlaşma ve terleme, mm/yıl  
SS : Oluşması beklenen sızıntı suyu, mm/yıl

Üst örtü tabakası ve atık yığını bünyesinde tutulan yağış suyu miktarı hesaplarında, arazi kapasiteleri esas alınır.

Sıkışmış katı atığın arazi kapasitesi ~ 200-300 mm/m alınabilir. Üst örtü toprağı arazi kapasitesi de, zemin cinsi ve uygulanan üst örtü detayına bağlıdır.

Katı atık düzenli depolama tesisi sızıntı suyu miktarı; nihai üst örtü tabakasının geçirimsizlik derecesi, iklim şartları, katı atık bileşimi, depo yaşı vb. faktörlere bağlı olarak değişir. Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde kaydedilen sızıntı suyu miktarları Tablo 1-1'de verilmiştir (Hjelmar vd., 1995). Almanya'daki 15 tesiste açığa çıkan sızıntı suyu miktarları da Tablo 1-2'de görülmektedir (Ehrig, 1983). Tablolardan görüldüğü üzere, sızıntı suyu miktarı kurak ve sıcak iklimli yerlerde düşük, yağışlı bölgelerde ise yüksektir. Ayrıca, nihai örtü tabakasının teşkil edilip edilmediğı ve geçirimsizlik derecesi de sızıntı suyu miktarını önemli oranda etkilemektedir.

**Tablo 1-1** Avrupa ülkelerinde kaydedilmiş sızıntı suyu miktarları

Ülke	Sızıntı Suyu Miktarları
İsveç	Ülke ortalaması 250-300 mm/yıl. Kil nihai üst örtü tabakası ile kaplı tesislerde 10-40 mm/yıl.
Danimarka	350 mm/yıl-işletme sırasında (yıllık yağış yüksekliği 714 mm/yıl).
Almanya	Yağışın %4-35'i (yıllık yağış yüksekliği 510-1160 mm). Düşük değerler genç, yüksek değerler ise yaşlı tesisler için.
İspanya	7 mm/yıl (400 mm/yıl) yağış için
İtalya	82 mm/yıl
Yunanistan	40-60 mm/yıl (387 mm/yıl yağış için)
İngiltere	Yıllık yağışın %24-60'ı (Yıllık yağış yüksekliği 650-1010 mm)

**Tablo 1-2** Almanya'daki bazı katı atık depolama tesislerinde açığa çıkan sızıntı suyu miktarları (Ehrig, 1983)

Tesis No	Toplam Yağış (mm/yıl)	Yağışın Sızan Kısımı (%)	Sızıntı Suyu (m <sup>3</sup> /ha.yıl)	Açıklama
Çelik Tekerli Kompaktörlerle Sıkıştırma				
1	652	15,1	2,7	
2	651-998	12,2-29,8	3,2-8,1	Üzeri örtülü ve bitkilendirilmiş
3	651-998	16,9-21,6	3,0-5,9	
4	632	16,3-18,3	2,8-3,2	
5	509	16,8	2,3	
6	556-1057	15,6-19,6	2,6-5,1	
7	770	3,3-7,2	0,7-1,1	Çok genç depo, üzeri killi toprakla örtülü sızıntı suyu geri devirli
8	-	22	3,8	
9	-	38	6,7	Sızıntı suyu geri devirli
Paletli Traktörlerle Sıkıştırma				
10	571	31,3	4,9	
11	571	4,4	0,4	Killi toprakla örtülü
12	501-728	25-48,2	5,3-8,3	
13	632	32,3	5,9	Üstü örtülü ve bitkilendirilmiş
14	565-655	39,2-42	6,1-7,5	
15	636	19,1-21,4	3,5-3,7	

İstanbul katı atık düzenli depolama alanlarındaki üzeri kapatılmamış, aktif hücrelerden oluşan sızıntı suyu miktarı 10-12 m<sup>3</sup>/ha-gün'dür (Öztürk, 2010). Atık özelliği ve depo sahası işletmeciliğine de bağlı olarak oluşan bu değerler, Avrupa ülkeleri ve ABD ile mukayese edilebilir değildir. Halbuki sızıntı suyu oluşumunun, yıllık yağış yüksekliğinin %15-50'si aralığında olması beklenir. Akdeniz iklimi kuşağında sızıntı suyu oluşumu için 0,15-0,20 m<sup>3</sup>/t KA değerleri verilmektedir (Fadel vd., 2002). ABD New York eyaleti düzenli depolama sahalarında oluşan sızıntı suyu miktarı 20-30 m<sup>3</sup>/ha-yıl aralığında seyretmektedir. İstanbul'da üzeri kapatılmamış atık hücrelerinden ortaya çıkan sızıntı suyu miktarı 20-30 m<sup>3</sup>/ha-gün'dür. Bursa Katı Atık Düzenli Depolama sahasında aktif hücrelerden oluşan sızıntı suyu miktarı da 10-12 m<sup>3</sup>/ha-gün'dür.

Sızıntı suyu miktarının azaltımında,

- daha küçük hücrelerde çalışma
- sahadaki boş hücrelerden gelen yağış sularını ayırma
- ambalaj atıkları ve biyobozunur atıkları geri dönüştürerek düzenli depolamaya giden atık miktarını azaltma
- dolan hücrelerin üzerini düşük geçirimsizlikte, eğimli üst örtü toprağı ile kapatma
- geçirimsiz ve eğimli nihai örtü tabakası teşkili

gibi genel tedbirler uygulanmaktadır.

### 1.3 Sızıntı Suyu Özellikleri

Sızıntı suyu kalitesi oldukça değişken olup birçok endüstriyel atıksuya göre daha geniş aralıkta bir kirlilik yüküne sahiptir. Sızıntı suyu kalitesi, depolama alanındaki katı atığın derinliği ve türü, depolama yaşı, geri devreden sızıntı suyunun oranı, depolama alanı tasarımı ve işlenmesi, sızıntı suyunun çevresel etkileşimi gibi birbirine tesir eden pek çok faktöre bağlı olarak değişmektedir.

Sızıntı suyunun bileşimi; katı atık bileşimi, pH, redoks potansiyeli, iklim şartları ve depo yaşına göre farklılıklar gösterir. Katı atık kompozisyonu, sızıntı suyu bileşimi ve dolayısıyla sızıntı suyunun arıtılabilirliğini etkiler. Sızıntı suları, katı atıkların ana bileşenlerinden kaynaklanan birçok element ve bileşiği ihtiva etmektedir. Ortamın pH'ı, atık ile sızıntı suyu arasındaki çözünme, çökelme, redoks ve tutma reaksiyonları gibi kimyasal prosesleri etkiler. Redoks potansiyeli ise, sızıntı suyundaki nütrientlerin ve metallerin çözünürlüğünü etkilemektedir.

Depo yaşı, depo sahasındaki havasız arıtma kapasitesine bağlı olarak, sızıntı suyu karakterini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Genç depo alanlarında oluşan sızıntı sularında, biyolojik olarak kolay ayrışabilen uçucu yağ asitleri oranı yüksektir. Depo yaşı arttıkça biyolojik ayrışma tamamlandığından, kolay ayrışabilen organik maddelerin oranı düşer. Bu sebeple, genç depo alanlarındaki sızıntı sularında BOİ/KOİ > 0,5 iken yaşlı depo alanlarındaki sızıntı sularında BOİ/KOİ < 0,2'dir.

2-3 yıllık depolama alanlarında özellikle organik maddeler, mikroorganizma türleri ve inorganik kirlilik yükleri maksimuma ulaşır. Sızıntı suyu, organik ve inorganik iyonlar ile metaller dışında mikrokirleticileri de içerebilmektedir. Tablo 1-3 de sızıntı suyu özellikleri verilmiş olup, sızıntı suyu özellikleri daha sonraki bölümlerde daha detaylı olarak verilecektir.

**Tablo 1-3** Sızıntı suyu özelliklerinin depo yaşı ile değişimi (Chain ve De Walle, 1977)

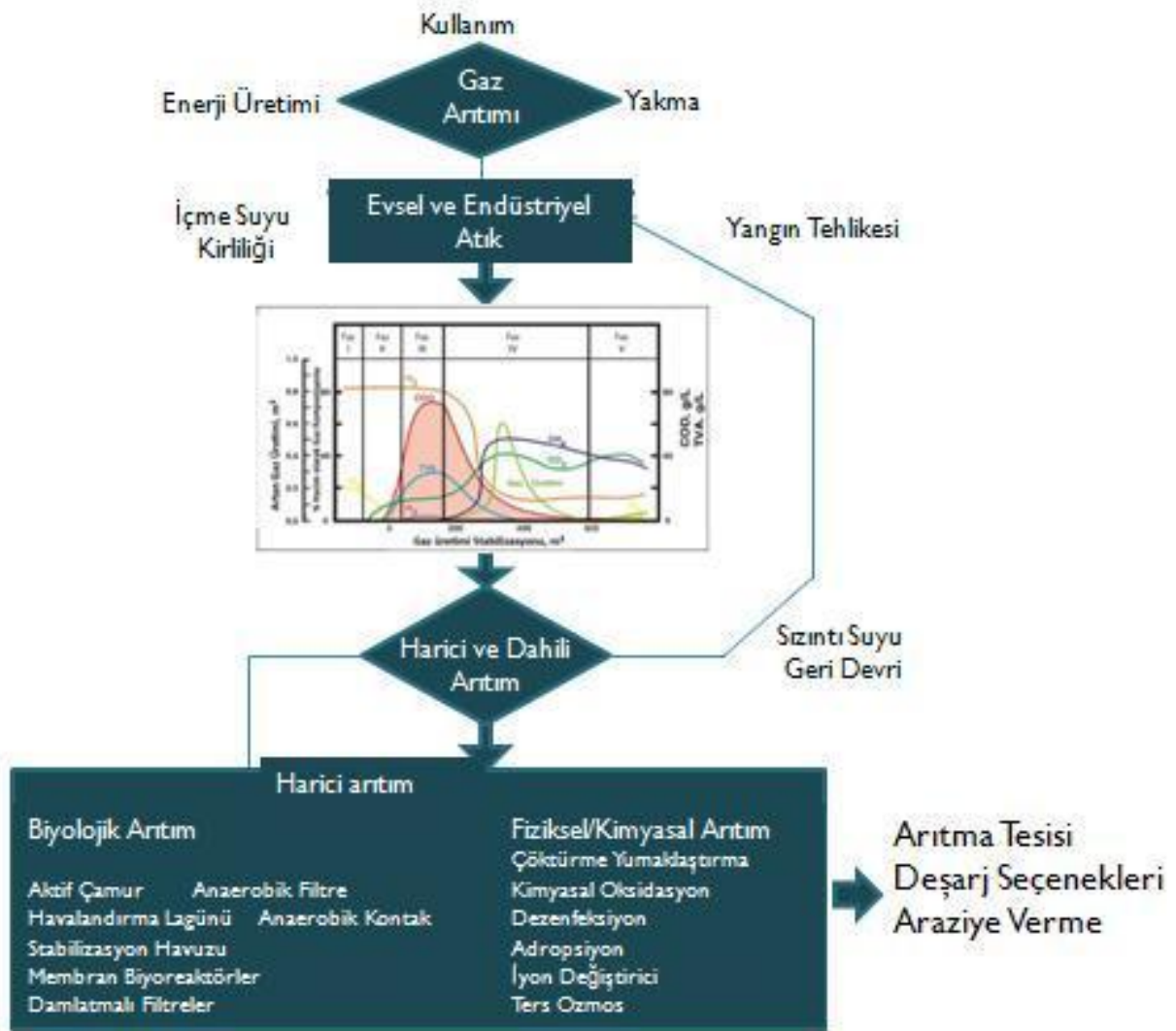
Parametre <sup>a</sup>	1. Yıl	5. Yıl	16. Yıl
pH	5,2-6,4	5,0-6,6	5,6-6,1
KOİ	10000-40000	8000	400
BOİ <sub>5</sub>	7500-28000	4000	80
TOK	7300-16350	83-9150	108-3080
NH <sub>3</sub> -N	56-482	36	10
Top-P	25-35	12	8
Toplam Katılar	10000-33000	718-18400	1920-5350
Toplam Uçucu Katılar	5350-20330	124-10300	770-3300
Alkalinite	600-800	1330	70
Klorür	620-1880	5,3-730	115-193
Cd	-	<0,05	<0,05
Mn	75-125	0,06	0,06
Cu	-	<0,5	<0,5
Fe	210-325	6,3	0,6
Pb	-	0,5	1
SO <sub>4</sub>	400-650	2	2
Zn	10-30	0,4	0,1

<sup>a</sup> pH hariç tüm birimler mg/L'dir.

## 2 SIZINTI SUYU ARITIMI

### 2.1 Sızıntı Suyu Yönetimi

Düzenli depolama alanlarında açığa çıkan sızıntı sularının yönetimi, depolama alanı tasarım ve işletim özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Artan nüfusla beraber kişi başına üretilen katı atık miktarındaki yükselme, depolama sahalarına olan ihtiyacın her geçen gün büyümesine neden olmuştur. Katı atıkların depo gövdesi içerisindeki biyolojik bozunmasının yavaş olması sebebi ile depolama sahalarının kurulacağı alanlar, özellikle nüfusun yoğun olduğu şehirlerde bir sorun teşkil etmektedir. Bu sebeple de, son yıllarda yapılan yeni teknolojik çalışmalarla, sistem içerisindeki atıkların ayrışma süreçlerinin hızlandırıldığı konvansiyonel sistemlerin yeni bir modifikasyonu olan biyoreaktör tipi depolama tesisleri tasarlanmıştır. Böylece sızıntı suyu yönetiminde de harici arıtıma ek olarak sızıntı suyunun depolanan atık kütlesi bünyesinde (dahili) arıtımı da mümkün olmaktadır. Sızıntı suyu yönetim alternatifleri Şekil 2-1’de verilmiştir.



Şekil 2-1 Sızıntı suyu ve depo gazı yönetim alternatifleri

Konvansiyonel (klasik) depolama alanlarının temel prensibi, oluşan sızıntı sularının harici olarak arıtımını esas alır. Konvansiyonel sistemlerin biyoreaktör depolama sahalarından en belirgin farkı, sistem içerisinde daha az su tutulmasından dolayı atık ayrışma hızının daha yavaş olmasıdır. Biyoreaktör prensibi ile işletilen düzenli depolama alanlarının konvansiyonel sistemlere göre en önemli üstünlüğü sızıntı suyunun sistem içerisine geri devri ile arıtımda sağladığı kolaylıktır. Sızıntı suyu geri devri ile mevcut sistem içerisinde atık stabilizasyonu

hızlandırılarak sızıntı suyunun dahili arıtımı da sağlanmış olur. Biyoreaktör depolama sahalarının diğer bir faydası da, sızıntı suyunun sistem içerisinde kısmen dahili arıtımı sağlandığından, sadece geri devir edilmeyen kısmının harici arıtıma tabi tutulması imkanına kavuşulmasıdır.

## 2.2 Biyoreaktör Depolama Alanları ve Dahili (in-situ) Sızıntı Suyu Arıtımı

Dünyada nüfus artışına bağlı olarak artan katı atık miktarının bertaraf yöntemleri arasında yaygın olarak kullanılan modern düzenli depolama sahaları entegre katı atık yönetiminde ekonomik olması sebebiyle yeri doldurulamaz öneme sahiptir. Ancak, düzenli depolama alanlarında atıklar anaerobik şartlarda çok yavaş ayrıştığından, çevre ve insan sağlığını tehdit eden yüksek kirletici içeriğine sahip sızıntı suyu ile küresel ısınmaya ve/veya sera etkisine katkıda bulunan metan ve karbondioksit gibi depo gazları önemli bir çevresel sorun oluşturmaktadır (Hudgins ve March, 1998). Mevcut düzenli depolama alanlarının kapasitesi katı atıkların yavaş ayrışması sebebi ile her geçen gün azalmakta ve özellikle büyük şehirlerde veya nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde düzenli depolama için kullanılacak arazi bulunamamaktadır. Depolama alanlarının verimli ve sorunsuz olarak işletilebilmesi için atık stabilizasyonunun hızlandırılması, atık yönetiminde önemli bir adımdır.

Günümüzde katı atıklar için iki türlü düzenli depolama yöntemi uygulanmakta olup, nüfus artışı da göz önünde bulundurularak depolama alanlarının günümüz koşullarına göre yeniden düzenlenmesi de mümkündür. Mevcut düzenli depolama alanları iki farklı yöntemle işletilirler;

- Konvansiyonel depolama alanları ve harici sızıntı suyu arıtımı
- Biyoreaktör depolama alanları ve dahili sızıntı suyu arıtımı

Konvansiyonel depolama alanları, genel olarak atıkların anaerobik ortamda ayrışması prensibine dayanır. Biyoreaktör depolama alanları ise, atıkların biyolojik stabilizasyon süreçlerini hızlandırmak için sızıntı suyunun geri devir ettirildiği kontrollü sistemlerdir. Biyoreaktör depolama alanlarını konvansiyonel depolama alanlarından ayıran temel fark, atık ayrışma süresinin önemli oranda daha kısa olmasıdır. Biyoreaktör depolama alanları 4 farklı işletim koşulu altında çalıştırılabilirler:

- Aerobik (Havalı) Düzenli Depolama Alanları
- Yarı Aerobik Düzenli Depolama Alanları
- Aerobik-Anaerobik Düzenli Depolama Alanları
- Anaerobik (Havasız) Düzenli Depolama Alanları

Konvansiyonel sistemlerde depolama alanı içerisinde mümkün olduğunca az sızıntı suyu tutulması nedeniyle biyolojik ayrışma hızının oldukça yavaş olması ve dolayısıyla sızıntı suyu arıtım maliyeti açısından da sorun yaşanır. Biyoreaktör depolama alanlarının konvansiyonel sistemlere göre en belirgin farklılığı, sızıntı suyu yönetimine sağlamış olduğu esnekliktir. Biyoreaktörlerde kontrollü olarak arıtma için gerekli olan nemli ortamlar sağlanmaktadır. Bu konuda çok sayıda lizimetre ve saha çalışması yapılmış olup sızıntı suyu geri devrinin avantajları ortaya konmuştur (Pohland, 1980; Townsend vd., 1996; Fadel, 1999; Onay ve Pohland, 1998; San ve Onay, 2001; Erses ve Onay, 2003). Sızıntı suyu geri devir stratejisi ile çalışan depolama sahaları sızıntı suyunun saha içinde artırılmasıyla hem uygulanabilir bir yöntem sağlamakta hem de sızıntı suyu arıtma maliyetlerini düşürmektedirler (San ve Onay, 2001). Biyoreaktör depolama alanlarının avantajları aşağıda sıralanmıştır (Onay ve Pohland, 1998, Reinhart ve Townsend, 1998);

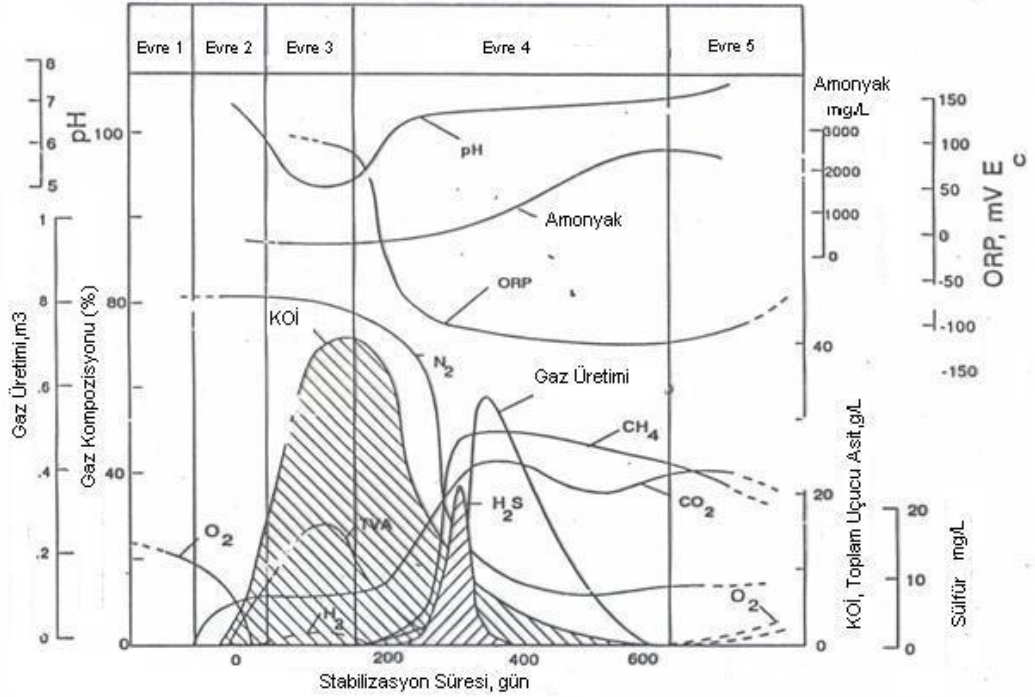
- Sistemdeki nem oranı arttığı için daha homojen bir ortam oluşur
- Atıkların toksik etkisini azaltır
- Atıkların hızlı olarak ayrışmasından dolayı depolama sahalarında %15-30 arasında yer kazanımı sağlar
- Depolama alanı maliyetlerinde sızıntı suyu geri devrinden dolayı azalma meydana gelir



- Organik maddelerin ayrışma hızında artış ve buna bağlı olarak ayrışma süresinde azalma oluşur
- Geri kazanılacak metan miktarında artış gözlenir
- Atık kütlesi oturma hızında artış meydana gelir
- Depo sahasının kapatılması sonrası düşük izleme ve kontrol maliyetleri sağlanır.

### 2.2.1 Sızıntı Suyu Özellikleri

Sızıntı suyu kirleticileri genel olarak 4 farklı grupta toplanabilir. Çözünmüş organik maddeler, inorganik makro kirleticiler, ağır metaller ve ksenobiyotik organik bileşikler (Kjeldsen vd., 2002). Sızıntı suyu kalitesi izlenerek bir depolama sahasındaki atığın yaşı yada stabilizasyon durumu hakkında önemli bilgiler elde edilebilir (Tchobanoglous vd., 1993). Ancak sızıntı suyu bileşenleri, düzenli depolama alanlarında farklı özellikler gösterebilir. Atığın depolama sahası içerisine gömülmesinden itibaren atık yaşına göre 5 farklı stabilizasyon evresi gözlenir. Her evrede sızıntı suyu kirleticisi parametre değerleri ile biyogaz miktar ve kompozisyonu değişkenlik göstermektedir. Sızıntı suyu ve biyogaz parametrelerinin bu süreçte izlenmesi atık stabilizasyonunda bir sorun meydana gelmesi durumunda müdahale edilmesi açısından önem taşımaktadır. Atık stabilizasyonu evreleri Şekil 2-2’de verilmiştir.



Şekil 2-2 Atık bozunma evreleri (Onay ve Pohland, 1998)

Atığın depolama sahasında gömülmesinden sonra meydana gelen ilk evre “Alışma Evresi” veya çevreye uyum sürecidir. Bu süreç depolanan katı atığın, aerobik bakteriler tarafından nem miktarının birikmeye başlaması ve oksijen miktarındaki azalmaya bağlı olarak bozunması ile başlar. Daha sonraki ikinci evre olan “Geçiş Evresi”nde atık içerisinde nem içeriğinin artması ve oksijen oranının tüketilmesiyle ortamda anaerobik koşullar oluşur. Toplam uçucu asit ve kimyasal oksijen ihtiyacında ki (KOİ) artış anaerobik mikrobiyolojik faaliyetleri hızlandırır. Atıkların asidojenik bakteriler tarafından uçucu asitlere dönüştürülmesi ile üçüncü evre olan “Asit Oluşum Evresi”ne geçilir ve bu evrede sızıntı suyu pH değerinde düşüş gözlenir. Hızlı şekilde meydana gelen atık bozunması pH değerlerini ortam daha asidik olacak şekilde düşürür ve metallerin atıktan sızıntı suyuna hareketini artırır. Bu evre sızıntı suyundaki yüksek uçucu asit, KOİ ve biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) değerleri ile karakterize edilir. Bir önceki evrede üretilen asit bileşikleri dördüncü evre olan “Metan Oluşum Evresi” sırasında metan bakterileri ile metan ve karbondioksit gazına dönüştürülür. Bu fazda asidik sızıntı suyu nötral pH koşullarına dönüştürülür ve metal ile uçucu organik asit konsantrasyonları düşürülür. Bu evre süresince depolama alanında gaz üretimi en yüksek değerlere ulaşır. Son olarak “Olgunlaşma Evresi” ile adlandırılan

evrede biyobozunur maddeler ve besi elementleri sınırlayıcı hale gelir. Bu evre depolama alanlarındaki gaz üretiminin düştüğü ve sızıntı suyu kompozisyonunda durağan konsantrasyonların elde edildiği evredir.

Yapılan bir çalışmada, sızıntı suyunun geri devir edildiği 5 adet biyoreaktör analiz edilmiş olup konvansiyonel ve biyoreaktör depolama sahalarını temsil eden sızıntı suyu çıkış değerleri Tablo 2-1'de verilmiştir (Reinhart ve Townsend, 1998).

**Tablo 2-1** Konvansiyonel ve biyoreaktör depolama sahalarında stabilizasyon evrelerine göre sızıntı suyu karakteristiği (Reinhart ve Townsend, 1998)

Parametre	Geçiş Evresi		Asit Oluşum Evresi	
	Konvansiyonel	Biyoreaktör	Konvansiyonel	Biyoreaktör
BOİ <sub>5</sub> (mg/L)	100-10000	0-6893	1000-57000	0-28000
KOİ (mg/L)	480-18000	20-20000	1500-71000	11600-34550
Uçucu Asit (mg/L) (Asetik Asit)	100-3000	200-2700	3000-18800	1-30730
BOİ/KOİ	0,23-0,87	0,1-0,98	0,4-0,8	0,45-0,95
NH <sub>4</sub> -N	120-125	76-125	2-1030	0-1800
pH	6,7	5,4-8,1	4,7-7,7	5,7-7,4
İletkenlik (µmhos/cm)	2450-3310	2200-8000	1600-17100	10000-18000

Parametre	Metan Oluşum Evresi		Olgunlaşma Evresi	
	Konvansiyonel	Biyoreaktör	Konvansiyonel	Biyoreaktör
BOİ <sub>5</sub> (mg/L)	600-3400	100-10000	4-120	100
KOİ (mg/L)	580-9760	1800-17000	31-900	770-1000
Uçucu Asit (mg/L) (Asetik Asit)	250-4000	0-3900	0	-
BOİ/KOİ	0,17-0,64	0,005-0,8	0,02-0,13	1,05-0,08
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	6-430	32-1850	6-430	420-580
pH	6,3-8,8	5,9-8,6	7,1-8,8	7,4-8,3
İletkenlik (µmhos/cm)	2900-7700	4200-16000	1400-4500	-

Biyoreaktör tipi depolama sistemlerin en büyük faydalarından bir tanesi de sızıntı suyu harici arıtım maliyetlerinin azaltılmasıdır. Tablo 2-1'de stabilizasyon evrelerine göre parametre değerleri verilen konvansiyonel ve biyoreaktör tipi tesis sızıntı sularının karşılaştırılması yapılmış olup, biyoreaktör sistemlerinde sızıntı suyu geri devrinin sızıntı suyu içerisindeki organik kirlenici yükünü azalttığı özellikle Tablo 2-2'de verilen BOİ ve KOİ değerlerindeki farklılıkla görülmektedir.

**Tablo 2-2** Konvansiyonel ve biyoreaktör depolama sahalarında sızıntı suyu karakteristiği (Reinhart ve Townsend, 1998)

Parametre	Konvansiyonel Saha	Biyoreaktör Saha
BOİ <sub>5</sub> (mg/L)	20-40000	12-28000
KOİ (mg/L)	500-60000	20-34560
Demir (mg/L)	20-2100	4-1095
Amonyak (mg/L)	30-3000	6-1850
Klor (mg/L)	100-5000	9-1884
Çinko (mg/L)	6-370	0,1-66

Sızıntı suyu kalitesi, depolama alanındaki atığın derinliği ve türü, depolama yaşı, geri devreden sızıntı suyu oranı, depolama alanı tasarımı ve işletilmesi, sızıntı suyunun çevresel etkileşimi gibi birbirine tesir eden pek çok faktöre bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bunlara ek olarak, depolama sahası içerisinde atıkların sıkıştırılması, yer kazanımı yanında sızıntı suyu çıkışının azaltılması gibi faydalar sağlar (Renou vd., 2008). Sızıntı suyu karakteristiği genellikle biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), BOİ/KOİ oranı, askıda katı madde (AKM), pH, amonyak azotu(NH<sub>3</sub>-N), toplam kjeldhal azotu (TKN) ve ağır metaller gibi parametrelerle değerlendirilir (Renou vd., 2008).

Sızıntı suyu kompozisyonu stabilizasyon evreleri içerisinde farklılık gösterse de, sızıntı suları genellikle atık yaşına göre 3 farklı kategori altında incelenirler (Tablo 2-3 ).

**Tablo 2-3** Sızıntı suları sınıfları (Renou vd., 2008)

	Genç	Orta	Yaşlı
Yaşı (yıl)	<5	5-10	>10
pH	6,5	6,5-7,5	>7,5
KOİ (mg/L)	>10.000	4.000-10.000	<4.000
BOİ/KOİ	>0,3	0,1-0,3	<0,1
Organik bileşikler	%80 uçucu organik asitler (UOA)	%5-30 UOA+hüyük asit	Hüyük asitler
Ağır metaller	Düşük-Orta	-	Düşük
Ayrışabilirliği	Önemli	Orta	Düşük

Sızıntı suyu arıtımını genel olarak dahili ve harici arıtma olarak sınıflandırmak mümkündür. Sızıntı sularının harici arıtımı için geliştirilen metotlar literatürde genel olarak üç grupta toplanmaktadır: fizikokimyasal, biyolojik ve ileri arıtma metotları (Renou vd., 2008). Bu metotlardan herhangi birini tek başına kullanarak yüksek oranda arıtma verimi ve çıkış suyu kalitesi elde etmek zordur. Bunun için sızıntı sularının arıtımında bu metotlar arasında genellikle fiziksel, kimyasal ve biyolojik metotların kombinasyonu, ileri arıtma metotlarında ise adsorpsiyon ve membran teknolojileri kullanılmaktadır (Amokrane vd., 1997; Bohdziewicz vd., 2001; Marttinen vd., 2002; Renou vd., 2008). Sızıntı sularının harici arıtma yöntemleri Bölüm 2.3’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Sızıntı suyunun sistem içerisine geri devri ile doğal bir arıtım sağlanarak, maliyet ve uygulama açısından avantaj sağlanmış olur. Sızıntı suyu harici arıtma metotlarına ek olarak, biyoreaktör depolama alanlarının da sızıntı suyu arıtımında önem taşıdığı vurgulanmaktadır (Renou vd., 2008). Biyoreaktör düzenli depolama alanları, sızıntı suyu kirletici yükü ve miktarını kısa sürede minimize ettiği için çok önemlidir (Pohland, 1990). Atıkların biyoreaktöre doldurulmasından kısa bir süre sonra oluşan genç depo sızıntı suyu büyük oranda BOİ, KOİ ve ağır metaller içerir. Sızıntı suyunun atık kütlesi üzerine geri devri ile artan biyolojik aktivite ve diğer kimyasal ve fiziksel reaksiyonlar yoluyla arıtma sağlanmış olur. Sızıntı suyu içerisindeki organik asitler CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub>’ye dönüşür. pH değerindeki artıştan dolayı metan üretim evresinde, ağır metaller depolama alanı içerisinde tutulmuş olur. Yapılan bazı çalışmalara göre sızıntı suyunun geri devir edildiği anaerobik biyoreaktörlerde arıtım verimleri Tablo 2-4’de verilmiştir.

**Tablo 2-4** Biyoreaktör depolama sahalarındaki KOİ giderim verimi (Rodriguez vd., 2004; Sponza vd., 2004)

KOİ (mg/L)	pH	Tesis Tipi	İşletim durumları			KOİ Giderim verimi (%)
			Hacim (L)	T (°C)	Geri Devir (L/gün)	
80000	5,5-5,65	Pilot tesis	707	36	-	98
47000-52000	-	Pilot tesis	70	35	9-21	-
716-1765	7,58-7,60	Pilot tesis	-	-	40	63-70
2560-5108	8-8,43	Depolama alanı	-	-	40	

## 2.2.2 Biyoreaktör Depolama Alanının Sızıntı Suyu Karakteristiği Açısından Üstünlükleri

Sızıntı suyunun atık kütlesi üzerine geri devir edilmesi, sızıntı suyu kalitesinin artması, atık stabilizasyon sürecinin ve arıtım maliyetinin azalması gibi faydalar sağlar. Sızıntı suyu depolama alanına geri devir edildiğinde adsorpsiyon, iyon değişimi ve mekanik filtrasyon gibi doğal arıtma süreçleri sayesinde KOİ ve BOİ değerlerinde yaklaşık %50 düşüş ile ağır metal konsantrasyonlarında belirgin azalma sağlanır ve yeraltı sularının kirlenme riski azaltılmış olur. Sızıntı suyunun biyoreaktör depolama sahası içerisinde dahili olarak arıtılabilirliğine ek olarak, atık içerisinde absorpsiyonla tutunmanın da etkisiyle harici olarak depolanacak atıksu miktarında azalma görülür (Berge vd.,2005).

Biyoreaktör depolama sahalarından oluşan sızıntı suyundan amonyak giderimi önemli bir sorun oluşturmaktadır. Sızıntı suyundaki amonyak azotu genelde fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma tekniklerinin farklı reaktör konfigürasyonlarıyla arıtılır. Fakat azotun sistem içerisindeki çevrim mekanizmalarının anlaşılması sızıntı suyu arıtma yöntemi seçiminde önemli bir parametredir. Onay ve Pohland, (1998) yürüttükleri çalışmalarında, simüle edilmiş biyoreaktör depolama sahaları içerisinde azot giderimini detaylı olarak incelemiştir. Anılan çalışmaları sonunda, sızıntı suyunun geri devir edildiği biyoreaktör sistemlerinde, nem oranının artması, besi maddelerinin ilave edilmesi ve homojen dağılımının sağlanmasıyla reaktörlerde stabilizasyon ve çevrim mekanizmalarının arttığı gözlenmiştir. Böylece, sızıntı suyu geri devir edilmesi ile istenilen nitrifikasyon, denitrifikasyon ve metanojenik mikroorganizma popülasyonlarının gelişimi için uygun çevresel ortamın sağlanmış olduğu ortaya konmuştur.

## 2.2.3 Depolama Alanlarında Sızıntı Suyu Yönetiminin Maliyet Açısından Değerlendirilmesi

Konvansiyonel depolama sahalarında, oluşan sızıntı suyunun tamamının harici olarak arıtılması gerekmektedir. Biyoreaktör depolama alanlarının en önemli avantajı olan sızıntı suyunun biyoreaktör sistemi içerisindeki dahili arıtımı, maliyetin büyük ölçüde azaltılması açısından önem taşır. Böylelikle biyoreaktör depolama alanlarında geri devir edilen sızıntı sularının ayrıca arıtılmasına ihtiyaç yoktur. Yalnız geri devir edilmeyen sızıntı sularının harici arıtma maliyetleri dikkate alınır. Genel olarak, Amerika'da bir depolama sahasında sızıntı suyu dahili ve harici arıtım için verilen maliyet yaklaşık olarak sırasıyla 24 \$/m<sup>3</sup> ve 61 \$/m<sup>3</sup>'dür (Berge vd. 2009).

Biyoreaktör depolama sahalarında optimum nem miktarının sağlanması sızıntı suyu yönetiminde önemli bir üstünlük sağlar. Biyoreaktör depolama sahasındaki nem içeriğinin yaklaşık %40 ile %70 arasında olması gerekmektedir. Biyoreaktör depolama sahalarında atıkların doldurulmasından sonra oluşan sızıntı suyu miktarı, depo gövdesinde uygun nem içeriğinin sağlanması için yeterli olmayabilir. Bu yüzden de sızıntı suyunun yanı sıra yeraltı suları veya atıksuların kullanımı da mümkündür. Aerobik olarak işletilen biyoreaktörlerde sıcaklığın 70°C'ye ulaşması sebebi ile oluşan sızıntı suyunun yaklaşık %50'si buharlaşmaktadır (Berge vd., 2009). Sonuç olarak özellikle anaerobik biyoreaktör tipi tesislerde sızıntı suyunun büyük bir kısmının buharlaşma yolu ile kaybı maliyet açısından önemlidir.

## 2.2.4 Dünya'da Biyoreaktör Uygulamalarının Sızıntı Suyu Miktarları Açısından Değerlendirilmesi

Benson vd. (2007) yapmış oldukları bir çalışmada Tablo 2-5'de özellikleri verilmiş olan Amerika'daki sızıntı suyunun geri devir edildiği 5 adet biyoreaktör depolama sahası üzerinde inceleme yapmışlardır. "S, D, Q, C, E" olarak adlandırılan depolama sahalarındaki sızıntı suyu geri devir miktarları ortalama yağış miktarları dikkate alınarak incelenmiştir.

**Tablo 2-5** Amerika’da bölgelere göre seçilmiş biyoreaktör depolama alanlarının özellikleri (Benson vd., 2007)

Depolama Alanı (Bölgelere Göre)	Ortalama Yıllık Yağış (mm)	Aktif Alan (ha)	Sızıntı suyu geri devir (yıl)	Tasarım
S	670	3,6	8	Yatay geri devir boruları
D	1041	9,7	2	Yatay/düşey geri devir boruları
Q	940	12,1	1	Yatay geri devir boruları
C	762	5,6	4	Yatay geri devir boruları
E	838	17,8	4	Yatay geri devir boruları

Çalışmaları sırasında sızıntı suyunun depolama sahasına geri devir edilmesinin gaz ve sızıntı suyu oluşumundaki etkilerini 5 farklı depolama sahası üzerinde incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Oluşan sızıntı suyu ve geri devir edilen miktarı Tablo 2-6’da verilmiştir.

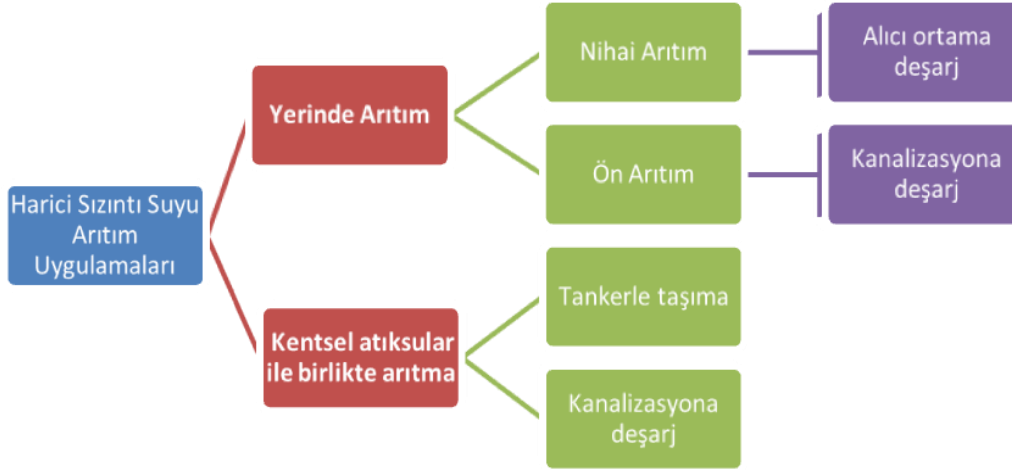
**Tablo 2-6** Amerika’da seçilmiş bölgelerdeki biyoreaktör uygulamalarında oluşan sızıntı suyu ve geri devir miktarları (Benson vd., 2007)

Depolama Alanı (Bölgelere Göre)	Oluşan sızıntı suyu miktarı		Geri devir edilen sızıntı suyu miktarı		Geri devir edilmeyen kısım (%)
	L/yıl	L/m <sup>2</sup> .yıl	L/yıl	L/m <sup>2</sup> .yıl	
S	3.020.600	84	3.020.600	84	0
D	5.400.900	56	2.008.000	21	63
Q	19.771.000	163	19.771.000	163	0
C	8.020.100	143	3.380.600	60	58
E	18.962.400	106	17.932.500	100	5

Konvansiyonel depolama sistemlerinin yarattığı çevresel sorunlar nedeniyle, alternatif bir depolama tekniği olan biyoreaktör tipi depolama sistemleri dikkat çekmektedir. Mevcut konvansiyonel sistemlerin biyoreaktör depolama sahasına dönüştürülmesi veya iklim şartları ve uygun nüfus büyüklüğü dikkate alınarak seçilen bölgelere doğrudan biyoreaktör depolama sistemlerinin kurulması entegre atık yönetimi açısından önem taşımaktadır. Bilinçsiz bir şekilde gerekli tasarım kriterleri göz önüne alınmadan biyoreaktör adı altında yapılan işletmelerde önemli sorunlar çıkabilmektedir. Oluşan sızıntı sularının depolanan atığın stabilizasyonu üzerindeki etkisi, koku problemi ve yer altı sularına olası etkileri gibi birçok parametrenin biyoreaktör depolama sahaları için geniş kapsamlı ARGE çalışmaları yapılarak incelenmesi gereklidir. Bu çalışmalardan elde edilecek bilimsel bulgular ışığında uygulamaya geçilmesi önem arz etmektedir.

### 2.3 Harici Sızıntı Suyu Arıtımı

Sızıntı suyu, depo sahası içinde veya yakınında inşa edilen bir sızıntı suyu arıtma tesisinde yerinde 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. Harici sızıntı suyu arıtımı uygulamaları Şekil 2-3’de özetlenmiştir.



**Şekil 2-3** Harici sızıntı suyu arıtımı uygulamaları

### 2.3.1. Sızıntı Sularının Yerinde Arıtımı

Sızıntı sularının yerinde arıtımı için birçok farklı arıtma yöntemi kullanılır. Ancak bu yöntemlerin tek başına uygulanması nihai çözüm için yeterli olmayıp istenilen arıtma verimi birkaç farklı işlem ve kademeden oluşan bir arıtma sistemi ile elde edilebilir. Ayrıca, sızıntı suyu miktarı ve özellikleri depo yaşına bağlı olarak değiştiği için uygun arıtma işlemleri de değişkenlik gösterir. Genel itibarıyla sızıntı suyu arıtımında kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemleri Tablo 2-7’de verilmiştir.

**Tablo 2-7** Sızıntı suyu arıtımında kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler (Tchobanoglous vd., 1993)

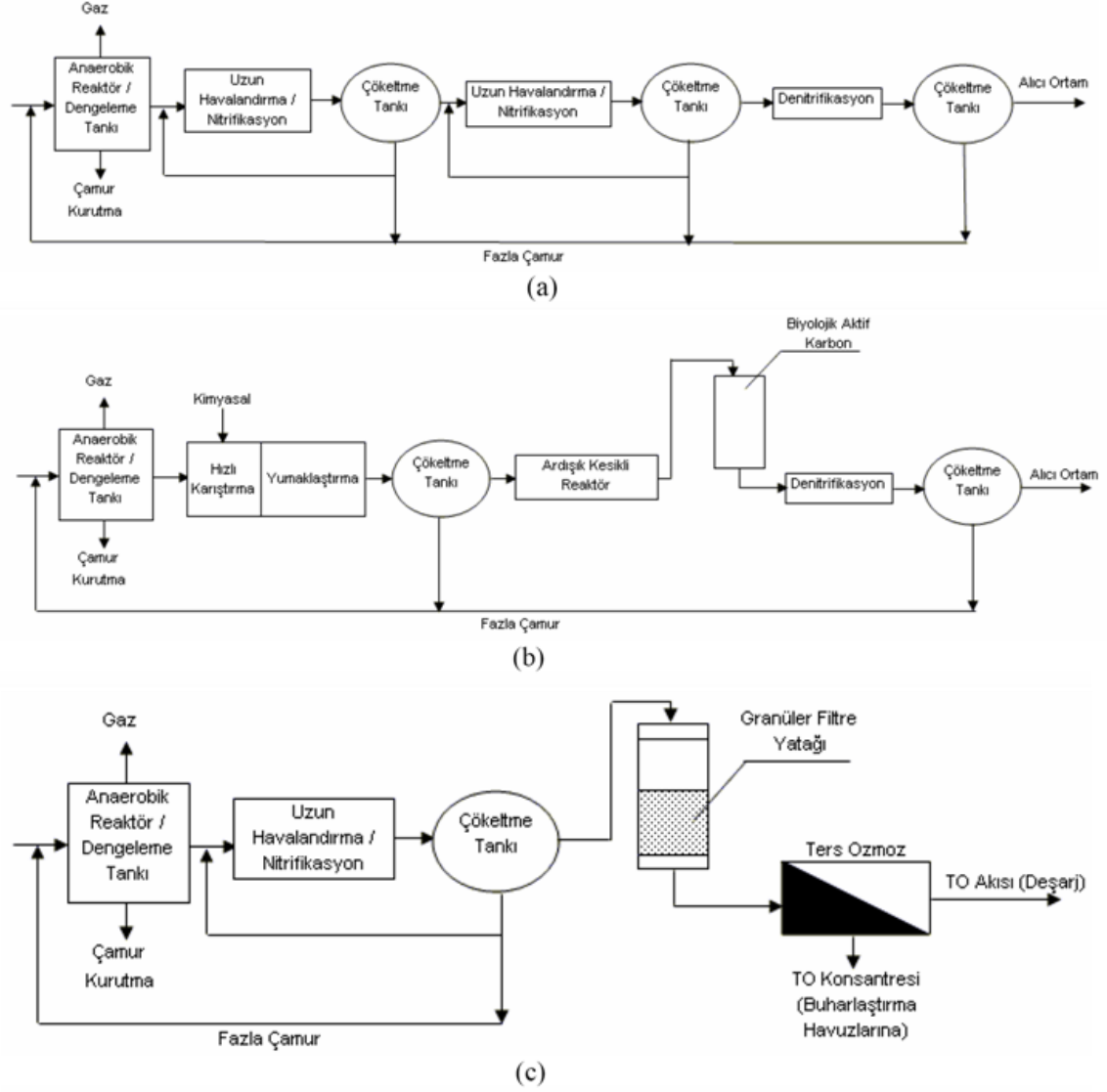
Arıtma Prosesleri	Amaç	
Fiziksel	Çöktürme/flotasyon	Askıda katı madde giderimi
	Filtrasyon	Amonyak ve uçucu organik madde giderimi
	Hava ile sıyırma	Organik madde giderimi
	Adsorpsiyon	Çözünmüş inorganik madde giderimi
	İyon değiştirme	Organik ve inorganik madde giderimi
	Ters Ozmoz	Ters ozmoz konsantresi bertarafı
Kimyasal	Buharlaştırma/yakma	
	Nötralizasyon	pH kontrolü
	Kimyasal çöktürme	Ağır metal ve bazı anyonların giderimi
	Koagülasyon/flokülasyon	Çökelmeyen askıda katı madde giderimi
Biyolojik	Kimyasal oksidasyon	Organik madde giderimi, detoksifikasyon
	Aktif çamur	
	Ardışık kesikli reaktörler	
	Havalandırmalı 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	

Uygun arıtma işlemlerinin (kademelerinin) seçiminde ve tesisin tasarımında aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır;

- Sızıntı suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri (KOİ, BOİ<sub>5</sub>, amonyak azotu, vb.)
- Deşarj alternatifleri (Alıcı ortama veya kanalizasyona)

- Arıtılabilirlik sonuçları
- İlk yatırım ve işletme maliyeti

Biyolojik arıtma prosesleri, genç depolama alanlarında oluşan biyolojik olarak ayrışabilir organik madde içeriği yüksek sızıntı sularının arıtımında verimli çalışırken, stabilize olmuş yaşlı depolama alanlarında oluşan sızıntı sularının arıtımında etkili değildir. Yaşlı sızıntı sularının arıtımı için fiziksel ve/veya kimyasal arıtım işlemlerine ihtiyaç vardır. Dünya genelinde genç depo sahası sızıntı sularının arıtılarak alıcı ortama deşarj için kullanılan çeşitli arıtma sistemlerin akım şemaları Şekil 2-4'de verilmiştir (Katı Atık Ana Planı, 2006).

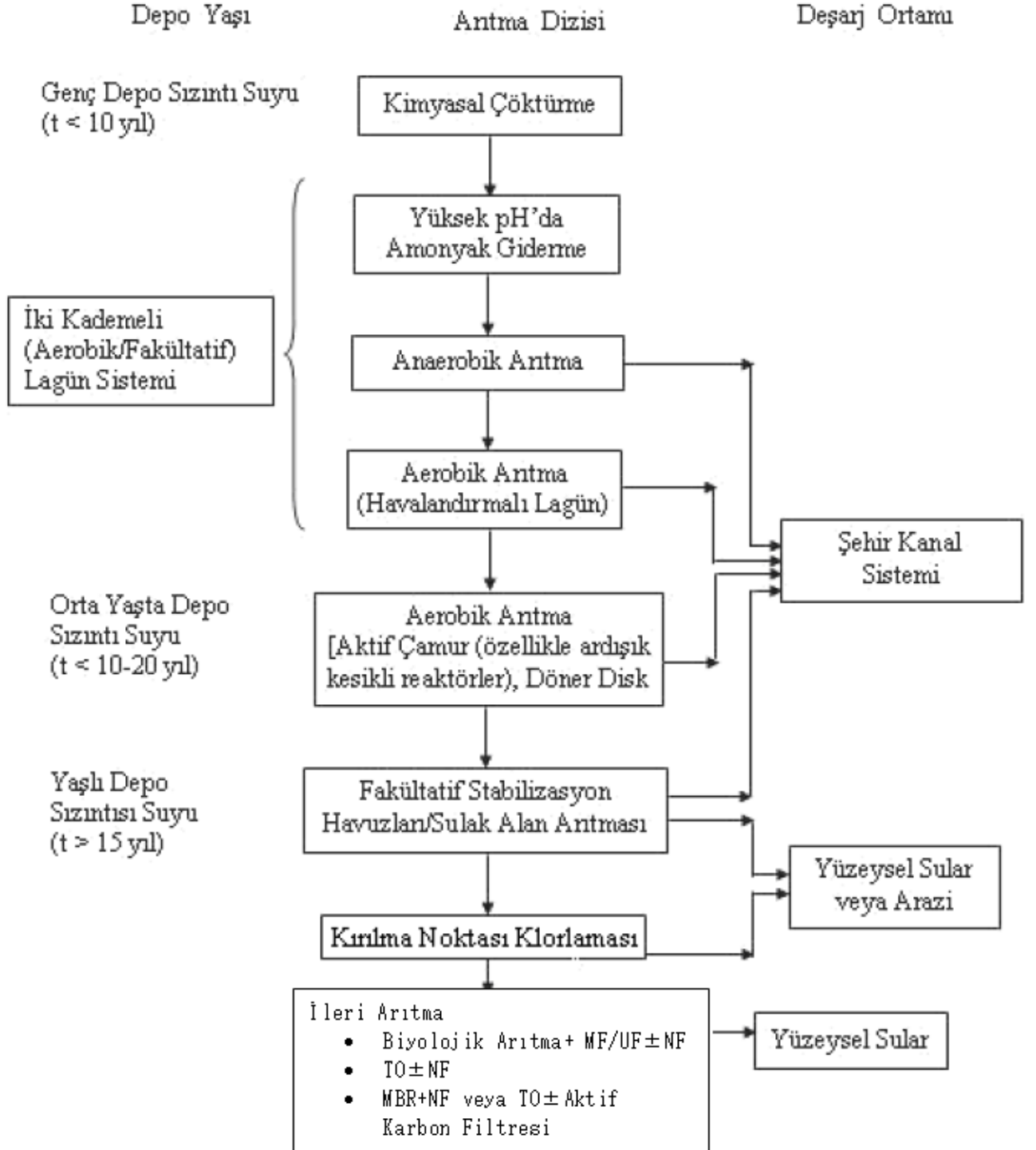


**Şekil 2-4** Alıcı ortama deşarj için genç depo sahası sızıntı suyu arıtma alternatifleri

Genç depolama sahası sızıntı sularının şehir kanal şebekesine deşarjı için ise genellikle biyolojik arıtma işlemlerinden oluşan arıtma sistemleri kullanılmaktadır. Bu durumda çoğu kez kanalizasyona deşarj limitlerinin sızıntı suları için özel protokolle belirlenmesi gerekmektedir.

Ön arıtım ile kanalizasyona veya nihai arıtım ile alıcı ortama deşarj maksadıyla kurulacak sızıntı suyu arıtım sistemleri pahalı sistemler olup özenle işletilmesini gerekir. Özellikle genç depo sahası sızıntı sularını arıtan tesislerde toplam azot deşarj standardını sağlanmak oldukça zordur. Bu yüzden sistem seçiminde belediyelerin mali gücü, kalifiye personel durumu ve bu tür bir arıtmayı sürdürüp sürdüremeyeceği göz önünde tutulmalıdır.

Katı atık depolama sahalarında oluşan sızıntı sularının arıtımı için kurulan arıtma tesisleri dünya genelinde incelendiğinde depo yaşı ve deşarj ortamına bağlı olarak uygulanabilecek arıtma sistemi Şekil 2-5’de verilmiştir (Öztürk, 2010). Dünya genelindeki sızıntı suyu arıtma uygulamalarının bir özeti Tablo 2-8’de topluca özetlenmiştir.



Şekil 2-5 Katı atık sızıntı sularına uygulanabilecek arıtma sistemleri ve arıtılmış su deşarj ortamları



**Tablo 2-8.** Dünya genelinde sızıntı suyu arıtma uygulamaları

TESİS	KAPASİTE (m <sup>3</sup> /g)	SİSTEM	KONUM	İŞLETMEYE ALINMA TARİHİ
Ljubljana SS Arıtma Tesisi	400	MBR	Ljubljana-Slovenya	2010
Ecoparque La Rioja	150	BIOMEMBRAT® (MBR)	Logroño-İspanya	2010
Lahn-Dill-Kreis SS Arıtma Tesisi	-	BIOMEMBRAT® + AK Adsorpsiyon	Asslar-Almanya	2010
Djebel Chékir,	120	Izgara+DAF Ünitesi +MBR	Tunus	2011
AWM	-	Ultrafiltration	Munich, Almanya	1998
Shangai DD Sahası	950	MBR	Çin	2009
Chi Minh City SS Arıtma Tesisi	1000	Ters Osmoz	Chi Minh City, Vietnam	2007
Mavrorahi DDS SS Arıtma Tesisi	324	Kimyasal Çöktürme+SBR +Ters Osmoz	Thessaloniki, Romanya	-
Fas Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi	-	Biyolojik Ön Arıtma+ Ters Osmoz	Fas	2008
Beacon Hill DD Sahası SS Arıtma Tesisi	60	MBR + NF	BeaconHill, İngiltere	2007
Ockendon DDS SS Arıtma Tesisi	200	Membrane Bio Reactor	Ockendon İngiltere	2006
Vortekzin SS Arıtma Tesisi	480	Ters Osmoz Membran Prosesi	Berlin Almanya	-
Natura SS Arıtma Tesisi	50	Yüksek basınçlı Ters Osmoz	İtalya	-
İhlenberg SS Arıtma Tesisi	1100	Ters Osmoz	İhlenberg, Almanya	-
Nent DD Sahası, SS Arıtma Tesisi	800	SBR Lagun	Hong Kong	1995
Buckden DD Sahası SS Arıtma Tesisi	200	Reed Bed +ozonlama	İngiltere	1995
Hempsted DDS Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi	700+280	Kapalı SBR	Hempsted, İngiltere	1995&1996
The Trecatti Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi	100	Havalandırmalı SBR	İngiltere	1995&1998
Arthurstown SS Arıtma Tesisi	300	SBR+ Aerobik Biyolojik Arıtım+ Reed Bed	Arthurstown, İrlanda	1998
Vissershok DDS SS Arıtma Tesisi	80	-	Cape Town, Güney Afrika	2003
Winterton DDS SS Arıtma Tesisi		Havalandırmalı Lagün	Humberside İngiltere	2007
Bukit Tagar SS Arıtma Tesisi	1000	Havalandırmalı Lagün+ Reed Bed	Kuala Lumpur, Malezya	2005
Niemark DDS , Almanya	350	2 Aşamalı Ters Osmoz	Almanya	1999
CSDU Pays des Graves,	72	2 Aşamalı Ters Osmoz +Lagun	Fransa	2004
Tondela DDS	140	2 Aşamalı Ters	Portekiz	2004

Tablo 2-8'in devamı

		Osmoz+ Geçirimli Lagün		
Mechernich SS Aritma Tesisi	65	Biyolojik Ön Arıtma+ Ters Osmoz	Cologne, Almanya	1994
Gärstad SS Aritma Tesisi	-	Havalandırmalı Lagün	Linköping, İsveç	1997
Izola SS Aritma Tesisi,	-	Lagün+reed bed	Izola Slovenya	1992
Fågelmöran SS Aritma Tesisi,	148	SBR	Borlänge, İsveç	1991
Bryn posteg SS Aritma Tesisi,	150	Havalandırmalı Lagün	Montgomery shire, Wales İngiltere	1983
Compton bassett SS Aritma Tesisi,	100	Havalandırmalı Lagün	Compton bassett, İngiltere	1985
Sonzay DDS SS Aritma Tesisi	72	MBR+Ters Osmoz	Fransa	2001
Mariannahill SS Aritma Tesisi,	30	SBR+Reed Bed	Kwazulu-Natal Güney Afrika	2004
Guangzhou xingfeng DDS SS Aritma Tesisi,	1700	SBR+CMF+ Ters Osmoz	Hong Kong	2002
Efford SS Aritma Tesisi,	150	SBR+Reed Bed	Hampshire,İngiltere	2003
Greengairs DDS SS Aritma Tesisi,	200	Havalandırmalı Lagün+ reed bed	Strathclyde, İskoçya	1991
Rebat SS Aritma Tesisi	120	Lagün+ Ters Osmoz	Portekiz	2001
Summerston SS Aritma Tesisi	-	Lagün+SBR	İngiltere	1990
Llanddulas ss Aritma Tesisi	150	SBR	İngiltere	2002
Arpley SS Aritma Tesisi	450	SBR+DAF+Reed Bed	İngiltere	2001
Pitsea SS Aritma Tesisi	-	RBC	İngiltere	1985
Harewood whin SS Aritma Tesisi	200	Lagün+SBR	İngiltere	1990
Fiskerton SS Aritma Tesisi	30	SBR	İngiltere	1992
Gairloch SS Aritma Tesisi	40	SBR	İngiltere	1993
Brookhill SS Aritma Tesisi	150	SBR	İngiltere	2001

### 2.3.2. Sızıntı Sularının Kentsel Atıksular ile Birlikte Arıtımı

Yerinde arıtımın mümkün olmadığı durumlarda herhangi bir ön arıtma uygulamaksızın veya kanalizasyona deşarj standartlarını sağlamak üzere gerekli ön arıtıma müteakip sızıntı sularının kentsel atıksuların kanalizasyon şebekesine verilmesi söz konusudur. Bu durumda sızıntı sularının kentsel atıksular arıtma tesisine getireceği ilave kirlilik yükleri dikkate alınmalıdır. Sızıntı suyunun kanalizasyon şebekesine ulaştırılması, basınçlı boru hattı veya tankerlerle taşımak suretiyle gerçekleştirilebilir. Her iki durumda da, düzenli depo sahasında asgari bir haftalık sızıntı suyunu depolayabilecek kapasitede (25 yılda bir beklenen 24 saat süreli yağış sonucu oluşacak sızıntı suyunu depolayacak hacimde), tercihen içten geçirimsiz geomembran ile kaplı bir biriktirme haznesi inşa edilmelidir.

Yapılan çalışmalar, sızıntı sularının kanalizasyona belirli bir noktadan veya arıtma tesisine doğrudan hacimsel olarak %2'yi aşmayacak şekilde verilmesi durumunda merkezi evsel atıksular arıtma tesislerini olumsuz olarak etkilemeyeceğini göstermiştir (Mc Bean vd., 1995). Bu sebeple, özellikle küçük ve orta büyüklükteki yerleşim yerlerinde katı atık depolama sahalarında oluşan sızıntı sularının, söz konusu orana kadar kanalizasyon şebekesine verilmesi düşünülebilir. Ancak sızıntı sularının bir ön arıtmadan geçirilerek kanala deşarj edilmesi daha çok kabul görür.

Sızıntı suyunun bir ön arıtıma tabi tutulmadan kanalizasyon sistemine verilmesi durumunda;

- Eysel atıksu arıtma tesisi hidrolik ve organik yük kapasitelerinin aşılması
- Arıtma prosesinin uygunluğu
- Havalandırma kapasitesinin yeterliliği
- Çamur arıtma ünitelerinin yeterliliği
- Arıtma çamurlarının nihai bertarf yöntemi
- Biyolojik çamurun çökelme özelliğinde bozulma gibi hususlar dikkate alınmalıdır.

### 2.3.3. Sızıntı Suyu Arıtma Tesislerinde Pompa, Ekipman ve Malzeme Seçimi

Sızıntı suyu arıtma tesislerinde, malzeme ve ekipmanlarda genellikle kışır (kabuk) oluşumu, paslanma, aşınma gibi problemler görülmektedir. Her atıksu arıtma tesisinde olduğu gibi sağlıklı bir işletme için sızıntı suyu karakteristiğine uygun malzeme ve ekipman tercihi oldukça önemlidir.

#### **Sızıntı Suyu Terfi Hattı**

Terfi istasyonlarında en sık karşılaşılan problemler, borularda tıkanma, havuzlarda çökelme, pompa vb. ekipmanların tahrip olması şeklindedir. Sızıntı suyu yönetiminde terfi hatlarının kesintiye uğramadan işletimi, arıtma tesisinin performansını doğrudan etkilemekte, bu nedenle terfi işlemlerinde uygulama açısından daha kolay ve uzun vadeli kullanılabilir ekipmanların tercih edilmesi gerekmektedir.

Sızıntı suyu terfi hatlarında kullanılacak ekipmanların özellikleri;

- Uzun ömürlü
- Esnek
- Uygulaması kolay (yükleme, taşıma, montaj ve demontaj)
- Kimyasallara karşı dirençli
- Paslanmaya karşı dirençli
- Dış ortamda kullanıma müsait ve
- Sızdırmazlık oranı yüksek malzemelerden seçilmesi gereklidir.

Sızıntı suyunun, arıtma tesisine ya da kanalizasyon sistemine iletiminde genellikle 'Yüksek Yoğunluklu Polietilen Borular' (HDPE) kullanılmaktadır. Malzeme özellikleri açısından değerlendirildiğinde HDPE boruların PVC ve demir malzemelerden daha avantajlı olduğu görülmektedir. Çeşitli boru malzemeleri Tablo 2-9'da kıyaslanmaktadır.

**Tablo 2-9** Sızıntı suyu iletimi için kullanılan boru malzemelerini

Malzeme	Esneklik	Dayanıklılık	Korozyon	Arazide uygulama kolaylığı	Kısa mesafede kullanım	Pompa vb. bağlantılarda kullanım	Maliyet (90 mm)
HDPE	+	+	+	+	+	+	Ucuz (13 TL/m)
PVC	-	-	+	-	+	-	Ucuz (8 TL/m)
Paslanmaz demir	-	+	-/+	-	+	+	Pahalı (25 TL/m)
PPRC	+	+	+	-	+	-	Pahalı (40 TL/m)

Sızıntı suyu iletiminde karşılaşılan en önemli sorunlardan biri sızıntı suyunun boruların yüzeyinde çökelmelere sebep olması ve dolayısıyla boru çaplarının zamanla daralmasıdır. Borulardaki tıkanma/çökelme problemi depolanmış atığın niteliğine ve örtü toprağının yapısına bağlı olarak değişir. Borulardaki su hızının az olması, sızıntı suyu içindeki çökelebilen katı maddelerin çökmesine imkan sağlamakta ve tıkanmalara sebep olmaktadır. Bu sebeple, borularda 1,2 m/sn'den az olmayacak şekilde bir akış hızı sağlanmalıdır.

Sistemin sürekliliği açısından sızıntı suyu terfi hatlarının yedekli olması önerilir. Yedek hat kullanılmayan tesislerde boru hatlarında tıkanma olması halinde, sızıntı suyu iletimi geçici olarak durdurulur.

Borularda oluşan tıkanmaların giderilmesi maksadıyla montaj-demontaj çalışmalarının pratik bir biçimde uygulanabilmesi için boru bağlantılarının flanşlı olması ve her 6/12 metrede bir flanş kullanılması faydalıdır.

**Manuel Temizleme;** Açılıp kurutulan borular dış kısımdan dövülür, kuruyan tortular sökülür ve iş makineleri yardımıyla boşaltılarak temizlenir.

**Kimyasal Temizleme;** Borulardaki tortunun sökülmesi ve temizlenmesi için hidroklorik asit veya bazı özel kimyasal maddeler de kullanılabilir. Bursa Hamitler Katı Atık Depo Sahasında oluşan sızıntı sularını arıtma tesisine taşıyan ana boru hidroklorik asit ile periyodik olarak yıkanmakta ve oluşan tortular temizlenmektedir.

#### **Terfi Pompası**

Depolama alanından drenaj boruları ile toplanan sızıntı suyu dengeleme havuzunda biriktirildikten sonra bir arıtma tesisine veya kanalizasyona iletilir. Dengeleme havuzu ile sızıntı suyunun iletileceği nokta arasında yer alan terfi hatlarındaki tıkanmanın önlenmesi için pompa seçimi oldukça önemlidir. Bunun için, pompanın konumu, pompa basma yüksekliği, borudaki su hızı, pompanın enerji verimliliği gibi hususlar dikkatle ele alınmalıdır.

Pompa bağlantısının sızıntı suyu dengeleme havuzunun yüzeyinden emiş yapacak şekilde olması, çökebilir malzemelerin pompaya zarar verme olasılığını azaltır. Bununla birlikte, havuzun belirli derinliklerinde açılan karotlarla pompa bağlantısı yapmak da mümkündür. Ancak çökelen katı maddeler işletme esnasında pompaya zarar verebilir. Bu yöntem, iyi bir ön çöktürmenin yapıldığı durumlarda uygulanabilir. Ancak her durumda yüzeyden emme-basma daha uygundur. Sızıntı sularının korozif etkisi yüksek olduğu için kullanılacak terfi pompalarında pahalı olmakla birlikte paslanmaz çelik malzeme tercih edilmez. Arızalanma durumu düşünülerek tesiste yedek bir pompa bulundurulmalıdır.

#### **Diğer Ekipmanlar**

Sızıntı suyu arıtma tesislerinde kullanılacak malzemelerin korozif sızıntı suyuna uygun olması sağlıklı bir işletme için oldukça önemlidir. Sızıntı suyuna dayanıklı ekipmanların tercih edilmesi ilk yatırım maliyetini artırsa da, işletmenin sürdürülebilirliği ve ekonomik olması açısından daha uygundur.

Sızıntı suyuna maruz kalan yüzeylerin ve boru, korkuluk, iskele vb. gibi elemanların paslanmaz çelik, daldırma galvaniz veya benzeri malzemelerden seçilmesi önerilir. Özellikle havuz korkulukları gibi yoğun korozyona maruz kalan ve emniyet açısından çok önemli yapılarda dayanıklı malzemeler tercih edilmelidir.

#### **2.3.4. Ekonomik Analiz**

Sızıntı suyu arıtma tesislerinin işletme ve yatırım maliyetleri, sızıntı suyu karakteristiğine, miktarına, arıtma ihtiyacı ve verimine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Örneğin havalı biyolojik arıtma sistemlerinde organik madde giderimine ilave olarak amonyak azotu da giderilecekse daha fazla oksijene gereksinim duyurulur. Bu sebeple arıtma sisteminin havlandırma dolayısıyla enerji ihtiyacı artar. Avrupa'da bulunan bir kaç örnek sızıntı suyu arıtma tesisi ve bunlara ait yatırım ve işletme maliyet bilgileri incelenmiş, aşağıda sunulmuştur.

İngiltere'de iki farklı sızıntı suyu arıtma tesisi için yapılan ekonomik analiz Tablo 2-10'da verilmiştir.

1. Tesis sızıntı suyu özellikleri: 400 m<sup>3</sup>/gün, 6000 mg/L KOİ, 250 mg/L AKM
2. Tesis sızıntı suyu özellikleri: 60 m<sup>3</sup>/gün, 150 mg/L KOİ, 90 mg/L AKM

**Tablo 2-10** İki farklı sızıntı suyu arıtma tesisinin maliyet açısından karşılaştırılması (EA-UK, 2007)

Arıtma Metodu	Yatırım Maliyeti (GBP)		İşletme Maliyeti (GBP) (işletme+bakım+taşıma+deşarj)	
	1. Tesis	2. Tesis	1. Tesis	2. Tesis
Tankerle taşıma ve atıksu arıtma tesisinde arıtım	-	-	17,50(15+2,5)	
Hava ile sıyırma-Metan Uçurma (kanala bağlantı ve arıtma bedeli dâhil) <sup>1</sup>	300.000	100.000	3,10 (0,60+2,5)	0,98 (0,60+0,38)
Ardışık kesikli reaktör + kanalizasyon <sup>2</sup>	1.000.000	250.000	1,72 (0,80+0,92)	1,15 (0,80+0,35)
Ardışık kesikli reaktör + Flotasyon + yapay sulak alan + Alıcı Ortama Deşarj <sup>3</sup>	1.500.000	400.000		1,50 <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Metan sıyırma, işlemi ile sadece Metan limitleri elde edilebilmekte KOİ ve AKM giderimi gerçekleşmemektedir.

<sup>2</sup> 1. Tesiste KOİ 1500 mg/L AKM 250 mg/L'ye indirilmekte 2.Tesiste KOİ 42 mg/l ye AKM 90 mg/l'ye indirilmekte

<sup>3</sup> KOİ 650 mg/l, AKM 45 mg/l, BOİ 30 mg/l'ye 'ye indirilmekte.

<sup>4</sup> Bu değer 0,75-5,50 GBP arasında değişmektedir. Arıtma maliyeti istenilen amonyak giderim verimine bağlı olarak değişmektedir.

Tablo 2-11'de Almanya Freiburg ve İspanya Bilbao'da bulunan membran biyoreaktör tipi 2 sızıntı suyu arıtma tesisinin işletme ve toplam yatırım maliyetleri verilmektedir. Almanya Freiburg'da bulunan sızıntı suyu arıtma tesisi ortalama % 40 KOİ ve % 80 Azot giderimi ile çalışmaktadır.

**Tablo 2-11** Membran biyoreaktör tipi 2 sızıntı suyu arıtma tesisinin işletme ve toplam yatırım maliyetleri (Robinson, 2005)

	Freiburg, Almanya	Bilbao, İspanya
Arıtma Prosesi	Membran Biyoreaktör	Membran Biyoreaktör
Membran Türü	lo-flo sidestream	Sidestream
Debi, m <sup>3</sup> /yıl	41.610	6.244.150
Debi, m <sup>3</sup> /gün	120	1.800
Membran Alanı, m <sup>2</sup>	88	700
Akı (yıllık ortalama), l/m <sup>2</sup>	54	102
Akı (günlük ortalama), l/m <sup>2</sup>	57	107
Membran Birim Maliyeti, Euro/m <sup>2</sup>	220	270
Membran Maliyeti, Euro	19.360	189.000
Membran Ömrü, yıl	6	4
Membran Değişim, Euro/yıl	3.227	47.250
Enerji Tüketimi, kWh/m <sup>3</sup>	3	5
Enerji birim Maliyeti, Euro/kWh	0,01	0,06
Toplam Enerji Maliyeti, Euro/yıl	7.490	187.245
Toplam İşletme Maliyeti, Euro/yıl	10.716	234.495
İşletme Birim Maliyeti, Euro/m <sup>3</sup>	0,26	0,38
Toplam Yatırım Maliyeti, Membran + İnşaat, Euro	510.000	3.100.000

Giriş debisi 4 m<sup>3</sup>/saat olan membran biyoreaktör tipi bir sızıntı suyu arıtma tesisi için farklı KOİ ve amonyak azotu giriş değerleri dikkate alınarak hesaplanan enerji tüketim değerleri Tablo 2-12'de verilmektedir.

**Tablo 2-12** Membran biyoreaktör sızıntı suyu arıtma tesisi enerji tüketimi (Robinson, 2006)

KOİ (mg/L)	NH <sub>4</sub> -N(mg/L)	Havalandırma için gereken enerji, kWh	Ultrafiltrasyon için gereken enerji, kWh	Toplam Enerji, kWh
3000	1000	12	6	18
5000	2000	21.6	6	27.6
7000	3000	31.2	6	37.2

1994 yılında Almanya'daki kapasiteleri 11.000 ile 64.000 m<sup>3</sup>/yıl olan yedi sızıntı suyu tesisi incelenmiş ve toplam yatırım ve işletme maliyeti 9-30 Euro/m<sup>3</sup> sızıntı suyu bulunmuştur (Heyer ve Stegmann, 2002). Elde edilen sonuçlar Tablo 2-13'de özet olarak verilmiştir.

**Tablo 2-13** Almanya'daki tesislerde kapasiteye bağlı sızıntı suyu arıtma maliyetleri (Heyer ve Stegmann, 2002)

Prosesler	Kapasitesi <10 m <sup>3</sup> /sa olan tesisler için maliyet (Euro/m <sup>3</sup> )	Kapasitesi >10 m <sup>3</sup> /sa olan tesisler için maliyet (Euro/m <sup>3</sup> )
Membran biyoreaktör	9 - 30	7 - 15
Biyolojik + Kimyasal oksidasyon	12 - 50	9 - 30
Biyolojik + Aktif karbon	2 - 25	1 - 10
Biyolojik + Koagülasyon/Flokülasyon	2 - 30	2 - 15
Biyolojik + Ters Ozmos	5 - 25	2 - 7
Buharlaştırma		6

### 2.3.5. Sızıntı Suları ile İlgili Deşarj Standartları

#### Türkiye'de Uygulanan Deşarj Standartları

Türkiye'de sızıntı sularının deşarjı için iki farklı standart söz konusudur. Bunlar;

- Şehir atıksu kanal şebekesine (kanalizasyona) deşarj standardı ve
- Alıcı su ortama deşarj standardıdır

Sızıntı sularının ön arıtmayı müteakip şehir atıksu kanal şebekesine deşarjı için Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (2004, Değişik R.G.-13/2/2008-26786) Tablo 25'de belirtilen 'Atıksuların atıksu altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartları' **uygulanır**. Bu değerler Tablo 2-14'de verilmiştir. Kanal şebekesine deşarj limitleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ndeki değerlerden düşük olan İSKİ, BUSKİ vb. su ve kanalizasyon idareleri, sızıntı suları için özel protokollerle deşarj limitleri belirlemektedir.

**Tablo 2-14** Sızıntı sularının ön arıtmayı müteakip şehir atıksu kanal şebekesine deşarjı için uygulanan standartlar (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 25)

Parametre	Kanalizasyon sistemleri tam arıtma ile sonuçlanan atıksu altyapı tesislerinde	Kanalizasyon sistemleri derin deniz deşarjı ile sonuçlanan atıksu altyapı tesislerinde
Sıcaklık (°C)	40	40
pH	6.5-10.0	6.0-10.0
Askıda katı madde (mg/L)	500	350
Yağ ve gres (mg/L)	250	50
Katran ve petrol kökenli yağlar (mg/L)	50	10
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	4000 (İSKİ-1000)	600
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ <sub>5</sub> ) (mg/L)	-	400
Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) (mg/L)	1700	1700
Toplam sülfür (S) (mg/L)	2	2
Fenol (mg/L)	20	10
Serbest klor (mg/L)	5	5

Tablo 2-14'ün devamı

Toplam azot (N) (mg/L)	- (a)	40
Toplam fosfor (P) (mg/L)	- (a)	10
Arsenik (As) (mg/L)	3	10
Toplam siyanür (Toplam CN <sup>-</sup> ) (mg/L)	10	10
Toplam kurşun (Pb) (mg/L)	3	3
Toplam kadmiyum (Cd) (mg/L)	2	2
Toplam krom (Cr) (mg/L)	5	5
Toplam civa (Hg) (mg/L)	0.2	0.2
Toplam bakır (Cu) (mg/L)	2	2
Toplam nikel (Ni) (mg/L)	5	5
Toplam çinko (Zn) (mg/L)	10	10
Toplam kalay (Sn) (mg/L)	5	5
Toplam gümüş (Ag) (mg/L)	5	5
Cl <sup>-</sup> (Klorür) (mg/L)	10000	-
Metilen mavisi ile reaksiyon veren yüzey aktif maddeleri (MBAS) (mg/L)	Biyolojik olarak parçalanması Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır.	

a) Bu parametrelere atıksu değerlendirilmesinde bakılmayacaktır.

b) Bünyesinde %2'den fazla inert KOİ içeren ve toplam KOİ değeri 5000 mg/L den fazla olan kuvvetli organik atıksular için KOİ yerine BOİ<sub>5</sub> değeri esas alınır.

Katı atık depo sahası sızıntı sularının alıcı ortama (yüzeysel sularına) deşarjı için Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Değişik R.G.-13/02/2008-26786) Tablo 20.6'da Katı Artık Değerlendirme ve Bertaraf Tesisleri için öngörülen limitler uygulanır. Bu değerler Tablo 2-15'te verilmiştir.

**Tablo 2-15** Katı artık değerlendirme ve bertaraf tesislerinden kaynaklanan sızıntı sularının alıcı ortama deşarj standartları (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 20.6, Değişik R.G.-13/02/2008-26786)

PARAMETRE	BİRİM	Kompozit Numune	
		2 Saatlik	24 Saatlik
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	700	500
TOPLAM KJELDAHL-AZOTU	(mg/L)	20	15
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	200	100
YAĞ VE GRES	(mg/L)	20	10
TOPLAM FOSFOR (P)	(mg/L)	2	1
TOPLAM KROM	(mg/L)	2	1
KROM (Cr <sup>+6</sup> )	(mg/L)	0.5	0.5
KURŞUN (Pb)	(mg/L)	2	1
TOPLAM SİYANÜR (CN <sup>-</sup> )	(mg/L)	1	0.5
KADMIYUM (Cd)	(mg/L)	0.1	-
DEMİR (Fe)	(mg/L)	10	-
FLORÜR (F <sup>-</sup> )	(mg/L)	15	-
BAKIR (Cu)	(mg/L)	3	-
ÇİNKO (Zn)	(mg/L)	5	-
BALIK BİYODENEYİ (ZSF)	-	10	-
pH	-	6-9	6-9

### ***Diğer Ülkelerde Uygulanan Deşarj Standartları***

Avrupa Birliği direktiflerinde ham veya arıtılmış sızıntı suyu için belirlenmiş herhangi bir deşarj standardı yoktur. Bazı üye ülkeler kendi belirledikleri özel deşarj standartlarını uygulurlar. Almanya'da Tablo 2-16'da verilen sızıntı suları için belirlenmiş özel deşarj standartları uygulanmaktadır.

**Tablo 2-16** Almanya'da uygulanan sızıntı suyu deşarj standartları (Heyer ve Stegmann, 2002)

Parametre	Sınır değerler
KOİ, mg/l	200
BOİ <sub>5</sub> , mg/l	20
N <sub>total</sub> , mg/l	70
P <sub>total</sub> , mg/l	3
Hidrokarbonlar, mg/l	10
N-NO <sub>2</sub> , mg/l	2
AOX, mg/l	0,5
Hg, mg/l	0,05
Cd, mg/l	0,1
Cr, mg/l	0,5
Cr <sup>4</sup> , mg/l	0,1
Ni, mg/l	1,0
Pb, mg/l	0,5
Ca, mg/l	0,5
Zn, mg/l	2,0
Siyanür, mg/l	0,2
Sülfür bileşikleri	1,0



### 3 SIZINTI SUYU YÖNETİMİ ve MİKTARININ AZALTILMASINA YÖNELİK ÖNLEMLER

#### 3.1 Atık Doldurma Tekniği

Katı atıkların düzenli depolama yoluyla bertarafında çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bunlar; Hendek metodu, Alan metodu ve Hücreleme metodu şeklindedir.

Hendek metodu, yer altı suyu seviyesinin yüksek olduğu alanlarda az miktarda atık depolanacağından ve doldurulacak atık hacmi kadar kazı yapılacağından çok ekonomik bir yöntem değildir.

Alan metodu daha çok doğal çukurlarda uygulandığından aşırı miktarda sızıntı suyu oluşmaktadır. Ayrıca işletilmesinde kontrolün çok zor olması sebebiyle alan metodu da tercih edilen bir yöntem değildir.

Hücre metodunda katı atıklar daha önceden hazırlanmış, alanlara depolanır. Özellikle son yıllarda, ekonomik ve emniyetli olması sebebiyle, hücre metodunun kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır.

Hücreleme metodu, genellikle atıkların dolgu eğiminin yukarısına doğru (rampa yönetimi) itilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Bu dolgu yöntemi atığın mümkün olan en iyi biçimde sıkıştırılmasını sağlayacaktır. Ancak, ülkemizde atığın nem muhtevasının yüksek oluşu nedeni ile serme işlemi atıkların aşağı doğru serilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Atığın serilmesinin yanı sıra uygun sıkıştırma yapılarak depo sahasının daha stabil ve saha ömrünün maksimum seviyede kullanımı sağlanmalıdır (Şekil 3-1).

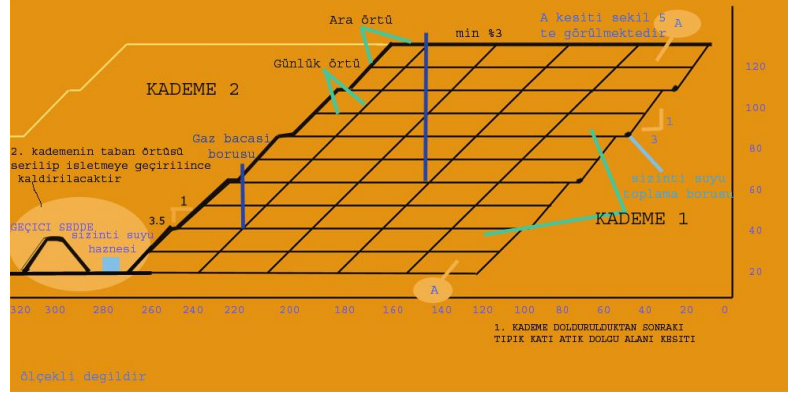
#### 3.2 Depo Sahası İşletimi ve Yağış Kontrolü

Yağış, depolama sahalarında sızıntı suyu miktarına etki eden kaynakların başında yer almaktadır. Atık miktarına bağlı olarak çalışılan atık depolama alanı (lot) daha küçük seçilmeli ve depolama alanı çevresi etkin bir drenaj sistemi ile yönetilmelidir (Şekil 3-2).

Depolama Sahasında mümkün olduğunca küçük alanlarda atık depolama işleminin yapılması, daha az yağmur suyunun saha içerisinden süzülerek sızıntı suyu toplama havuzlarına ulaşmasını sağlayacaktır. Bu nedenle, hücrelerin büyüklüğü sahaya gelen atık miktarına bağlı olarak yüzey alanının minimum düzeyde kalmasını sağlayacak şekilde seçilmelidir. Bu kapsamda, depolama yapılmayan açık alanların geçici bir sedde ile ayrılması ve bu bölgeye gelen yağmur sularının depo sahası dışına tahliye edilmesi gerekmektedir.

Henüz döküm yapılmamış kısımlardan gelebilecek yağmur suları, yeteri kadar yükseklikte sedde/ bariyer yapılmak suretiyle, toplanarak sızıntı suyuna karışması engellenmiş olur.

Depolama işleminde şev stabilitesinin uygun eğimle (1/3) yapılması yağışın yüzeyde kalma süresini azaltarak saha içerisine daha az su girmesine yardımcı olacaktır. Bu nedenle, ara örtü, günlük örtü ve şev stabilitesinin tekniğine uygun olarak yapılması gerekmektedir.



**Şekil 3-1** Atık doldurma tekniği



**Şekil 3-2** Depolama sahası drenaj uygulaması

İşletme esnasında atıkların serilmesi ve sıkıştırılması tabaka kalınlığı yaklaşık 5 m kalınlığa ulaşmaya kadar sürdürülür. Atıklar planlanan hücre yüksekliğine ulaştığında bir ara örtü oluşturmak için 15 cm'lik ek bir toprak örtüsü serilmelidir (Şekil 3-3). Ara örtü 30 cm kalınlığında ve en az bir ay üzerine atık boşaltılamayacak



alanlarda oluşturulur.

**Şekil 3-3** Geçici örtü

Yüzeysel suların toplanarak depo dışına tahliyesinde çevre hendekleri açılarak yüzeysel suyu drenajı yapılmalıdır (Şekil 3-4 ve Şekil 3-5).

### 3.3 Nihai Kapama

Atık yüksekliği işletme planında belirtilen maksimum yüksekliğe ulaştığında atığın üzerine 30 -50 cm lik bir ara örtü serilebilir. Bu tabakanın üst eğimleri %5 ile %15 arasında olacak şekilde yapılmalıdır.

- Tasarım tesviyesi gerçekleştirildiğinde, 25 cm kalınlığında iki tabaka halinde olacak şekilde mineral geçirimsizlik tabakası teşkil edilir.
- Drenaj tabakasının geçirgenliği en az  $1 \times 10^{-4}$  m/sn olmalıdır.
- Mineral tabaka üzerine yeşil alanların oluşturulmasına olanak sağlayacak kalitede ve bitki türüne bağlı olarak en az 50 cm üst örtü toprağı serilmesi gerekmektedir.



Şekil 3-4 Depolama sahası yüzey suyu drenajı



Şekil 3-5 Nihai kapama ve yağış sularının kontrolü

### 3.4 Sızıntı Suyu Geri Devir Uygulamaları

Sızıntı suyunun depolama alanına geri devri sıklıkla uygulanan bir yöntemdir. Atığın stabilizasyonu sağlanarak sızıntı suyu kirlenici yükü ve miktarı azaltılabilir. Sızıntı suyu geri devir uygulamalarında sızıntı suyu stabilizasyonunun yanı sıra depolama sahasındaki atığın ayrışmasına yardımcı olarak biyogaz üretiminde artış sağlanmaktadır. Ancak, işletilmekte olan açık alanlarda geri devir yapılması işletme açısından uygun değildir. Geri devir işlemi atık muhtevası ve depolama alanı bölgesel iklim özelliklerine bağlı olarak yapılabilmektedir. Sıcak hava koşullarının yaşandığı bölgelerde, yağış olmayan dönemlerde geri devir yapılabilmekte ancak yağışlı dönemlerde özellikle kış aylarında artan sızıntı suyu miktarı nedeniyle, taşıma ya da kanala deşarj şeklinde kontrol edilebilmektedir. Bu durum, ülkemizde bazı bölgelerde geri devir yönteminden mevsimsel olarak faydalanılabileceğini ancak sürdürülebilir bir arıtma/kontrol metodu olmayacağını göstermektedir. Yapılan çalışmalarda, kış aylarında depolama alanlarında sızıntı suyu geri devrinin sınırlı oranlarda yapılabildiği ve sürekli olarak uygulanmadığı görülmüştür. Sızıntı suyunun, depo sahaslarında depo gazından enerji üretim sürecine geçilmesi ile özellikle 1-2 yıl süreyle depo sahasına geri devri mümkün görünmemektedir. Hatta bu süreçte bacalarda bulunan sızıntı suyunun da tahliye edilmesi söz konusu olacağından, depo sahasına geri devrin aksine depolama alanı dışına daha fazla sızıntı suyu deşarjı ihtimali söz konusu olacaktır.



## 4 TÜRKİYE’DE SIZINTI SUYU YÖNETİMİ

### 4.1 Mevcut Durum

Depolama sahalarına kabul edilen atıkların özelliklerine bağlı olarak oluşacak sızıntı suyu miktar ve özellikleri değişkenlik göstermektedir. Kaynağında ayırma yapılan ülkelerde, depolama sahalarında oluşan sızıntı suyu karakteristiği incelendiğinde, ülkemizde oluşan sızıntı suyu karakteristiğinden farklı ve daha az miktarda oluşabilmektedir.

Sızıntı suyu arıtımına etki eden faktörler;

- Sızıntı Suyu Karakteristiği
- Deşarj Standartları/Yasal Mevzuat
- Arıtılabilirlik
- İşletme
- Maliyet

Ülkemizde sızıntı suyu arıtımına yönelik çalışmalar yapılmış, özellikle İstanbul, Bursa, Trabzon gibi büyükşehirlerde arıtma tesisleri inşa edilmiştir. Sızıntı suyunun, merkezi atıksu arıtma tesisi ve iletim hatlarında oluşturacağı problemler, bununla birlikte taşıma bedeli ile arıtma maliyetleri dikkate alındığında, sızıntı sularının yerinde arıtımının, çevresel ve ekonomik açıdan daha avantajlı olduğu görülmektedir

Kanalizasyon sistemlerinde çöp sızıntı suyundan kaynaklı koku, çökelme, tıkanma vb olumsuzlukların engellenebilmesi için sızıntı suyunun en azından Ön Arıtmaya tabi tutulması gerekmektedir. Ön arıtma ile sızıntı suyunda sertlik, AKM, KOİ konsantrasyonlarının azaltılarak kanalizasyon hattına ve atıksu arıtma tesisine daha az ve dengeli yük verme imkânı sağlanabilecektir. Sızıntı suyunun yerinde arıtımı birçok ülkede uygulanmakta ve deşarj limitleri istenen seviyeler ulaştırılabilmektedir.

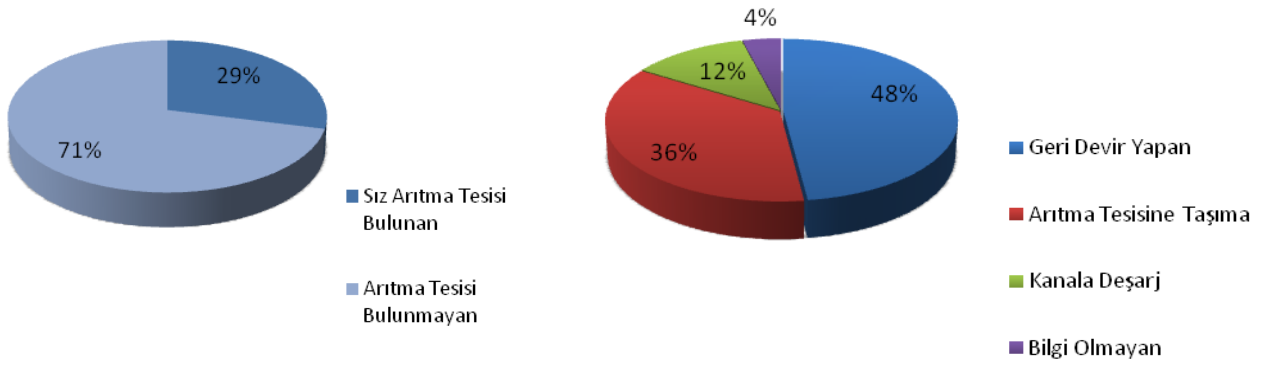
Türkiye’de 38 adet düzenli depolama sahası bulunmakta ve bunların sadece 11 tanesinde sızıntı suyu arıtma tesisi bulunmaktadır (Şekil 4-1 ve Şekil 4-2). İki ilde ise sızıntı suyu arıtma tesisi yapım ve ihale aşamalarında. Sızıntı suyu arıtımı gerçekleştiren iller Şekil 4-1’de koyu renkle gösterilmiştir (Yapım ve ihale aşamalarında olan Samsun ve Sinop’ta haritada gösterilmektedir).



Şekil 4-1 Türkiye’de sızıntı suyu arıtma tesisi bulunan illerin haritada gösterimi

Komisyon çalışmaları neticesinde sızıntı suyu arıtma tesisi bulunmayan birçok düzenli depolama sahalarında (%48) sızıntı suyu probleminin geri devir ile çözülmeye çalışıldığı görülmektedir. Ayrıca sızıntı suyu arıtma tesisi bulunmayan depo sahalarının önemli bir kısmında (%36) sızıntı suyu merkezi atık su arıtma tesisine taşınmaktadır. Sızıntı suyu arıtımının gerçekleştirildiği Erzurum ve Kuşadası Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında ters ozmos sistemleri sızıntı suyu arıtımında kullanılmakta olup, bu sistem Samsun Katı Atık Düzenli Depo Sahasında yapım aşamasındadır. Trabzon, İstanbul Odayeri ve İstanbul Kömürcüoda Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında ise membran biyoreaktör (MBR) ve sonuna Nanofiltrasyon sistemleri kullanılmaktadır.

Antalya ve Çanakkale depo sahalarında ise anaerobik ve aerobik sistemler sızıntı suyu arıtımı için tercih edilmiştir. Bursa'da işletimde olan ve Sinop'ta ihale aşamasında olan arıtma tesislerinde aerobik, fakültatif lagün ve AKR sistemleri kullanılmıştır. Didim, Marmaris ve Kocaeli Solaklar 'da bulunan depo sahalarında ise sızıntı suyu kimyasal arıtıma tabi tutulmaktadır.



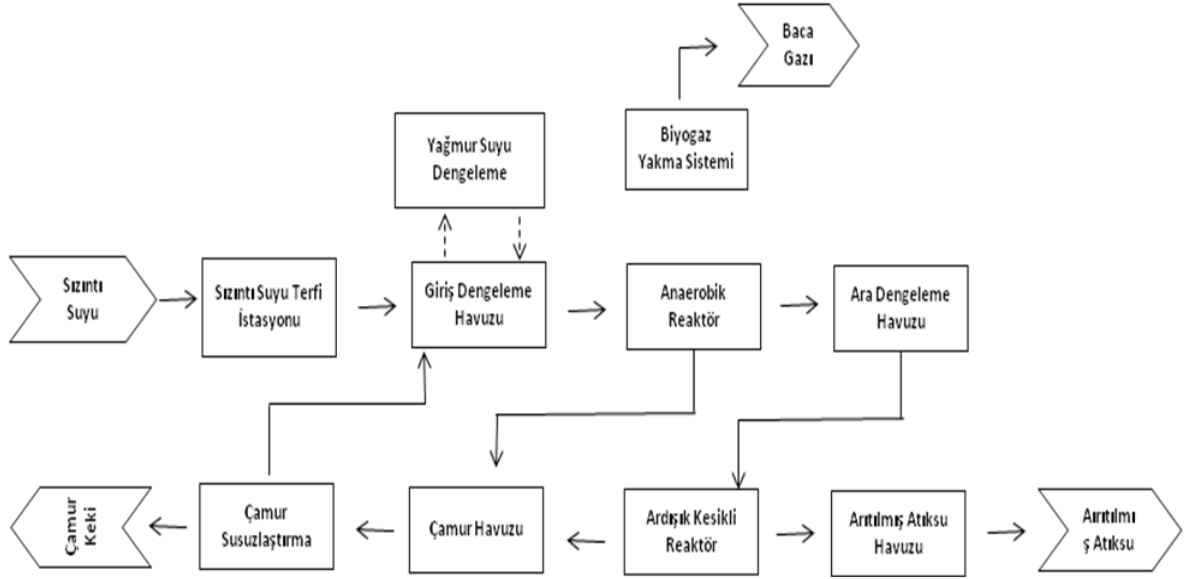
**Şekil 4-2** Türkiye'de düzenli depolama yapılan sahalarda sızıntı suyu yönetimi

## 4.2 Sızıntı Suyu Arıtma Tesisleri

Proje ömrü 2029 yılına kadar tasarlanan, Antalya Büyük Şehir Belediyesine bağlı Antalya Kızıllı Katı Atık Düzenli Depo Sahası 17.10.2003 tarihinde işletime açılmıştır. Depo sahasında oluşan sızıntı suları HDPE kaplı lagünde toplanıp sızıntı suyu arıtma tesisine gönderilmektedir. 2009 yılında deneme çalışmasına başlanan sızıntı suyu arıtma tesisi ortalama 250-300 m<sup>3</sup>/gün sızıntı suyu arıtımı yapmaktadır. Tablo 4-1'de tasarım kriterleri, sızıntı suyu arıtma tesisinin akım şeması Şekil 4-3'de gösterilmiştir. Arıtılan sızıntı suları Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Kanalizasyon Şebekesi Deşarj Standartlarına göre deşarj edilmektedir.

**Tablo 4-1** Antalya KADDS Sızıntı suyu arıtma tesisi tasarım kriterleri

Ortalama Debi	200 m <sup>3</sup> /gün
BOI <sub>5</sub>	40.000 mg/L
KOI	50.000 mg/L
TKN	3.000 mg/L
AKM	1.500 mg/L

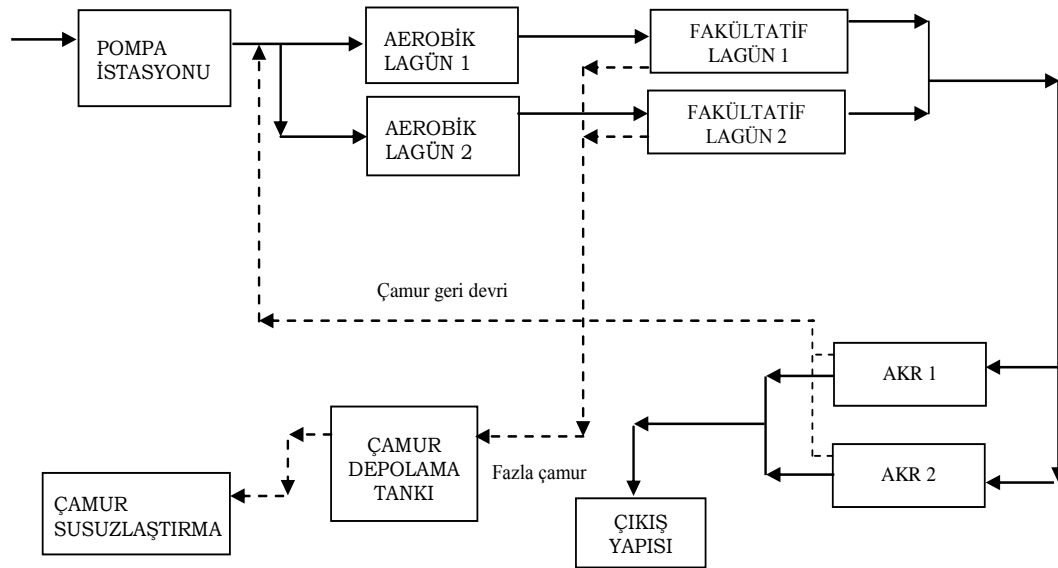


**Şekil 4-3** Antalya Kızıllı Katı Atık Düzenli Depo Sahası sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması

Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı'na bağlı Bursa Hamitler Katı Atık Düzenli Depo Sahası 08.01.1995 tarihinde işleme alınmıştır. 2025 yılına kadar işletimde kalması tasarlanan depo sahasında oluşan sızıntı suları BUSKİ Genel Müdürlüğü'ne bağlı sızıntı suyu arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra BUSKİ kanalizasyon hattına deşarj edilmektedir. Arıtma tesisi tasarım kriterleri Tablo 4-2'de, arıtma tesisi akım şeması Şekil 4-4'de gösterilmiştir.

**Tablo 4-2** Bursa Hamitler KADDS arıtma tesisi tasarım kriterleri

Ortalama Debi	500 m <sup>3</sup> /gün
BOI <sub>5</sub>	15.000 mg/L
KOI	30.000 mg/L
AKM	1.500 mg/L
KOI çıkış değeri	<3000 mg/L

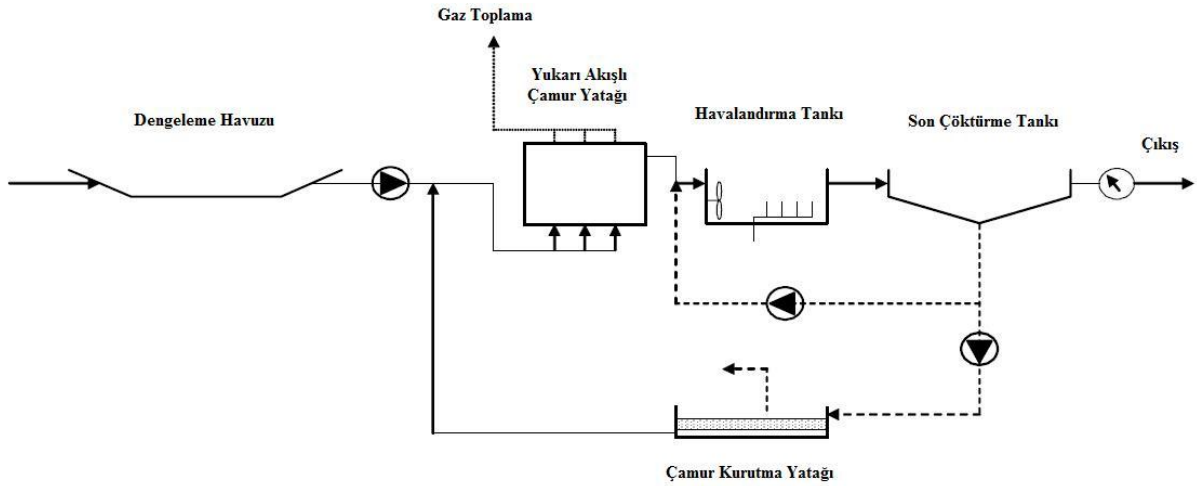


**Şekil 4-4** Bursa Hamitler Katı Atık Düzenli Depo Sahası sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması

Çanakkale Katı Atık Yönetim Birliği tarafından işletilen Çanakkale Katı Atık Düzenli Depolama Sahası 17.08.2009 tarihinde işleme alınmıştır. Depo sahasının proje ömrü 20 yıl olarak tasarlanmıştır. Depo sahasında, anaerobik ve sonrasında havalandırma tanklardan oluşan sızıntı suyu arıtma tesisi bulunmaktadır. Oluşan sızıntı suları bu arıtma tesisinde ön arıtıma tabi tutulduktan sonra Kepez Atık Su Arıtma Tesislerine gönderilmektedir. Tesis tasarım kriterleri Tablo 4-3'de, sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması Şekil 4-5'de gösterilmiştir.

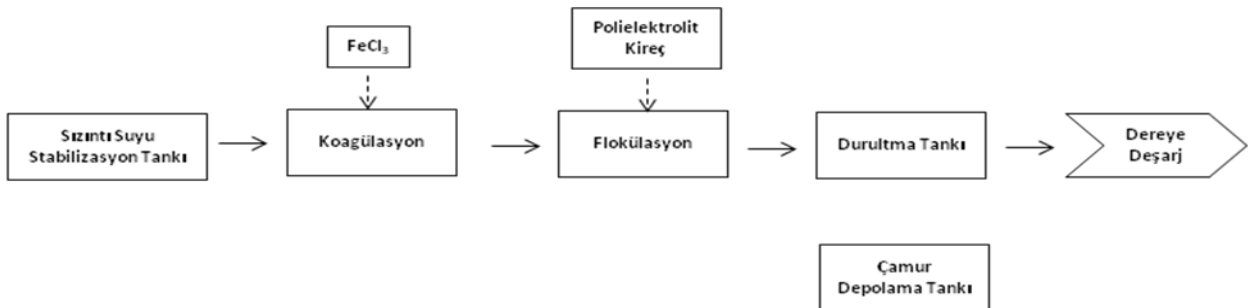
**Tablo 4-3** Çanakkale KADDS Sızıntı suyu arıtma tesisi tasarım kriterleri

Ortalama Debi	45m <sup>3</sup> /gün
BOI <sub>5</sub>	8.137 mg/L
KOI	11.487mg/L
AKM	1.000 mg/L
Toplam N	600 mg/L
KOI çıkış değeri	<4000 mg/L
AKM çıkış değeri	<500 mg/L



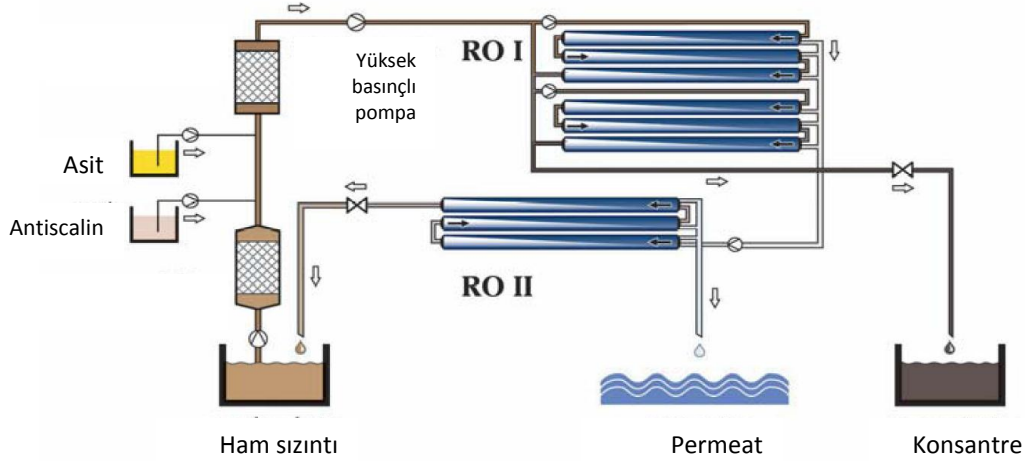
**Şekil 4-5** Çanakkale Katı Atık Düzenli Depo Sahası sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması

Aydın ili Didim Belediyesi'ne bağlı Didim Katı Atık Düzenli Depo Sahası ilk kez 26.12.2006 tarihinde atık kabul etmeye başlamıştır. Öngörülen proje ömrü 30 yıl olan depo sahasında sızıntı suyu, arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra dereye deşarj edilmektedir. Tesis akım şeması Şekil 4-6'da gösterilmiştir. Arıtma tesisi giriş ve çıkış değerleri hakkında net bir bilgi bulunmamaktadır.



**Şekil 4-6** Didim Katı Atık Düzenli Depo Sahası sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması

Erzurum Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı Erzurum Katı Atık Düzenli Depo Sahası 05.05.2008 yılından atık kabulüne başlamış olup öngörülen proje ömrü 20 yıl olarak tasarlanmıştır. Ortalama 50 m<sup>3</sup>/gün sızıntı suyunun olduğu depo sahasında, ters ozmos arıtma ünitesinden oluşan sızıntı suyu arıtma tesisi bulunmaktadır (Şekil 4-7). 2009 yılında yapılan analiz sonuçlarına göre, sızıntı suyunun KOİ, TKN, AKM değerleri sırası ile 24.950 mg/L, 1065 mg/L, 1380 mg/L olarak ölçülmüştür. Arıtma tesisine giren sızıntı suyunun %25'i konsantre olarak tesisi terk etmekte ve katı atık kütlesi üzerine geri devir edilmektedir.



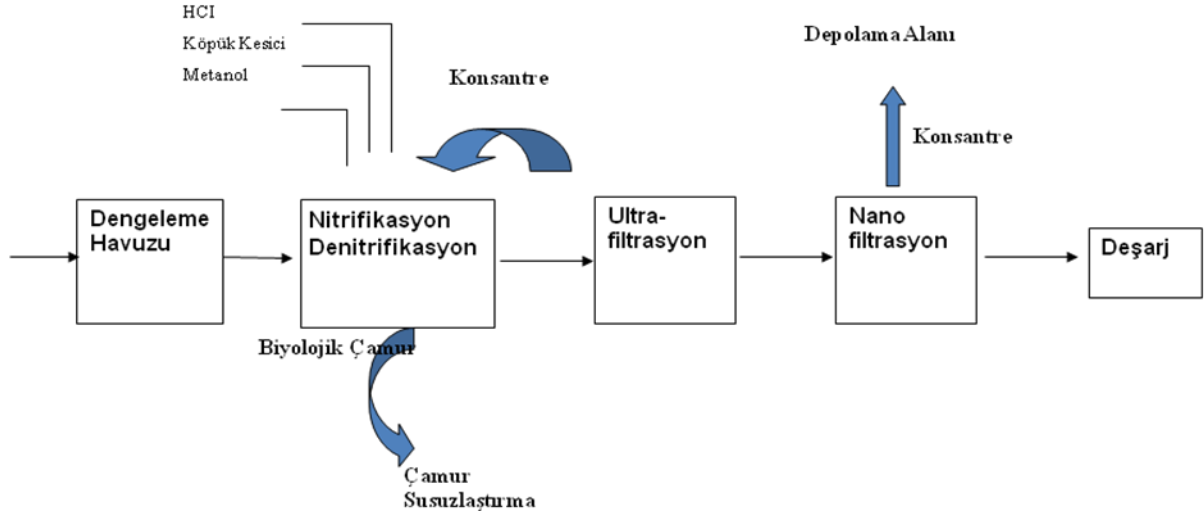
**Şekil 4-7** Erzurum KADDS sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması

İstanbul Büyükşehir Belediyesine bağlı, İstanbul Avrupa yakasına hizmet veren, Odayeri Katı Atık Düzenli Depo Sahası 1995 yılında, Anadolu yakasına hizmet veren, Kömürcüoda Katı Atık Düzenli Depo Sahası 1996 yılında işletime açılmıştır. Depo sahalarının 2012 yılına kadar çalıştırılması planlanmaktadır. Odayeri depo sahasında oluşan sızıntı suyu, arıtma tesisinde arıtımı gerçekleştikten sonra İSKİ kanalizasyon hattına deşarj edilmektedir. Kömürcüoda Depo Sahasında ise arıtılmış sızıntı suyu Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne uygun olarak alıcı ortama, dereye deşarj edilmektedir. Sızıntı suyunun 2008 yılında yapılan analiz sonuçları ve arıtma tesisi kapasitesi Tablo 4-4 'de belirtilmiştir. Sızıntı suyu arıtma tesisleri %99 KOİ, %90 AKM ve %99 amonyak giderim verimi ile çalıştırılmaktadır. Arıtma tesislerinin akım şeması Şekil 4-8'de gösterilmiştir.

**Tablo 4-4** İstanbul Odayeri ve Kömürcüoda KADDS 2008 yılı sızıntı suyu analiz sonuçları ve ortalama debisi

	Odayeri	Kömürcüoda
Ortalama Debi	2300 m <sup>3</sup> /gün	1.100 m <sup>3</sup> /gün
BOI <sub>5</sub>	3.000-30.000 mg/L	3.000-30.000 mg/L
KOI	5.000-45.000 mg/L	5.000-45.000 mg/L
AKM	300-2.500 mg/L	300-2.500 mg/L
Toplam N	2.000-4.000 mg/L	2.000-4.000 mg/L





**Şekil 4-8** İstanbul Odayeri ve Kömürcüoda Sızıntı suyu arıtma tesisleri akım şeması

İZAYDAŞ (Atık ve Artıkları Arıtma Yakma ve Değerlendirme A.Ş.) tarafından işletimde olan Kocaeli - Solaklar Katı Atık Düzenli Depo Sahası 09.06.1997 tarihinden itibaren işletime açıktır. Öngörülen proje ömrü 25-30 yıl olarak tasarlanan depo sahasında sızıntı suyu arıtımı için, 600 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli, sadece ön arıtım yapan DAF arıtma tesisi bulunmaktadır. Alum ve polielektrolit eklenerek ön arıtımı yapılan sızıntı suları ISU 42 Evler Atık Su Arıtma tesisine gönderilmektedir. Günlük ortalama 5 ton arıtma çamuru çıkan tesiste, çamur evsel depolama sahasına depolanarak bertaraf edilmektedir. 2009 yılında yapılan sızıntı suyu analiz sonuçları Tablo 4-5’de gösterilmiştir.

**Tablo 4-5** Kocaeli Solaklar KADDS 2009 yılı sızıntı suyu analiz sonuçları

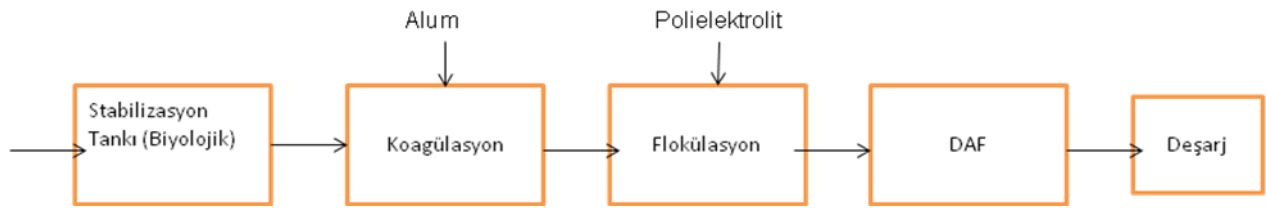
Ortalama Debi	600 m <sup>3</sup> /gün
BOI <sub>5</sub>	3.350 mg/L
KOI	7.300 mg/L
AKM	400 mg/L
Toplam N	480 mg/L

Aydın ili Kuşadası Belediyesine bağlı Kuşadası Katı Atık Düzenli Depo Sahası 14.12.2009 tarihinde işletime alınmıştır. Öngörülen proje ömrü 20 yıl olan depo sahasında oluşan sızıntı suyu, 60 m<sup>3</sup>/gün arıtım kapasitesine sahip ters ozmos arıtma tesisinde arıtılıp daha sonra yangın söndürmede kullanılmak üzere su tankına basılmaktadır. Arıtma tesis akım şeması Erzurum KADDS sızıntı suyu arıtma tesisi gibidir (Şekil 4-7). Sızıntı suyu arıtma tesisi tasarım kriterleri Tablo 4-6’da verilmiştir.

**Tablo 4-6** Kuşadası KADDS sızıntı suyu arıtma tesisi tasarım kriterleri

Ortalama Debi	600 m <sup>3</sup> /gün
BOI <sub>5</sub>	34.000 mg/L
KOI	48.000 mg/L
pH	6-8
NH <sub>4</sub> -N	3.000 mg/L

Muğla ili Marmaris Belediyesine bağlı Marmaris Katı Atık Düzenli Depo sahası 01.05.2003 tarihinde atık kabulüne başlamış olup öngörülen proje ömrü 19 yıldır. Oluşan sızıntı sularının biyolojik ve kimyasal arıtma olmak üzere iki kademededen oluşan sızıntı suyu arıtma tesisinde arıtımı gerçekleştirilmektedir. Arıtılan sızıntı sularının kuru dere yatağına deşarjı planlanmaktadır. Tesis girişinde akışkan ölçer olmamasından dolayı sızıntı suyu miktarı net olarak hesaplanamamaktadır. Yaz aylarında sızıntı suyunun çok büyük miktarı depolanan evsel katı atığın kompaktörle sıkıştırılmasından kaynaklanmaktadır. Kış aylarında depolanan evsel katı miktarının düşmesi sonucu evsel katı atıktan kaynaklanan sızıntı suyu miktarı azalmakta, fakat yağışların artmasıyla süzülen ve depolanan evsel katı atık ile temasa geçen ve karışan yağış suları sızıntı suyu miktarını ciddi olarak arttırmaktadır. Sızıntı suyu karakterizasyonu hakkında bilgi bulunmamaktadır. Şekil 4-9'da sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması gösterilmiştir.



**Şekil 4-9** Marmaris KADDS sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması

Samsun Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilen Samsun Katı Atık Düzenli Depo Sahası 15.05.2008 tarihinde hizmete açılmıştır. Öngörülen proje ömrü 20 yıl olan depo sahasında yapım aşamasında olan ters ozmos sistemi ile çalışan sızıntı suyu arıtma tesisi mevcuttur (Şekil 4-7). Şuan için oluşan sızıntı suyu, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 20.6'daki değerler sağlanamadığından Atık Su Arıtma tesisine gönderilmektedir. 2009 yılında yapılan sızıntı suyu karakterizasyon çalışmalarına göre analiz sonuçları Tablo 4-7'de verilmiştir.

**Tablo 4-7** Samsun KADDS 2009 yılı sızıntı suyu analiz sonuçları

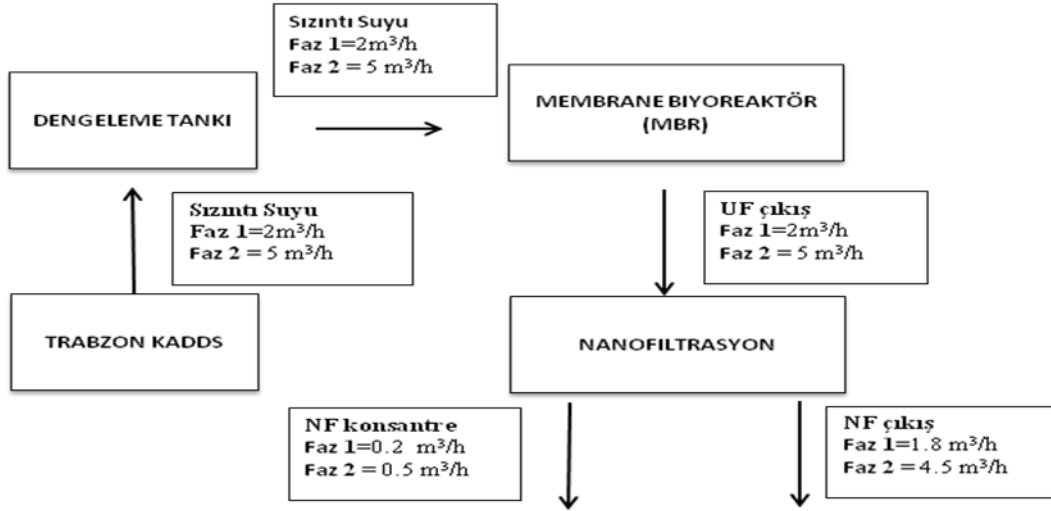
pH	7,4-7,6
BOI <sub>5</sub>	6.000-15.000 mg/L
KOI	9500-28.000mg/L
AKM	700-2000 mg/L
TKN	2800 mg/L

Sinop-Erfelek-Gerze-Ayancık Belediyeler Birliği tarafından işletilen Sinop Katı Atık Düzenli Depo Sahası atık kabulüne henüz başlamamıştır. İlk hücre için öngörülen proje ömrü 15 yıl olan depo sahasında, sızıntı suyu arıtma tesisi projelendirilmiş olup, tasarım kriterleri Tablo 4-8'de gösterilmiştir. Arıtılan sızıntı suyunun drenajının 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 20,6'daki alıcı ortam standartlarına göre, kanalizasyona yapılması planlanmaktadır. Arıtma tesisi akım şeması Bursa KADDS sızıntı suyu arıtma sistemine benzemektedir.

**Tablo 4-8** Sinop KADDS sızıntı suyu arıtma tesisi tasarım kriterleri

Ortalama Debi	22 m <sup>3</sup> /gün
BOI <sub>5</sub>	10.456 mg/L
KOI	26.140 mg/L
TKN	823 mg/L
AKM	3.790 mg/L

Trabzon ve Rize İlleri Yerel Yönetimleri Katı Atık Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği tarafından işletilen Trabzon Katı Atık Düzenli Depo Sahası 04.09.2007 tarihinde hizmete açılmıştır. Öngörülen proje ömrü 7 yıl olan depo sahasında, 50 m<sup>3</sup>/gün arıtma kapasiteli sızıntı suyu arıtma tesisi bulunmaktadır. Sızıntı suyunda KOİ değeri 6000 mg/L ile 30000 mg/L arasında değişmektedir. Tesiste bulunan UF ve NF ünitelerinden sırasıyla 390 mg/L ve 50 mg/L KOİ değerleri mevcuttur. Amonyum ölçüm sonuçları sızıntı suyunda ortalama 550 mg/L'dir. Çıkış suyunda bu değer 13mg/L'dir. Sızıntı suyundaki bu değerler mevsimsel ve coğrafi şartlardan ötürü ve depolama sahasındaki yaşlanmadan ötürü değişim göstermektedir. Aktif çamurda ise TSS 12650 mg/L, MLVSS 6000 mg/L'dir. Sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması Şekil 4-10'da gösterilmiştir. Arıtma tesisi çıkış suyu ise dereye deşarj edilmektedir.



**Şekil 4-10** Trabzon Katı Atık Düzenli Depo Sahası sızıntı suyu arıtma tesisi akım şeması

Sızıntı Sularının deşarjı, ülkemizde genellikle kanalizasyon sistemine deşarj/taşıma şeklinde gerçekleşmektedir. Arıtma yapılarak alıcı ortama deşarj işlemi sadece 2 depolama alanında yapılmakta geriye kalan arıtılan/artılmayan sızıntı suları kanalizasyon sistemine deşarj edilmektedir. Geri devir yapan tesisler de kış aylarında kanalizasyon sistemine deşarj yapılmaktadır.

### 4.3 Sızıntı Suyu Özelliklerinin Bölgesel Olarak Belirlenmesi

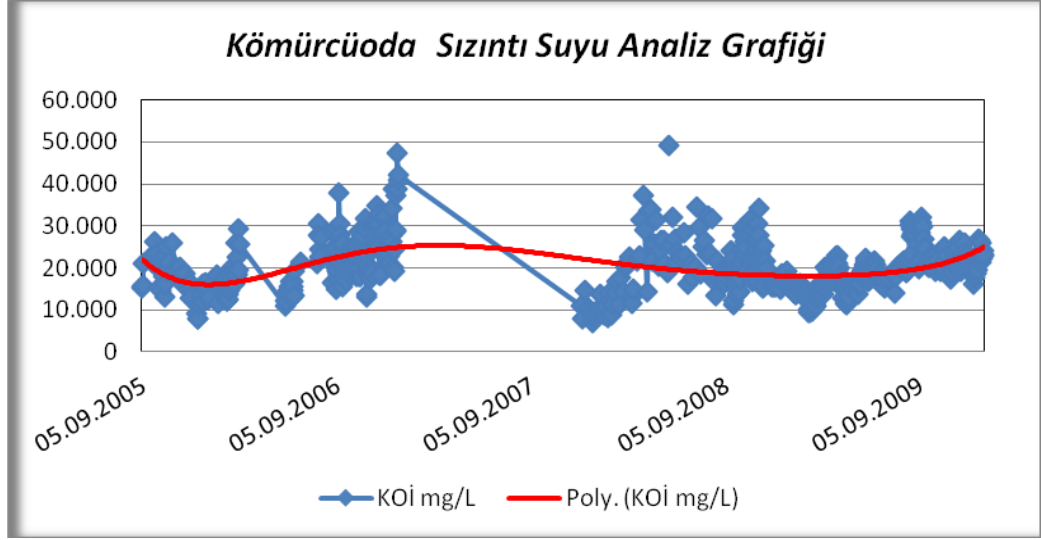
Katı atık depo sahaslarında stabilizasyon evrelerini en iyi tanımlayan parametrelerden bir tanesi BOİ<sub>5</sub>/KOİ oranıdır. Başta sızıntı sularında yüksek olan biyolojik olarak ayrıştırılabilir organik madde miktarı, zamana bağlı olarak stabilizasyon tamamlandıkça düşüş gösterir. Genç depo sahaslarında oluşan sızıntı suları yüksek oranda biyolojik olarak kolay ayrışabilen uçucu yağ asitleri içerir. Zaman geçtikçe biyolojik olarak kolay ayrışabilen uçucu yağ asitleri anaerobik ortamda bakteriler tarafından tüketilerek metan gazı açığa çıkarılırlar. Bu sebeple depo sahasının yaşı arttıkça biyolojik ayrışma tamamlandığından kolay ayrışabilen organik maddelerin oranı düşer. Bu düşüş BOİ<sub>5</sub>/KOİ oranının azalmasına sebep olur. Bu nedenle genç depo alanlarındaki sızıntı sularında BOİ<sub>5</sub>/KOİ>0,5 iken yaşlı depo alanlarındaki sızıntı sularında BOİ<sub>5</sub>/KOİ<0,2'dir. Bunun yanı sıra genç depo sahaslarında uçucu yağ asitlerinin fazla olması sızıntı sularının pH'nın düşük olmasına neden olmaktadır. Katı atık depo sahaslarının yaşını belirlemede kullanılan diğer bir sızıntı suyu parametresi ise TKN/NH<sub>3</sub> oranıdır. Bu oran zaman geçtikçe sızıntı suyu içinde bulunan organik azotun amonyoğa dönüşmesiyle birlikte 1'e yaklaşır. İki-üç yıllık depolama alanlarında özellikle organik maddeler, mikroorganizma türleri ve inorganik kirlilik yükleri maksimuma ulaşır. Aşağıda Türkiye'nin farklı bölgelerinden alınmış sızıntı sularının karakterizasyon tabloları ve şekilleri yer almaktadır (Tablo 4-9, 4-10, Şekil 4-11, Şekil 4-12).

**Tablo 4-9** İstanbul Kömürçüoda ve Odayeri, Samsun ve Trabzon KADDS sızıntı suyu analiz sonuçları

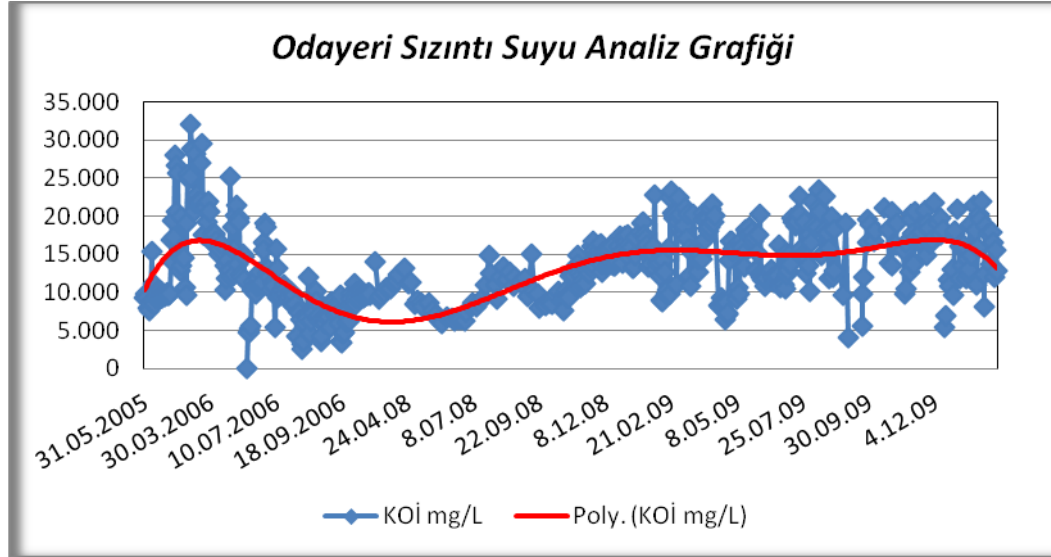
Numune alım tarihi	İstanbul Kömürçüoda		İstanbul Odayeri		Samsun		Trabzon	
	23.11.2009	17.03.2010	21.04.2010	14.07.2010	21.04.2010	14.06.2010	15.02.2010	04.05.2010
pH	7,8	7,5	8,1	7,9	8,0	8,0	7,7	7,3
İletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	27700	27200	21370	27900	12090	15350	26000	30200
Toplam Alkalinite ( $\text{mg}/\text{L CaCO}_3$ )	10100	10900	8400	10600	4900	6000	5000	12850
TDS ( $\text{mg}/\text{L}$ )	16480	16160	12390	16660	6670	8620	15390	18150
Askıda Katı Madde ( $\text{mg}/\text{L}$ )	3440	1235	880	2640	155	225	1555	2265
Uçucu Askıda Katı Madde ( $\text{mg}/\text{L}$ )	2100	755	615	1720	115	135	840	1435
Toplam Katı Madde ( $\text{mg}/\text{L}$ )	24200	29395	14870	23805	10760	8900	16370	34130
Toplam Uçucu Katı Madde ( $\text{mg}/\text{L}$ )	10010	13470	5150	7060	2140	3410	6170	15350
KOİ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	28716	37760	9105	24515	1140	1315	15928	42880
BOİ <sub>5</sub> ( $\text{mg}/\text{L}$ )	17230	27465	5925	-	535	780	10335	29360
TOK ( $\text{mg}/\text{L}$ )	10774	9760	2215	-	520	375	5369,25	8065
TKN ( $\text{mg N}/\text{L}$ )	2670	2115	1890	2220	975	1290	3780	2300
NH <sub>3</sub> -N ( $\text{mg N}/\text{L}$ )	2560	1830	1480	2000	890	1150	2825	1775
Renk (Pt-Co)	31700	45000	12100	20900	5950	5050	133,5	23300
Cl <sup>-</sup> ( $\text{mg}/\text{L}$ )	5950	2600	2200	5100	1400	2100	3500	4400
Toplam Fosfor ( $\text{mgP}/\text{L}$ )	27	20,4	68	32,5	7,8	24	23,13	20
TKN/NH <sub>3</sub> -N	1,1	1,16	1,28	1,11	1,10	1,12	1,34	1,30
BOİ <sub>5</sub> /KOİ	0,60	0,73	0,65	-	0,47	0,59	0,65	0,68

**Tablo 4-10** Ankara Şereflikoçhisar, Antalya Kızıllı, Bursa Hamitler ve Gaziantep KADDS sızıntı suyu analiz sonuçları

Numune alım tarihi	Ankara Şereflikoçhisar		Antalya Kızıllı		Bursa Hamitler		Gaziantep	
	09.11.2009	09.02.2010	19.02.2010	05.05.2010	20.04.2010	29.06.2010	24.02.2010	14.04.2010
pH	8,6	8,1	7,6	8,0	8,4	8,2	7,9	8,3
İletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	23500	12140	13870	22100	32800	42000	24800	27900
Toplam Alkalinite ( $\text{mg}/\text{L CaCO}_3$ )	3000	1750	5000	8450	11500	11700	10400	12300
TDS ( $\text{mg}/\text{L}$ )	13730	6700	7730	12860	19870	26000	14620	16620
Askıda Katı Madde ( $\text{mg}/\text{L}$ )	633	200	740	850	855	1540	1340	1290
Uçucu Askıda Katı Madde ( $\text{mg}/\text{L}$ )	340	90	400	540	480	740	925	840
Toplam Katı Madde ( $\text{mg}/\text{L}$ )	16840	7590	8910	14240	21650	28065	15870	15340
Toplam Uçucu Katı Madde ( $\text{mg}/\text{L}$ )	2690	1290	3100	7480	4550	6285	4560	3090
KOİ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	1480	555	7670	8780	9100	10900	9845	7035
BOİ <sub>5</sub> ( $\text{mg}/\text{L}$ )	140	73	4810	4275	3465	6770	5275	2875
TOK ( $\text{mg}/\text{L}$ )	623	223	2543	1735	2115	2300	3760	1505
TKN ( $\text{mg N}/\text{L}$ )	163	1060	1400	1675	2590	2790	2180	2710
NH <sub>3</sub> -N ( $\text{mg N}/\text{L}$ )	91	820	850	1520	2200	2550	2030	2580
Renk (Pt-Co)	6420	1640	7900	8200	18200	16200	19600	21200
Cl <sup>-</sup> ( $\text{mg}/\text{L}$ )	8750	5150	1100	3700	5900	7800	5500	3000
Toplam Fosfor ( $\text{mgP}/\text{L}$ )	5,07	8,4	14,43	23,9	63,3	33	40,3	43,5
TKN/NH <sub>3</sub> -N	1,79	1,29	1,65	1,10	1,18	1,09	1,07	1,05
BOİ <sub>5</sub> /KOİ	0,09	0,13	0,63	0,49	0,38	0,62	0,54	0,41



**Şekil 4-11** Kömürcüoda sızıntı suyu karakteristiği

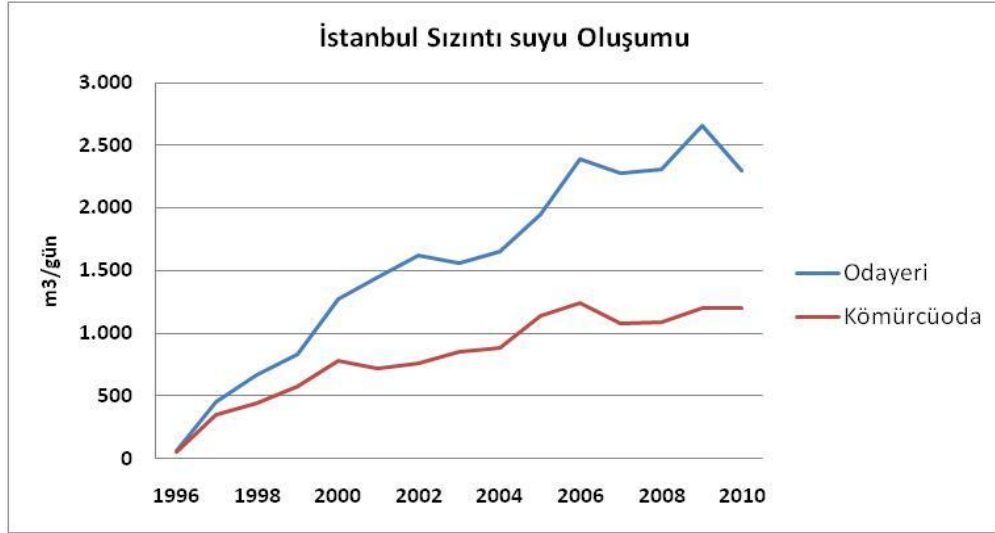


**Şekil 4-12** Kömürcüoda sızıntı suyu karakteristiği

#### Sızıntı Suyu Miktarları

İstanbul, Antakya ve Trabzon Depolama Sahalarında oluşan sızıntı suyu miktarları komisyon çalışmalarımız kapsamında incelenmiştir. İstanbul Depolama Sahalarında sızıntı suyu oluşumu 1998 yılında 500 m<sup>3</sup>/gün iken 2008 yılında bu rakam Odayeri'nde 2500 m<sup>3</sup>/gün, Kömürcüoda ise 1200 m<sup>3</sup>/gün seviyelerine çıkmıştır (Şekil 4-13). Antakya Depolama Sahasında ise bu yükseliş Eylül 2009 'da 10 m<sup>3</sup>/gün değerinden 70 m<sup>3</sup>/gün seviyelerine gelmiştir. Burada Antakya ilinde, sızıntı suyu artışının asıl sebebi atık miktarının artışına bağlı olarak gerçekleşmiştir. Ancak bunun yanı sıra kış aylarının etkisi de Şekil 4-14'te açıkça görülebilmektedir.

Trabzon-Rize Katı Atık Birliği Depolama sahası, özellikle yağışlı bölge olması sebebi ile bu bölgede kış aylarında oldukça aşırı sızıntı suyu olduğu görülmektedir (Şekil 4-15) Ancak bunun en önemli nedeni yüzey sularının yönetiminden kaynaklanmaktadır. Çevre sularının iyi drene edilememesi yağış sularının büyük bir bölümünün saha içerisine girmesine neden olabilmektedir. Trabzon ve Antakya yeni depolama sahaları olması sebebi ile sızıntı suyu oluşumu aylık periyotlarla gösterilmiştir.



Şekil 4-13 İstanbul sızıntı suyu oluşumu



Şekil 4-14 Antakya sızıntı suyu oluşumu



Şekil 4-15 Trabzon-Rize sızıntı suyu oluşumu

## 5 Farklı Senaryolar için Sızıntı Suyu Oluşumunun İncelenmesi

### 5.1 İncelenen Senaryolar

Türkiye'nin 3 farklı iklim ve coğrafi özelliğini karakterize eden Malatya, Çanakkale ve Giresun illeri için başlıca 5 ana senaryo dikkate alınarak basitleştirilmiş su dengesi yöntemi ile oluşacak sızıntı suyu miktarının değişimi incelenmiştir. Bu kapsamda aşağıdaki ana senaryolar esas alınmıştır:

- Senaryo 1A: Farklı meteorolojik özellikteki 3 ilde (Malatya, Çanakkale ve Giresun), atık akışı sabitken ve boş hücrelerden gelen yağış sularının da sızıntı sularına dahil olması halinde, sızıntı suyu miktarının hücre büyüklüğü ile değişimi
- Senaryo 1B: Farklı meteorolojik özellikteki 3 ilde (Malatya, Çanakkale ve Giresun), atık akışı sabitken, boş hücrelerden gelen yağış sularının sızıntı sularından ayrı tutulması halinde, sızıntı suyu miktarının hücre büyüklüğü ile değişimi
- Senaryo 2: Malatya ve Çanakkale için ambalaj atıklarının %25' i ile organik atıkların %5'inin geridönüşümü halinde sızıntı suyu miktarının hücre büyüklüğü ile değişimi
- Senaryo 3: Malatya ve Çanakkale için ambalaj atıklarının %33'ünün geridönüşümü, geriye kalan karışık atığın kompostlaştırılması ve kompost artığı olan %40 lık kısmın depolanması durumunda, sızıntı suyu miktarının hücre büyüklüğü ile değişimi
- Senaryo 4: Malatya ve Çanakkale için Entegre Katı Atık Yönetimi (yüksek kapasiteli ikili toplama) uygulanması halinde, su muhtevasının %40 lardan kademeli olarak %27'ye düşmesi durumu için, sızıntı suyu miktarının hücre büyüklüğü ile değişimi
- Senaryo 5: Malatya için kurak ve yağışlı yılları temsil etmek üzere yağış verilerin değişimi halinde, atık akışı ve buharlaşma sabitken, sızıntı suyu miktarının hücre büyüklüğü ile değişimi

Bu senaryolar için sızıntı suyu oluşumu tahminlerinde;

- **Yüksek kapasiteli ikili toplamanın (Entegre Atık Yönetimi) uygulandığı hallerde, sınırlı kapasitede atık azaltım uygulamaları (atık toplama merkezleri + atık kumbaraları ile ambalaj atıkları gerikazanımı, basit kompostlaştırma yöntemi ile park ve bahçe ve pazaryeri atığı geridönüşümü) ile %25 ambalaj atığı + %5 organik atık geridönüşümü senaryoları için 2, 4, 5 ve 10 hektarlık;**
- **Ambalaj atığı geri kazanımı ve kompostlaştırma ortak senaryosu için ise 1, 2 ve 4 hektarlık hücreler esas alınmıştır.**
- **Senaryo 1A hariç, diğer senaryolarda boş hücrelerden gelen yağmur sularının, sızıntı suları ile karıştırılmaksızın, ayrıca uzaklaştırıldığı kabul edilmiştir.**

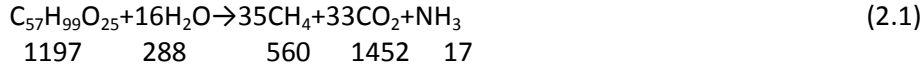
### 5.2 Sızıntı Suyu Oluşumu Hesabı ile İlgili Temel Kabuller ve Seçilen 3 İlin Meteorolojik Durumu

Seçilen merkezlerde (Malatya, Çanakkale ve Giresun, Şekil 5-1) oluşacak katı atık sızıntı suyu miktarı hesaplamaları için aşağıdaki kabuller esas alınmıştır;

- Her bir merkezde, atık düzenli depolama alanının işletim süresi 20 yıl'dır.

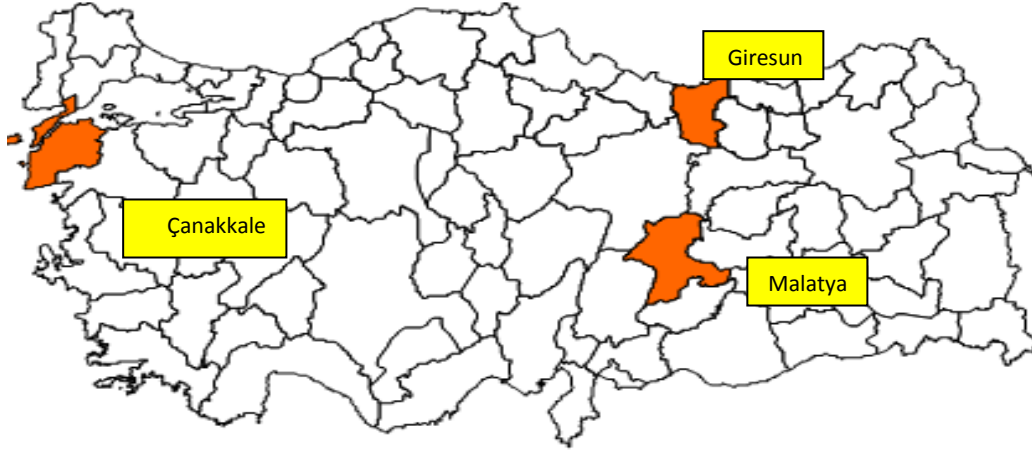


- Depolama alanı işletim süresine ilave bir 10 yıl daha (20+10=30) oluşan sızıntı suyu toplanacaktır.
- Depolanan atık bünyesindeki su tutma oranı (arazi kapasitesi), senaryo özelinde %20- %30 aralığında değişebilmektedir (HELP, 1994)
- Depolanan atığın anaerobik bozunması aşağıdaki kimyasal reaksiyon denklemi ile ifade edilmiştir:

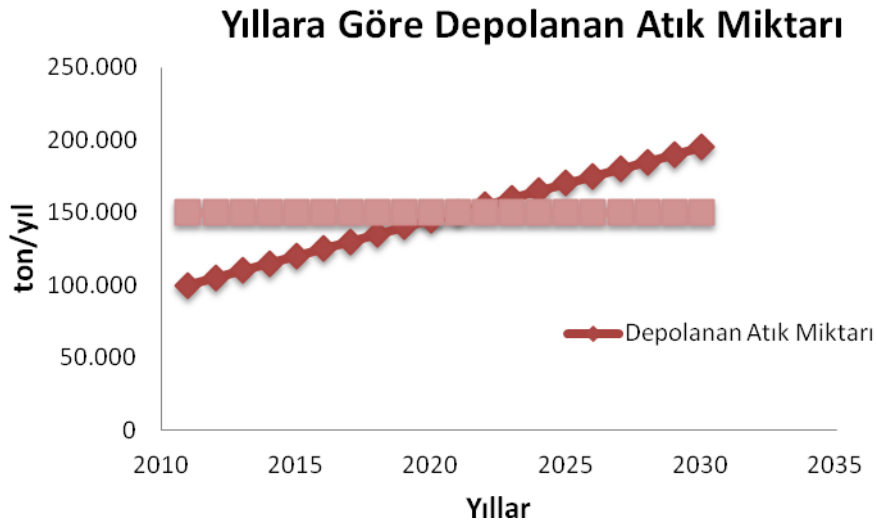


Anaerobik biyokimyasal bozunma sonucu tüketilen su oranı, söz konusu denklemden hareketle  $288 / 1197 = 0,24$  kg H<sub>2</sub>O / kg biyobozunur kuru atık olarak hesaplanmıştır.

- Atık yüzeyinden buharlaşma oranı, su yüzeyinden buharlaşmanın %30'u olarak kabul edilmiştir. Atık yüzeyinden buharlaşma değerlerinin yağış değerlerinden daha fazla olduğu yaz döneminde (Haziran-Temmuz- Ağustos), buharlaşmanın atık içinden olacağı kabulü ile bu oran; Malatya ve Çanakkale için %15, Giresun için ise %10 olarak alınmıştır.
- Kapalı hücrelerden oluşan sızıntı suyu miktarı, yıllık yağış yüksekliğinin %15-40'ı (~ %20) alınmıştır.
- Düzenli depolama alanındaki atık yoğunluğu 0,8 kg ton/m<sup>3</sup> kabul edilmiştir.
- ENVEST, 2005' de belirlenen atık kompozisyonunu esas alınmıştır (Tablo 5-1).
- Ortalama atık dolgu yüksekliği 20 m. ve atığın arazi kapasitesi, depolanan atığın kompozisyonuna bağlı olarak, 0,20-0,30 aralığında kabul edilmiştir (Ek I).
- Üretilen atığın %85'i düzenli depolama sahasına verilmektedir (Atık toplama oranı %85).
- Senaryolarda öngörülen atık azaltımları (geridönüşüm/kompostlaştırma/gerikazanım) üretilen atığın %85'i üzerinden hesaplanmıştır.
- Atık yönetimine esas 2010 yılı nüfusu 300.000 kişi olarak kabul edilmiştir.
- Yıllık atık üretim artışı %3, yıllık nüfus artışı ise %2 alınmıştır.
- Atık akışı (toplanan atık miktarı) işletim süresi boyunca sabit kabul edilmiştir (20 yıl boyunca ~150000 ton/yıl) (Şekil 5-2).
- Sızıntı suyu miktarı hesabında,
  - Yağışın sızıntı suyu oluşumuna katkısı, "Depo sahası alanı x Net Yağış Yüksekliği"
  - Net Yağış Yüksekliği (PN) = Yağış Yüksekliği–Depo Yüzeyinden Buharlaşma ve Terleme (PN=P-E)
  - Aktif Hücrelerde R, Yüzeysel akış katsayısı = 0
 alınmıştır. Sızıntı suyu oluşumu hesabı Ek II'de açıklanmıştır.
- Depolanan karışık atık ve depo gövdesindeki ortalama su muhtevası dağılımının Şekil 5-3'deki gibi olduğu kabul edilmiştir (Türkiye için tipik değerler).



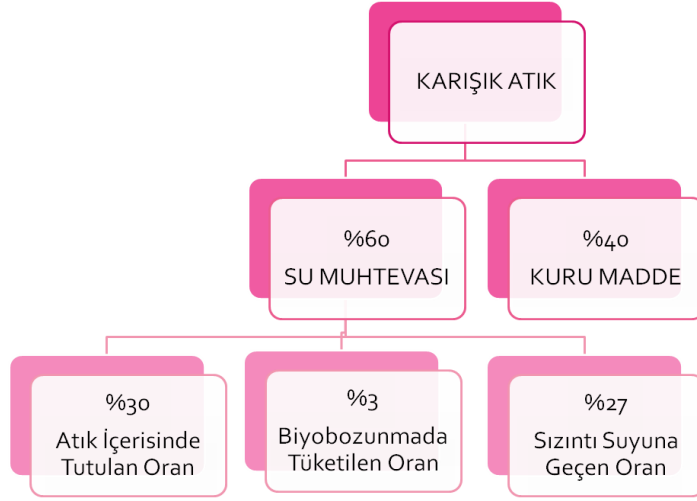
Şekil 5-1 Seçilen merkezlerin türkiye haritası üzerinde gösterimi



Şekil 5-2 İzafi (Mutasavver) depolama alanlarında yıllara göre toplanan atık miktarı (geri dönüşüm/geri kazanım olmadığı durum)

Tablo 5-1 Sisteme alınan atık bileşen ve yüzdeleri (ENVEST, 2005)

Atık Bileşenleri	Ağırlıkça %	Su Muhtevası %	Atık İçindeki Suya Katkı %	Biyoyarışabilirlik %
Yemek ve Bahçe Atığı	50	95	47,5	80,00
Kağıt	8	50	4,0	50,00
Karton	5	45	2,3	50,00
Plastik	10	20	2,0	0,00
Cam	4	3	0,1	0,00
Metal	4	10	0,4	0,00
Diğer Yanmayan	13	3	0,4	0,00
Diğer Yanabilen	6	55	3,3	50,00
TOPLAM	100		60,0	



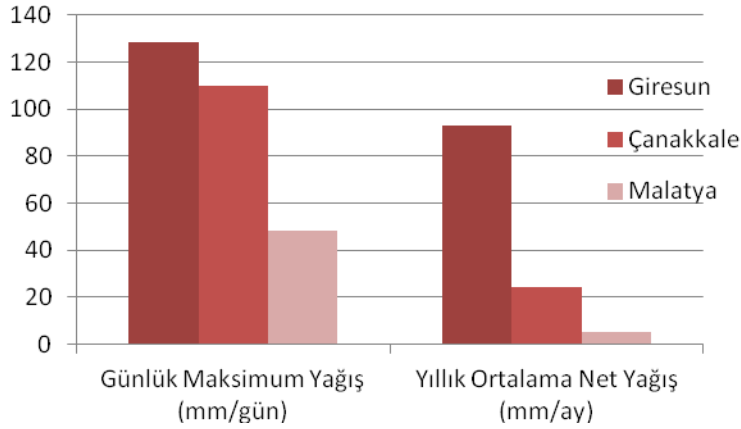
**Şekil 5-3** Depolanan atık içindeki kuru katı madde ve su dağılımı

Çanakkale İli için 1975-2004, Giresun İli için 1975-2007, Malatya için ise 1975-2007 yılları arasında görülen; günlük en maksimum yağış, aylara göre ortalama toplam yağış ve ortalama buharlaşma değerleri kullanılmıştır (DMİ, 2009) (Tablo 5-2 ve Şekil 5-4).

**Tablo 5-2** Seçilen iller için yağış verileri

	Günlük Maksimum Yağış (mm/gün)	Yıllık Ortalama Net Yağış (mm/ay)	Yıllık Toplam Yağış (mm/yıl)
Giresun	128,3	92,8	1263,6
Çanakkale	110,0	14,9	586,1
Malatya	48,2	5,2	380,1

\* Türkiye için yıllık ortalama yağış; 643 mm/yıl'dır.



**Şekil 5-4** Seçilen illerin günlük maksimum ve yıllık ortalama yağış yükseklikleri

### 5.3 Sızıntı Suyu Oluşumu Tahminleri

Bu bölümde her bir senaryo için, basitleştirilmiş su dengesi yöntemi ile hesaplanan sızıntı suyu oluşumu tahmini sonuçları sunulmaktadır.

#### **SENARYO 1A**

***Senaryo Tanımı:*** Farklı meteorolojik özellikteki 3 ilde (Malatya, Çanakkale ve Giresun), atık akışı sabitken ve geridönüşüm/gerikazanım olmaksızın, boş hücrelerden gelen yağış sularının da sızıntı sularına dahil olması halinde, sızıntı suyu miktarının hücre büyüklüğü ile değişimi

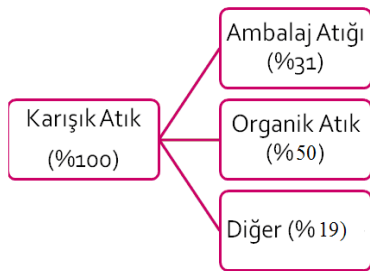
Bu senaryonun amacı, boş hücrelerden gelen yağmur sularının aktif ve kapanmış hücrelerde oluşan sızıntı suyu miktarı üzerine olan etkisinin ortaya konmasıdır.

Çalışma kapsamında; Türkiye'nin 3 farklı coğrafi ve iklimsel özelliğini temsilen seçilen; Çanakkale, Malatya ve Giresun illeri'nde kurulu, izafi bölgesel atık depolama sahalarında oluşacak sızıntı suyu miktarları hesaplanmıştır. Hesaplarda daha önce Bölüm 5.2'de belirtilen temel kabullere ek olarak depolama alanındaki bölüm (lot, hücre) alanlarının aşağıdaki gibi olması esas alınmıştır (Tablo 5-3):

**Tablo 5-3** Depolama hücrelerinin alan ve dolun süreleri

Alan (m <sup>2</sup> )	Dolum Süresi (yıl)
20000	2
40000	4
50000	5
100000	10

Düzenli depolama alanlarına kabul edilen mevcut Türkiye şartlarındaki tipik karışık atığın ana madde grupları itibarı ile aşağıdaki şematik şekilde verildiği gibi olduğu esas alınmıştır (Şekil 5-5).



**Şekil 5-5** Tipik karışık atığın ana madde grupları

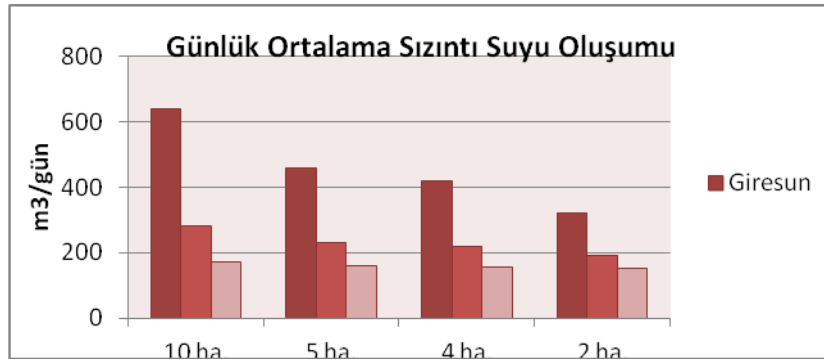
Toplanan atık miktarı, Düzenli Depolama tesisine bağlı alanda (mücadir alanlar da dahil) üretilen atığın %85'i olarak kabul edilmiştir. Bu durumda üretilen atığın ≤ %15'i atık toplama hizmetleri kapsamı dışında kalmaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen 3 ilde kurulduğu varsayılan izafi depolama alanlarında Senaryo 1A'da tanımlanan şartlar altında oluşan sızıntı suyu miktarları Ek III'de hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5-4'de özetlenmiştir.

**Tablo 5-4** İncelenen üç ilde senaryo 1A için sızıntı suyu debileri (İşletim Süresi=20 yıl)

	Hücre Alanı	Maks. $Q_{gün-ort}$	Ort. $Q_{gün-ort}$	Min. $Q_{gün-ort}$
		$m^3/gün$	$m^3/gün$	$m^3/gün$
Giresun	10 ha.	760	640±127	520
	5 ha.	520	460±47	390
	4 ha.	470	420±36	370
	2 ha.	370	320±31	270
Çanakkale	10 ha.	310	280±33	240
	5 ha.	240	230±12	210
	4 ha.	230	220±9	200
	2 ha.	200	190±8	180
Malatya	10 ha.	180	170±7	170
	5 ha.	170	160±3	155
	4 ha.	160	156±2	154
	2 ha.	160	151±2	150

Sözkonusu illerdeki izafi depolama alanlarından oluşması beklenen günlük ortalama sızıntı suyu debilerinin hücre büyüklüğüne göre değişimleri de Şekil 5-6'da ayrıca verilmiştir. Şekil'den de görüldüğü üzere farklı iklimsel özellik gösteren yerleşimlerdeki izafi depolama alanlarında oluşması beklenen sızıntı suyu debileri azalan hücre büyüklüğü ve yağış yüksekliği ile önemli derecede azalmaktadır.



**Şekil 5-6** Günlük ortalama sızıntı suyu oluşum miktarları

Yağışlı iklimi temsil eden Giresun'da ortalama sızıntı suyu debisi 10 ha'lık hücredeki 640  $m^3/gün$ 'den 2 ha'lık hücrelerde işletimde 320  $m^3/gün$ 'e (~ %50 azalma) gerilemektedir. Kurak iklimi temsil eden Malatya için ise sözkonusu debiler 170  $m^3/gün$ 'den 151  $m^3/gün$ 'e (~ %11 azalma) gerilemektedir.

Üç farklı iklimde de sızıntı suyu oluşumu küçülen hücre alanına bağlı olarak üstel biçimde azalmaktadır. Sözkonusu azalma 2 ha'lık hücrelerde 10 ha'lık hücrelere göre;

- Giresun için ~ %50
- Çanakkale için ~ % 47
- Malatya için ~ % 11

oranlarında gerçekleşmektedir.

Sızıntı suyu oluşumu, 20 yıllık işletme dönemini izleyen 10 yıllık devrede de tahmin edilmiştir (Şekil 5-7). Düzenli depolama alanları kapandıktan sonra sızıntı suyu oluşumu ani bir azalma ile örneğin Malatya'da ~160  $m^3/gün$  seviyelerinden ~7  $m^3/gün$ 'e (~ %95 azalma) düşmektedir. İncelenen 3 yerleşimdeki izafi düzenli depolama alanlarında oluşan sızıntı suyu miktarının yıllık ortalama yağış yüksekliğine göre durumu da 10 ha.

ve 2 ha.'lık hücrelerde işletme hali için Tablo 5-5 ve 5-6'da ayrıca verilmiştir. Tablolardan da görüldüğü üzere, en yüksek sızıntı suyu oluşumu sadece 1 nolu hücrenin işletmede olduğu ilk yıllarda gözlenmekte, son hücrenin aktif, diğer tüm hücrelerin kapalı olduğu son dönemde ise 20 ha.'lık alan üzerinden  $Q_{SS}$  değerleri yıllık yağış yüksekliğinin %58'idüzeyine inmektedir.



**Şekil 5-7** Depolama alanı işletim süresi ve kapanmayı izleyen 10 yıllık devrede sızıntı suyu oluşumu (Malatya)

Bu senaryo sonuçları dikkate alındığında, sızıntı suyu oluşumunu etkileyen en önemli parametrelerin; yıllık ortalama yağış yüksekliği, hücre büyüklüğü ve depo nihai örtü kaplaması durumu olarak öne çıktığı görülmektedir.

**Tablo 5-5** 10 ha'lık hücrelerde yıllık ortalama sızıntı suyu miktarının işletme sürecindeki değişimi

	Depolama Alanı İşletme Durumu	Ortalama Sızıntı Suyu Debisi,		Yıllık Ortalama Yağış Yüksekliği $P_{ort}$ mm/yıl	$Q_{ort,ss}/P_{ort}$
		$m^3/gün.ha$	$Q_{ort,ss}$ mm/yıl		
Malatya	Yalnız 1 Hücre Aktif	17,58	642	380	1,69
	2. Hücre Aktif 1. Hücre Kapalı	8,10	296	380	0,78
Çanakkale	Yalnız 1 Hücre Aktif	30,25	1104	586	1,88
	2. Hücre Aktif 1. Hücre Kapalı	11,90	434	586	0,74

**Tablo 5-6** 2 ha'lık hücrelerde yıllık ortalama sızıntı suyu miktarının işletme sürecindeki değişimi

	Depolama Alanı İşletme Durumu	Ortalama Sızıntı Suyu Debisi,		Yıllık Ortalama Yağış Yüksekliği $P_{ort}$ mm/yıl	$Q_{ort,ss}/P_{ort}$
		$m^3/gün.ha$	$Q_{ort,ss}$ mm/yıl		
MALATYA	Yalnız 1. Hücre Aktif	74,07	2703	380	7,11
	2. Hücre Aktif, 1. Hücre Kapalı	37,21	1358	380	3,57
	3. Hücre Aktif, 1-2. Hücre Kapalı	24,92	910	380	2,39
	4. Hücre Aktif, 1-2-3. Hücre Kapalı	18,78	685	380	1,80
	5. Hücre Aktif, 1-2-3-4. Hücre Kapalı	15,09	551	380	1,45
	6. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5. Hücre Kapalı	12,64	461	380	1,21
	7. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6. Hücre Kapalı	10,88	397	380	1,04
	8. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6-7. Hücre Kapalı	9,56	349	380	0,92

9. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6-7-8. Hücre Kapalı	8,54	312	380	0,82
10. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6-7-8-9. Hücre Kapalı	7,55	276	380	0,72
Yalnız 1. Hücre Aktif	86,73	3166	586	5,40
2. Hücre Aktif, 1. Hücre Kapalı	44,18	1612	586	2,75
3. Hücre Aktif, 1-2. Hücre Kapalı	29,99	1095	586	1,87
4. Hücre Aktif, 1-2-3. Hücre Kapalı	22,90	836	586	1,43
5. Hücre Aktif, 1-2-3-4. Hücre Kapalı	18,64	680	586	1,16
6. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5. Hücre Kapalı	15,80	577	586	0,98
7. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6. Hücre Kapalı	13,78	503	586	0,86
8. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6-7. Hücre Kapalı	12,26	447	586	0,76
9. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6-7-8. Hücre Kapalı	11,07	404	586	0,69
10. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6-7-8-9. Hücre Kapalı	9,32	340	586	0,58

## **SENARYO 1B**

***Senaryo Tanımı:*** Farklı meteorolojik özellikteki 3 ilde (Malatya, Çanakkale ve Giresun), atık akışı sabitken, boş hücrelerden gelen yağış sularının sızıntı sularından ayrı tutulması halinde, sızıntı suyu miktarının hücre büyüklüğü ile değişimi

Bu senaryonun amacı, boş hücrelerden gelen yağmur sularının ayrıca toplanıp uzaklaştırılmasının aktif ve kapanmış hücrelerde oluşan sızıntı suyu miktarı üzerine etkisinin ortaya konmasıdır.

Çalışma kapsamında; Türkiye'nin 3 farklı coğrafi ve iklimsel özelliğini temsilen seçilen; Çanakkale, Malatya ve Giresun İlleri'nde kurulu, izafi bölgesel atık depolama sahalarında oluşacak sızıntı suyu miktarları hesaplanmıştır. Hesaplarda daha önce Bölüm 5.2'de belirtilen temel kabullere ek olarak 20 ha.'lık depolama alanındaki bölüm (lot, hücre) alanlarının 2, 4, 5 ve 10 ha. olması esas alınmıştır (Tablo 5-3).

Düzenli depolama alanlarına kabul edilen mevcut Türkiye şartlarındaki tipik karışık atığın ana madde grupları itibarı ile Şekil 5-5'deki gibi olduğu esas alınmıştır.

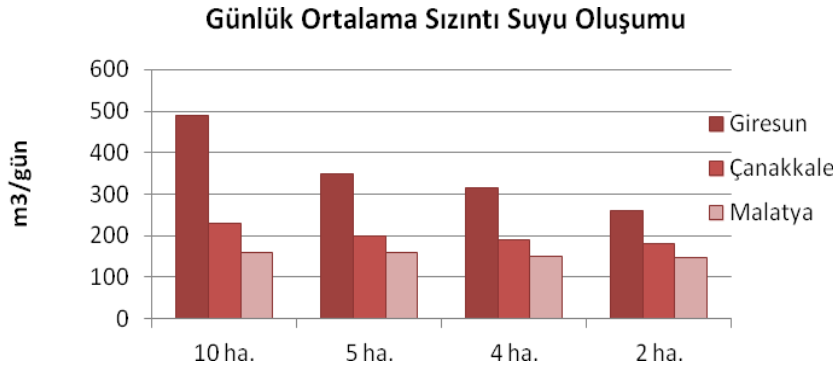
Toplanan atık miktarı, Düzenli Depolama tesisine bağlı alanda (mücvir alanlar da dahil) üretilen atığın %85'i olarak kabul edilmiştir. Bu durumda üretilen atığın  $\leq$  %15'i atık toplama hizmetleri kapsamı dışında kalmaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen 3 ilde kurulduğu varsayılan izafi depolama alanlarında Senaryo 1B'de tanımlanan şartlar altında oluşan sızıntı suyu miktarları Ek II'de hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5-7'de özetlenmiştir.

**Tablo 5-7** İncelenen üç ilde senaryo 1B için sızıntı suyu debileri (işletim süresi=20 yıl)

	Hücre Alanı	Maks. $Q_{gün-ort}$	Ort. $Q_{gün-ort}$	Min. $Q_{gün-ort}$
	Hektar	$m^3/gün$	$m^3/gün$	$m^3/gün$
Giresun	10 ha.	520	490±32	460
	5 ha.	390	350±35	300
	4 ha.	370	314±36	265
	2 ha.	320	260±36	210
Çanakkale	10 ha.	240	230±8	230
	5 ha.	210	200±9	190
	4 ha.	200	190±9	180
	2 ha.	190	180±10	160
Malatya	10 ha.	170	160±2	159
	5 ha.	160	155±2	150
	4 ha.	154	151±2	148
	2 ha.	151	148±2	145

Söz konusu illerdeki izafi depolama alanlarından oluşması beklenen günlük ortalama sızıntı suyu debilerinin hücre büyüklüğüne göre değişimleri de Şekil 5-8'de ayrıca verilmiştir. Şekil'den de görüldüğü üzere farklı iklimsel özellik gösteren yerleşimlerdeki izafi depolama alanlarında oluşması beklenen sızıntı suyu debileri Senaryo 1A'daki gibi azalan hücre büyüklüğü ve yağış yüksekliği ile önemli derecede azalmaktadır.



**Şekil 5-8** Günlük ortalama sızıntı suyu oluşum miktarları

Yağışlı iklimi temsil eden Giresun'da ortalama sızıntı suyu debisi 10 ha'lık hücrede Senaryo 1A'da  $640 m^3/gün$  iken Senaryo 1B'de  $490 m^3/gün$ 'e (~ % 23 azalma) gerilemektedir.

Kurak iklimi temsil eden Malatya için ise söz konusu debiler Senaryo 1A'daki  $170 m^3/gün$ 'den  $160 m^3/gün$ 'e (~ %5-6 azalma) gerilemektedir.

Boş hücrelerdeki yağış sularının ayrıca uzaklaştırılması bilhassa yağışlı bölgelerdeki sızıntı suyu oluşumunu önemli derecede azaltmaktadır.

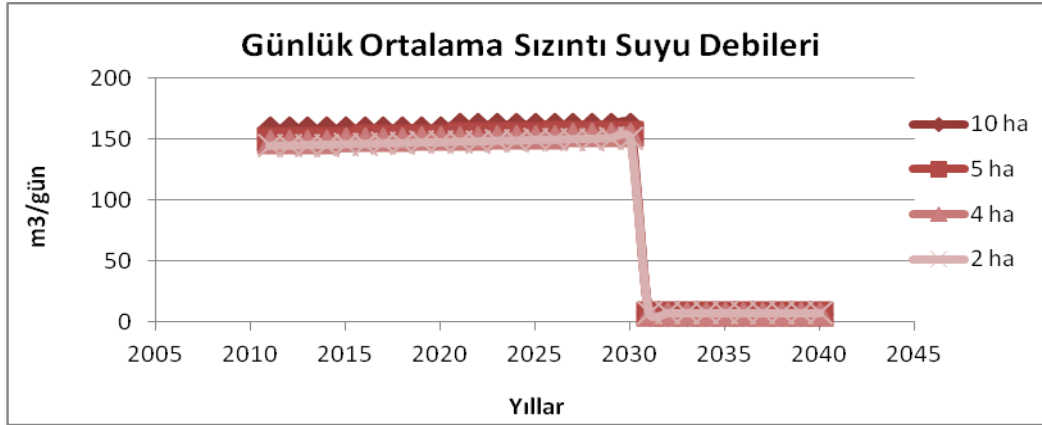
Üç farklı iklimde de sızıntı suyu oluşumu küçülen hücre alanına bağlı olarak geometrik biçimde azalmaktadır. Senaryo 1B şartlarında söz konusu azalma 2 ha'lık hücrelerde 10 ha'lık hücrelere göre;

- Giresun için ~ % 47
- Çanakkale için ~ % 30
- Malatya için ~ % 7

oranlarında gerçekleşmektedir.



Sızıntı suyu oluşumu, 20 yıllık işletme dönemini izleyen 10 yıllık devrede de tahmin edilmiştir (Şekil 5-9). Düzenli depolama alanları kapandıktan sonra sızıntı suyu oluşumu ani bir azalma ile örneğin Malatya’da  $\sim 150$  m<sup>3</sup>/gün seviyelerinden  $\sim 7$  m<sup>3</sup>/gün’e ( $\sim$  %95 azalma) düşmektedir. İncelenen 3 yerleşimdeki (Çanakkale ve Malatya) izafi düzenli depolama alanlarında oluşan sızıntı suyu miktarının yıllık ortalama yağış yüksekliğine göre durumu da 10 ha. ve 2 ha.’lık hücrelerde işletme hali için Tablo 5-8 ve 5-9’da ayrıca verilmiştir. Tablolardan görüldüğü üzere, Senaryo 1A’daki sonuçlara benzer olarak, en yüksek sızıntı suyu oluşumu sadece 1 nolu hücrenin işletmede olduğu ilk yıllarda gözlenmekte, son hücrenin aktif, son dönemde ise 20 ha.’lık alan üzerinden ifade edilen  $Q_{ort,ss}$  değerleri yıllık yağış yüksekliğinin %58’si düzeyine inmektedir.



Şekil 5-9 Depolama alanı işletim süresi ve kapanmayı izleyen 10 yıllık devrede sızıntı suyu oluşumu (Malatya)

Tablo 5-8 10 ha’lık hücrelerde yıllık ortalama sızıntı suyu miktarının işletme sürecindeki değişimi

Depolama Alanı	İşletme Durumu	Ortalama Sızıntı Suyu Debisi, $Q_{ort,ss}$		Yıllık Ortalama Yağış Yüksekliği $P_{ort}$	$Q_{ort}/P_{ort}$
		m <sup>3</sup> /gün.ha	mm/yıl		
Malatya	Yalnız 1 Hücre Aktif	15,85	579	380	1,52
	2. Hücre Aktif 1. Hücre Kapalı	8,10	296	380	0,78
Çanakkale	Yalnız 1 Hücre Aktif	22,18	810	586	1,38
	2. Hücre Aktif 1. Hücre Kapalı	10,20	434	586	0,72

Tablo 5-9 2 ha’lık hücrelerde yıllık ortalama sızıntı suyu miktarının işletme sürecindeki değişimi

Depolama Alanı	İşletme Durumu	Ortalama Sızıntı Suyu Debisi, $Q_{ort,ss}$		Yıllık Ortalama Yağış Yüksekliği $P_{ort}$	$Q_{ort}/P_{ort}$
		m <sup>3</sup> /gün.ha	mm/yıl		
MALATYA	Yalnız 1. Hücre Aktif	72,33	2640	380	6,95
	2. Hücre Aktif, 1. Hücre Kapalı	36,34	1326	380	3,49
	3. Hücre Aktif, 1-2. Hücre Kapalı	24,34	889	380	2,34
	4. Hücre Aktif, 1-2-3. Hücre Kapalı	18,35	670	380	1,76
	5. Hücre Aktif, 1-2-3-4. Hücre Kapalı	14,75	538	380	1,42
	6. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5. Hücre Kapalı	12,35	451	380	1,19
	7. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6. Hücre Kapalı	10,63	388	380	1,02
	8. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6-7. Hücre Kapalı	9,35	341	380	0,90
	9. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6-7-8. Hücre Kapalı	8,35	305	380	0,80
	10. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6-7-8-9. Hücre Kapalı	7,55	276	380	0,72

Yalnız 1. Hücre Aktif	78,67	2871	586	4,90
2. Hücre Aktif, 1. Hücre Kapalı	40,14	1465	586	2,50
3. Hücre Aktif, 1-2. Hücre Kapalı	27,30	996	586	1,70
4. Hücre Aktif, 1-2-3. Hücre Kapalı	20,88	762	586	1,30
5. Hücre Aktif, 1-2-3-4. Hücre Kapalı	17,03	621	586	1,06
6. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5. Hücre Kapalı	14,46	528	586	0,90
7. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6. Hücre Kapalı	12,62	461	586	0,79
8. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6-7. Hücre Kapalı	11,25	411	586	0,70
9. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6-7-8. Hücre Kapalı	10,18	371	586	0,63
10. Hücre Aktif, 1-2-3-4-5-6-7-8-9. Hücre Kapalı	9,32	340	586	0,58

Bu senaryo sonuçları dikkate alındığında, boş hücrelerden gelen yağmur sularının ayrıca toplanıp uzaklaştırılmasının bilhassa yağışlı bölgelerde sızıntı suyu oluşumunu büyük oranda azaltabileceği görülmektedir.

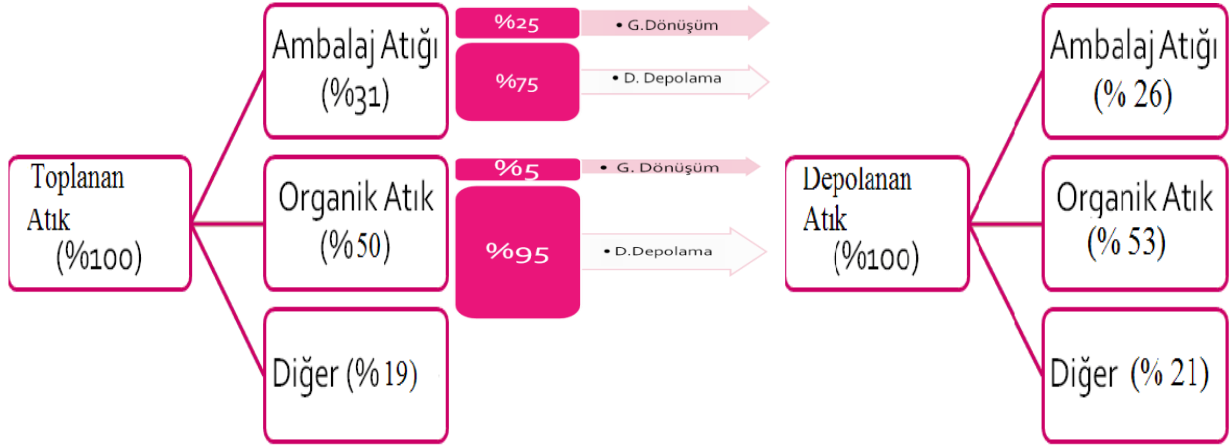
## **SENARYO 2**

***Senaryo Tanımı:*** Malatya ve Çanakkale için ambalaj atıklarının %25' i ile organik atıkların %5'inin geridönüşümü halinde sızıntı suyu miktarının hücre büyüklüğü ile değişimi

Bu senaryonun amacı, yüksek kapasiteli ikili toplamanın uygulanmadığı hallerde, sınırlı kapasitede atık azaltım uygulamaları (atık toplama merkezleri + atık kumbaraları ile ambalaj atıkları gerikazanımı, basit kompostlaştırma yöntemi ile park ve bahçe ve pazaryeri atığı geridönüşümü) ile %25 ambalaj atığı ve %5 organik atık geridönüşümü sağlandığı takdirde, toplanan karışık atığın kompozisyonunda meydana gelecek değişikliğin aktif ve kapanmış hücrelerde oluşan sızıntı suyu miktarı üzerine olan etkisinin ortaya konmasıdır.

Çalışma kapsamında; Türkiye'nin 2 farklı coğrafi ve iklimsel özelliğini temsilen seçilen; Çanakkale ve Malatya illeri'nde kurulu, izafi bölgesel atık depolama sahalarında oluşacak sızıntı suyu miktarları hesaplanmıştır. Hesaplarda daha önce Bölüm 5.2'de belirtilen temel kabullere ek olarak 20 ha.'lık depolama alanındaki bölüm (lot, hücre) alanlarının 2, 4, 5 ve 10 ha. olması esas alınmış olup, Senaryo 1A hariç, diğer senaryolardaki gibi, boş hücrelerin yağmur sularının da ayrıca toplanıp uzaklaştırıldığı kabul edilmiştir.

Senaryo 2 kapsamında düzenli depolama alanlarına kabul edilen atığın, mevcut Türkiye şartlarındaki tipik karışık atık üzerinden sınırlı kapasitede atık azaltımı uygulamaları (%25 ambalaj atığı ve %5 organik atık geridönüşümü) ile Şekil 5-10'daki yüzdelere sahip ana madde gruplarından oluşacağı esas alınmıştır:



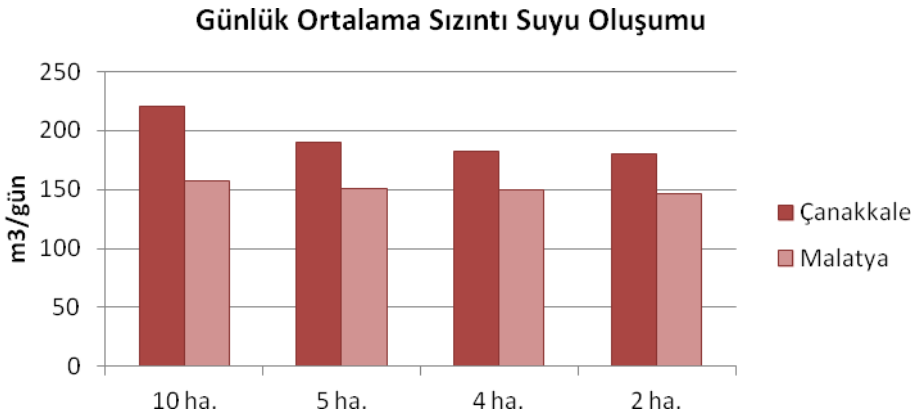
**Şekil 5-10** Senaryo 2 kapsamında depolanan atığın ana madde grupları

Toplanan atık miktarı, Düzenli Depolama tesisine bağlı alanda (mücvir alanlar da dahil) üretilen atığın %85'i olarak kabul edilmiştir. Bu durumda üretilen atığın  $\leq$  %15'i atık toplama hizmetleri kapsamı dışında kalmaktadır. Çalışma kapsamında incelenen 2 ilde kurulduğu varsayılan izafi depolama alanlarında Senaryo 2'de tanımlanan şartlar altında oluşan sızıntı suyu miktarları Ek IV'de hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5-10'da özetlenmiştir.

**Tablo 5-10** İncelenen iki ilde Senaryo 2 için sızıntı suyu debileri (İşletim süresi=20 yıl)

	10 ha			5 ha			4 ha			2 ha		
	Maks. $Q_{gün-ort}$ $m^3/gün$	Ort. $Q_{gün-ort}$ $m^3/gün$	Min. $Q_{gün-ort}$ $m^3/gün$	Maks. $Q_{gün-ort}$ $m^3/gün$	Ort. $Q_{gün-ort}$ $m^3/gün$	Min. $Q_{gün-ort}$ $m^3/gün$	Maks. $Q_{gün-ort}$ $m^3/gün$	Ort. $Q_{gün-ort}$ $m^3/gün$	Min. $Q_{gün-ort}$ $m^3/gün$	Maks. $Q_{gün-ort}$ $m^3/gün$	Ort. $Q_{gün-ort}$ $m^3/gün$	Min. $Q_{gün-ort}$ $m^3/gün$
Çanakkale	221	220±	220	200	190±	29	200	182±	172	190	180±	160
		0,43			5,86			6,64			12,75	
Malatya	160	159±	158	160	151±	149	151	149±	147	149	146±	143
		26			1,26			1,41			1,91	

Sözkonusu illerdeki izafi depolama alanlarından oluşması beklenen günlük ortalama sızıntı suyu debilerinin hücre büyüklüğüne göre değişimleri de Şekil 5-11'de ayrıca verilmiştir. Şekil'den de görüldüğü üzere farklı iklimsel özellik gösteren yerleşimlerdeki izafi depolama alanlarında oluşması beklenen sızıntı suyu debileri Senaryo 1A ve 1B'deki gibi azalan hücre büyüklüğü ve yağış yüksekliği ile önemli derecede azalmaktadır.



**Şekil 5-11** Günlük ortalama sızıntı suyu oluşum miktarları

Türkiye ortalaması civarında yağışlı bir iklimi temsil eden Çanakkale’de ortalama sızıntı suyu debisi 10 ha’lık hücrede Senaryo 1B’de (atık azaltımı olmaksızın tipik karışık atığın depolanması) 230 m<sup>3</sup>/gün iken Senaryo 2’de 220 m<sup>3</sup>/gün’e (~ % 4 azalma) gerilemektedir.

Kurak iklimi temsil eden Malatya için ise sözkonusu debiler Senaryo 1B’deki 170 m<sup>3</sup>/gün’den 159 m<sup>3</sup>/gün’e (~ % 6 azalma) gerilemektedir.

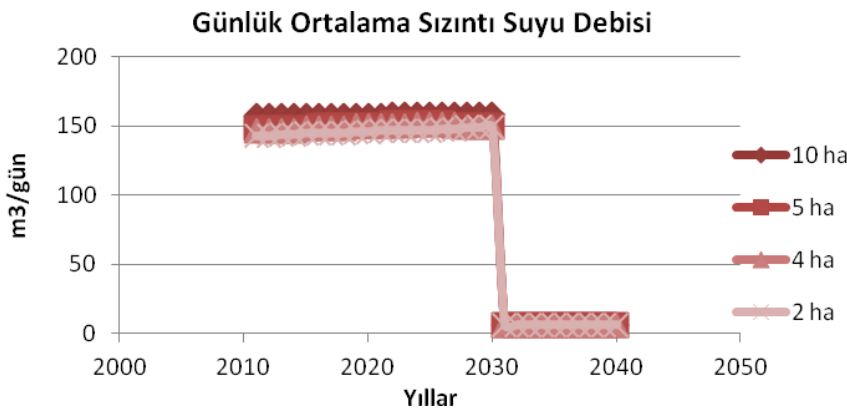
Sınırlı kapasitede atık azaltımı uygulaması halinde, sızıntı suyu miktarında; her iki iklim koşulunu temsil eden bölgeler için ancak cüz’i oranda azalmalar görülmüştür.

İki farklı iklimde de sızıntı suyu oluşumu küçülen hücre alanına bağlı olarak geometrik biçimde azalmaktadır. Senaryo 2 şartlarında sözkonusu azalma 2 ha’lık hücrelerde 10 ha’lık hücrelere göre;

- Çanakkale için ~ % 18
- Malatya için ~ % 8

oranlarında gerçekleşmektedir.

Sızıntı suyu oluşumu, 20 yıllık işletme dönemini izleyen 10 yıllık devrede de tahmin edilmiştir (Şekil 5-12). Düzenli depolama alanları kapandıktan sonra sızıntı suyu oluşumu ani bir azalma ile örneğin Malatya’da ~150 m<sup>3</sup>/gün seviyelerinden ~6-7 m<sup>3</sup>/gün’e (~ %95 azalma) düşmektedir.



**Şekil 5-12** Depolama alanı işletim süresi ve kapanmayı izleyen 10 yıllık devrede sızıntı suyu oluşumu (Malatya)

Bu senaryo sonuçları dikkate alındığında, %25 ambalaj atığı ve %5 organik atık geridönüşümü sağlandığı takdirde (atık toplama merkezleri + atık kumbaraları ile ambalaj atıkları gerikazanımı, basit kompostlaştırma yöntemi ile park/bahçe ve pazaryeri atığı geridönüşümü) saha işletim stratejisi olarak olabildiğince küçük hücrelerde atık depolanması ile oluşan sızıntı suyu miktarının az da olsa azalacağı görülmektedir. Bu durumda depolanan atığın su muhtevasının da çekilen ambalaj atığı oranına bağlı olarak bir miktar artması beklenmelidir.

### **SENARYO 3**

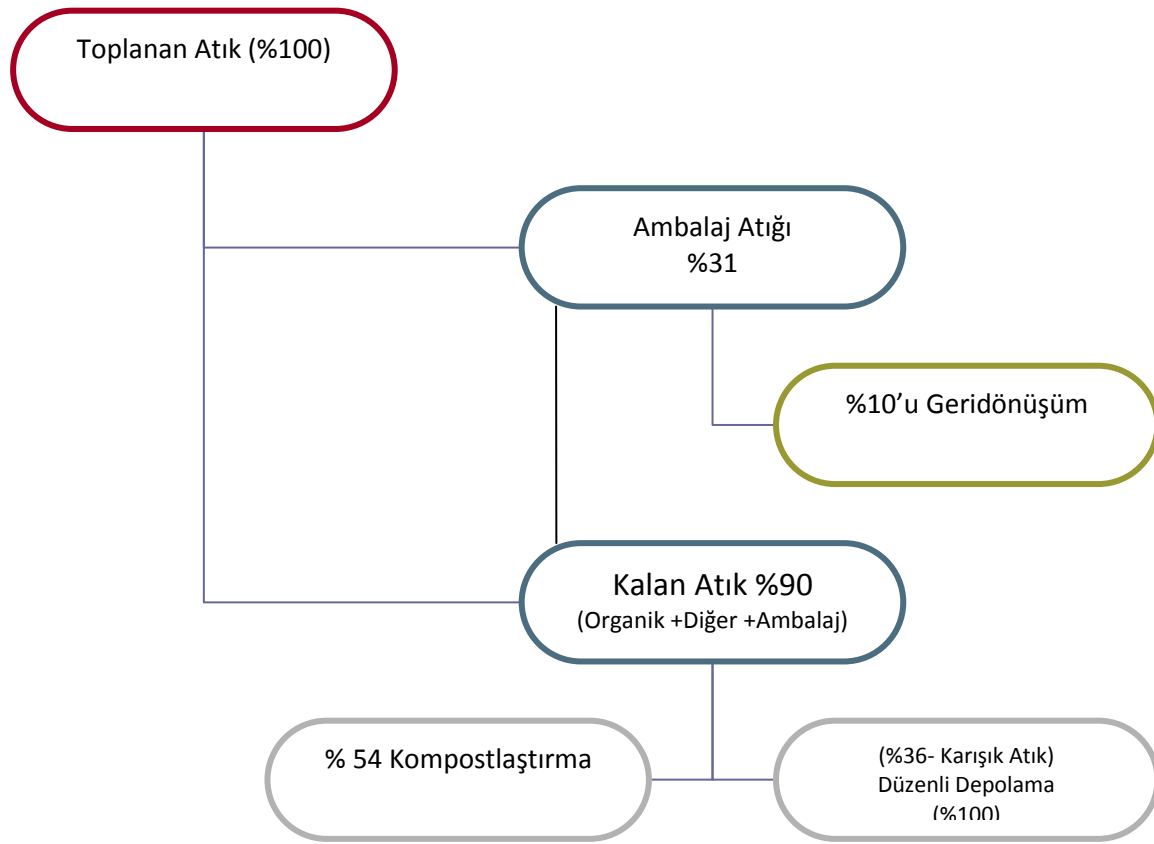
***Senaryo Tanımı:*** Malatya ve Çanakkale için ambalaj atıklarının %33’ünün geridönüşümü, geriye kalan karışık atığın kompostlaştırılması ve kompost artığı olan %40 lık kısmın depolanması durumunda, sızıntı suyu miktarının hücre büyüklüğü ile değişimi

Bu senaryonun amacı, ambalaj atıklarının %33’ünün geridönüşümü, geriye kalan karışık atığın kompostlaştırılması ve kompost artığı olan %40 lık kısmın depolanması durumu için, toplanan karışık atığın

miktar ve kompozisyonunda meydana gelecek değişikliğin aktif ve kapanmış hücrelerde oluşan sızıntı suyu miktarı üzerine olan etkisinin ortaya konmasıdır.

Çalışma kapsamında; Türkiye'nin 2 farklı coğrafi ve iklimsel özelliğini temsil eden seçilen; Çanakkale ve Malatya illeri'nde kurulu, izafi bölgesel atık depolama sahalarında oluşacak sızıntı suyu miktarları hesaplanmıştır. Hesaplarda daha önce Bölüm 5.2'de belirtilen temel kabullere ek olarak 20 ha.'lık depolama alanındaki bölüm (lot, hücre) alanlarının 1, 2 ve 4 ha. olması esas alınmıştır.

Senaryo 3 kapsamında düzenli depolama alanlarına kabul edilen atığın, mevcut Türkiye şartlarındaki tipik karışık atık üzerinden sınırlı kapasitede atık azaltımı uygulamaları (%33 ambalaj atığı geridönüşümü, geriye kalan karışık atığın kompostlaştırılması ve kompost artığı olan %40 lık kısmın depolanması) ile şekil 5-13'deki yüzdelerle sahip ana madde gruplarından oluşacağı esas alınmıştır:



**şekil 5-13** Senaryo 3 kapsamında depolanan atık

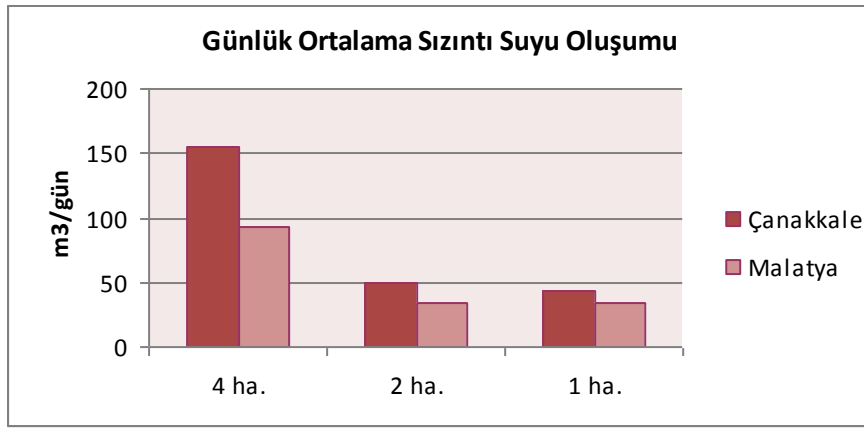
Toplanan atık miktarı, Düzenli Depolama tesisine bağlı alanda (mücavir alanlar da dahil) üretilen atığın %85'i olarak kabul edilmiştir. Bu durumda üretilen atığın ≤ %15'i atık toplama hizmetleri kapsamı dışında kalmaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen 2 ilde kurulduğu varsayılan izafi depolama alanlarında Senaryo 3'de tanımlanan şartlar altında oluşan sızıntı suyu miktarları Ek V'de hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5-11'de özetlenmiştir.

**Tablo 5-11** İncelenen iki ilde Senaryo 3 için sızıntı suyu debileri (işletim süresi=20 yıl)

İller	1 ha			2 ha			4 ha		
	Maks. Qgün-ort	Ort. Qgün-ort	Min. Qgün-ort	Maks. Qgün-ort	Ort. Qgün-ort	Min. Qgün-ort	Maks. Qgün-ort	Ort. Qgün-ort	Min. Qgün-ort
	m <sup>3</sup> /gün	m <sup>3</sup> /gün	m <sup>3</sup> /gün	m <sup>3</sup> /gün	m <sup>3</sup> /gün	m <sup>3</sup> /gün	m <sup>3</sup> /gün	m <sup>3</sup> /gün	m <sup>3</sup> /gün
Çanakkale	46	43±2,84	38	60	50±2,84	40	156	155±1,36	154
Malatya	34	33±0,59	30	35	34±0,61	30	100	93±0,30	92

Söz konusu illerdeki izafi depolama alanlarından oluşması beklenen günlük ortalama sızıntı suyu debilerinin hücre büyüklüğüne göre değişimleri de Şekil 5-14’de ayrıca verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere farklı iklimsel özellik gösteren yerleşimlerdeki izafi depolama alanlarında oluşması beklenen sızıntı suyu debileri, önceki senaryolarda olduğu gibi azalan hücre büyüklüğü ve yağış yüksekliği ile önemli derecede azalmaktadır.



**Şekil 5-14** Günlük ortalama sızıntı suyu oluşum miktarları

Yağışlı iklimi temsil eden Çanakkale’de ortalama sızıntı suyu debisi 2 ha’lık hücrede Senaryo 2’de 180 m<sup>3</sup>/gün iken Senaryo 3’de 50 m<sup>3</sup>/gün’e (~ % 72 azalma) gerilemektedir.

Kurak iklimi temsil eden Malatya için ise söz konusu debiler Senaryo 2’deki 146 m<sup>3</sup>/gün’den 34 m<sup>3</sup>/gün’e (~ % 76 azalma) gerilemektedir.

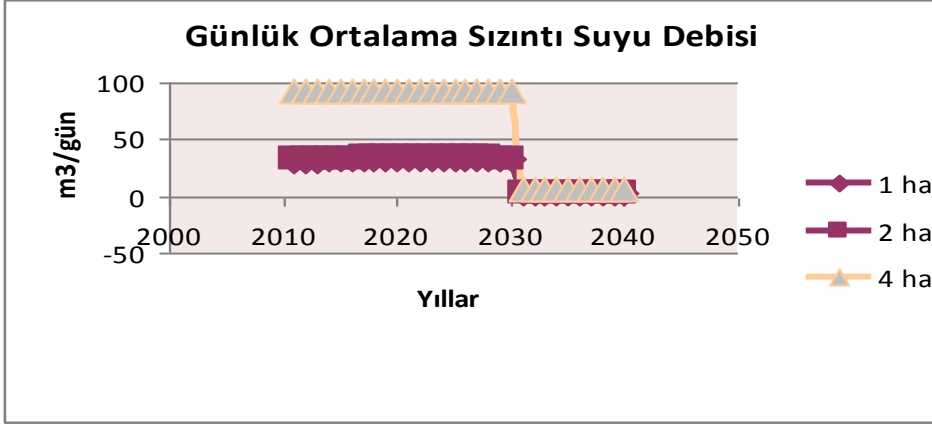
Karışık atığın kompostlaştırılması ve kompost atığının düzenli depolamaya gönderilmesi (ambalaj atıklarının %33’ünün geridönüşümü, geriye kalan karışık atığın kompostlaştırılması ve kompost artığı olan %40 lık kısmın depolanması durumu) halinde, sızıntı suyu miktarında; her iki iklim koşulunu temsil eden bölgeler için büyük oranda azalmalar görülmüştür.

İki farklı iklimde de sızıntı suyu oluşumu küçülen hücre alanına bağlı olarak geometrik biçimde azalmaktadır. Senaryo 3 şartlarında söz konusu azalma 1 ha’lık hücrelerde 4 ha’lık hücrelere göre;

- Çanakkale için ~ % 72
- Malatya için ~ % 65

oranlarında gerçekleşmektedir.

Sızıntı suyu oluşumu, 20 yıllık işletme dönemini izleyen 10 yıllık devrede de tahmin edilmiştir (Şekil 5-15). Düzenli depolama alanları kapandıktan sonra sızıntı suyu oluşumu ani bir azalma ile örneğin Malatya’da ~ 75 m<sup>3</sup>/gün seviyelerinden ~ 5 m<sup>3</sup>/gün’e (~ %85 ) düşmektedir.



**Şekil 5-15** Depolama alanı işletim süresi ve kapanmayı izleyen 10 yıllık devrede sızıntı suyu oluşumu (Malatya)

Bu senaryo sonuçları dikkate alındığında, ambalaj atıklarının belli oranda (%33) gerikazanımı (atık toplama merkezleri + atık kumbaraları ile) sağlandığı takdirde basit kompostlaştırma uygulamaları (karışık atığın kompostlaştırılması) ile olabildiğince küçük hücrelerde (bölüm/lot) çalışmanın sızıntı suyu miktarını önemli ölçüde azaltacağı görülmektedir.

#### **SENARYO 4**

***Senaryo Tanımı:*** Malatya ve Çanakkale için Entegre Katı Atık Yönetimi (yüksek kapasiteli ikili toplama) uygulanması halinde, su muhtevasının %40'lardan kademeli olarak %27'lere düşmesi durumu için, sızıntı suyu miktarının hücre büyüklüğü ile değişimi

Bu senaryonun amacı, yüksek kapasiteli ikili toplamanın uygulandığı durumlarda, depolanan karışık atığın miktar ve kompozisyonunda meydana gelecek değişikliklerin aktif ve kapanmış hücrelerde oluşan sızıntı suyu miktarı üzerine olan etkisinin ortaya konmasıdır.

Çalışma kapsamında; Türkiye'nin 2 farklı coğrafi ve iklimsel özelliğini temsilen seçilen; Çanakkale ve Malatya illeri'nde kurulu, izafi bölgesel atık depolama sahasında oluşacak sızıntı suyu miktarları hesaplanmıştır. Hesaplarda daha önce Bölüm 5.2'de belirtilen temel kabullere ek olarak 20 ha.'lık depolama alanındaki bölüm (lot, hücre) alanlarının 2, 4, 5 ve 10 ha. olması esas alınmıştır.

Entegre Atık Yönetimi kapsamında, Katı Atık Ana Planı (KAAP, 2006) çerçevesinde hazırlanan Tip Proje 7; Arıtma/Bertaraf Tesisleri İşletme Alım Tarihleri ve bu bertaraf tesislerince atıktan çekilecek yüzdeler veri olarak kullanılmıştır (Ek VI).

Senaryo 4 kapsamında (kademeli olarak yüksek kapasiteli ikili toplamanın uygulanması durumunda), düzenli depolama alanlarına kabul edilen atığın su muhtevası dönemsel olarak;

2011-2015; % 37 atık azaltımı halinde; % 40  
 2015-2020; % 50 atık azaltımı halinde; % 35  
 2020-2025; % 52 atık azaltımı halinde; % 30  
 2025-2029; % 53 atık azaltımı halinde; % 27  
 2029-2030; % 54 atık azaltımı halinde; % 27  
 olarak alınmıştır.

Toplanan atık miktarı, Düzenli Depolama tesisine bağlı alanda (mücvir alanlar da dahil) üretilen atığın %85'i olarak kabul edilmiştir. Bu durumda üretilen atığın ≤ %15'i atık toplama hizmetleri kapsamı dışında kalmaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen 2 ilde kurulduğu varsayılan izafi depolama alanlarında Senaryo 4’de tanımlanan şartlar altında oluşan sızıntı suyu miktarları Ek VII’de hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5-12’de özetlenmiştir.

**Tablo 5-12** İncelenen iki ilde Senaryo 4 için sızıntı suyu debileri (İşletim süresi=20 yıl)

İller	10 ha			5 ha			4 ha			2 ha		
	Maks. Qgün-ort m3/gün	Ort. Qgün-ort m3/gün	Min. Qgün-ort m3/gün	Maks. Qgün-ort m3/gün	Ort. Qgün-ort m3/gün	Min. Qgün-ort m3/gün	Maks. Qgün-ort m3/gün	Ort. Qgün-ort m3/gün	Min. Qgün-ort m3/gün	Maks. Qgün-ort m3/gün	Ort. Qgün-ort m3/gün	Min. Qgün-ort m3/gün
Çanak.	129	107±14,14	92	90	70±9,80	82	88	70±8,16	60	65	48±8,16	39
Malatya	64	41±14,14	26	54	34±13,14	49	53	30±12,15	20	40	30±12,98	15

Sözkonusu illerdeki izafi depolama alanlarından oluşması beklenen günlük ortalama sızıntı suyu debilerinin hücre büyüklüğüne göre değişimleri de Şekil 5-16’da ayrıca verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere farklı iklimsel özellik gösteren yerleşimlerdeki izafi depolama alanlarında oluşması beklenen sızıntı suyu debileri önceki senaryolarda olduğu gibi azalan hücre büyüklüğü ve yağış yüksekliği ile önemli derecede azalmaktadır.



**Şekil 5-16** Günlük ortalama sızıntı suyu oluşum miktarları

Türkiye ortalaması civarında yağışlı bir iklimi temsil eden Çanakkale’de ortalama sızıntı suyu debisi 10 ha’lık hücrede Senaryo 2’de (%25 ambalaj atığı geri kazanımı ve %5 organik atık geridönüşümü) 220 m<sup>3</sup>/gün iken Senaryo 4’de 107 m<sup>3</sup>/gün’e (~ % 51 azalma) gerilemektedir.

Kurak iklimi temsil eden Malatya için ise sözkonusu debiler Senaryo 2’deki 159 m<sup>3</sup>/gün’den 41 m<sup>3</sup>/gün’e (~ % 74 azalma) gerilemektedir. Yüksek kapasiteli ikili toplama uygulanması halinde, farklı iklim koşullarını temsil eden bölgeler için sızıntı suyu miktarında büyük oranda azalmalar görülmüştür.

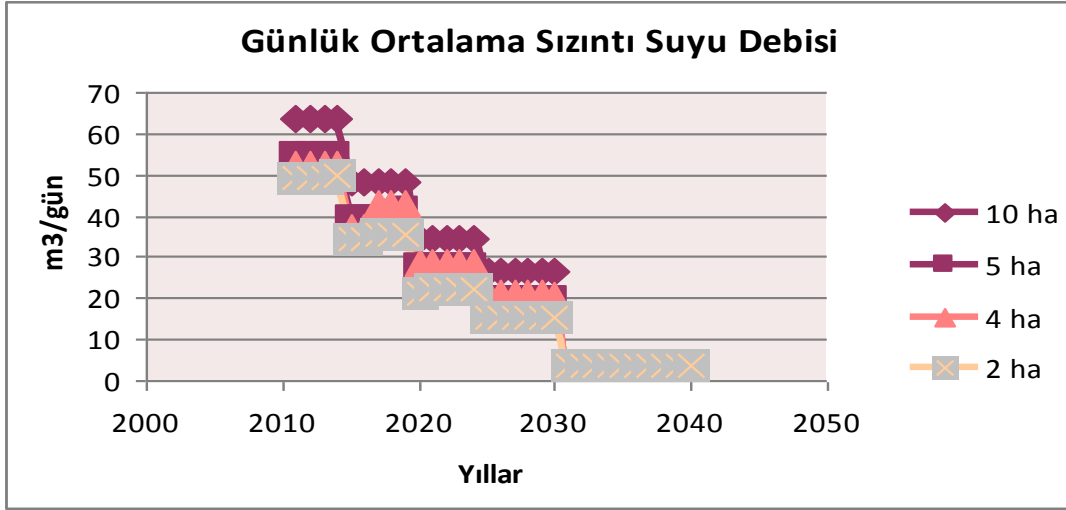
İki farklı iklimde de sızıntı suyu oluşumu küçülen hücre alanına bağlı olarak üstel biçimde azalmaktadır. Senaryo 4 şartlarında sözkonusu azalma 2 ha’lık hücrelerde 10 ha’lık hücrelere göre;

- Çanakkale için ~ % 55
- Malatya için ~ % 30

oranlarında gerçekleşmektedir.



Sızıntı suyu oluşumu, 20 yıllık işletme dönemini izleyen 10 yıllık devrede de tahmin edilmiştir (Şekil 5-17). Düzenli depolama alanları kapandıktan sonra sızıntı suyu oluşumu ani bir azalma ile örneğin Malatya’da ~50 m<sup>3</sup>/gün seviyelerinden ~5 m<sup>3</sup>/gün’e (~ %90 azalma) düşmektedir.



Şekil 5-17 Depolama alanı işletim süresi ve kapanmayı izleyen 10 yıllık devrede sızıntı suyu oluşumu (Malatya)

Bu senaryo sonuçları dikkate alındığında, yüksek kapasiteli ikili toplama uygulamaları ile olabildiğince küçük hücrelerde (bölüm/lot) çalışmakla sızıntı suyu miktarının çok büyük ölçüde azaltılabileceği görülmektedir.

### **SENARYO 5**

***Senaryo Tanımı:*** Malatya için kurak ve yağışlı yılları temsil etmek üzere yağış durumunun değişimi halinde, atık akışı ve buharlaşma sabitken, sızıntı suyu miktarının hücre büyüklüğü ile değişimi

Bu senaryonun amacı, yağış rejimi değişikliklerinin aktif ve kapanmış hücrelerde oluşan sızıntı suyu miktarı üzerine olan etkisinin ortaya konmasıdır.

Çalışma kapsamında; bölge için kurak ve yağışlı yılları temsil etmek üzere; Malatya için yıllık ortalama yağışın % 25 ve 50 üzeri ve altında yağış alınması durumlarında, Malatya İli’nde kurulu, izafi bölgesel atık depolama sahasında oluşacak sızıntı suyu miktarının değişimi hesaplanmıştır. Hesaplarda daha önce Bölüm 5.2’de belirtilen temel kabullere ek olarak 20 ha.’lık depolama alanındaki bölüm (lot, hücre) alanlarının 2, 4, 5 ve 10 ha. olması esas alınmıştır (Tablo 5-3).

Düzenli depolama alanlarına kabul edilen mevcut Türkiye şartlarındaki tipik karışık atığın ana madde grupları itibarı ile Şekil 5-5’deki gibi olduğu esas alınmıştır.

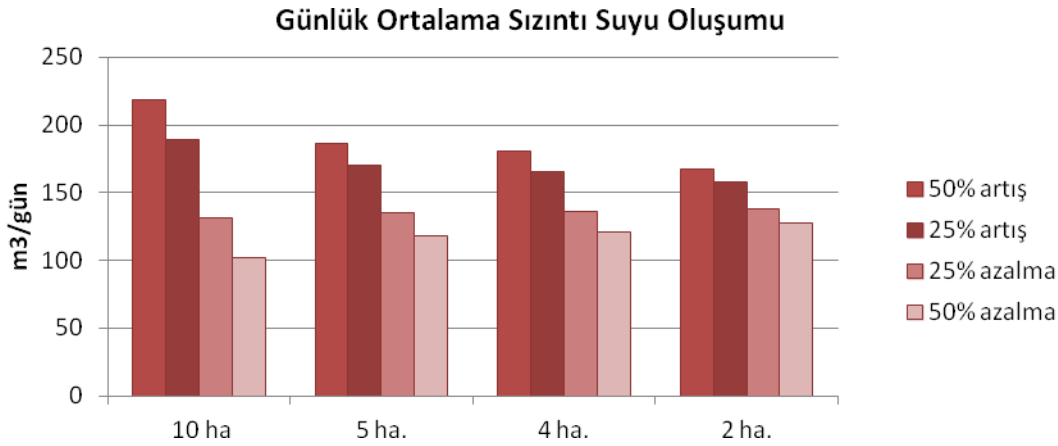
Toplanan atık miktarı, Düzenli Depolama tesisine bağlı alanda (mücadir alanlar da dahil) üretilen atığın %85’i olarak kabul edilmiştir. Bu durumda üretilen atığın ≤ %15’i atık toplama hizmetleri kapsamı dışında kalmaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen bölgede kurulduğu varsayılan izafi depolama alanında Senaryo 5’de tanımlanan şartlar altında oluşan sızıntı suyu miktarları Ek VIII’de hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5-13’de özetlenmiştir.

**Tablo 5-13** İncelenen ilde Senaryo 5 için sızıntı suyu debileri (İşletim süresi=20 yıl)

Yıllık Ortalama Yağış Değişimleri	10 ha			5 ha			4 ha			2 ha		
	Maks. Qgün-ort	Ort. Qgün-ort	Min. Qgün-ort	Maks. Qgün-ort	Ort. Qgün-ort	Min. Qgün-ort	Maks. Qgün-ort	Ort. Qgün-ort	Min. Qgün-ort	Maks. Qgün-ort	Ort. Qgün-ort	Min. Qgün-ort
%	m3/gün	m3/gün	m3/gün	m3/gün	m3/gün	m3/gün	m3/gün	m3/gün	m3/gün	m3/gün	m3/gün	m3/gün
25% artış	194	189±4,48	185	176	170±5,01	163	173	166±5,08	159	166	158±5,11	150
50% artış	225	218±7,18	211	197	187±8,03	176	192	180±8,13	169	180	168±8,25	155
25% azalma	132	131±0,94	130	137	135±1,03	134	138	136±1,06	135	139	138±1,08	136
50% azalma	106	102±3,64	99	123	118±4,09	113	127	121±4,11	116	134	128±4,22	121

Söz konusu ildeki izafi depolama alanından oluşması beklenen günlük ortalama sızıntı suyu debilerinin hücre büyüklüğüne göre değişimleri de Şekil 5-18'de ayrıca verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, Malatya'da yağışlı ve kurak dönemleri yansıtan yağış yükseklikleri için izafi depolama alanında oluşması beklenen sızıntı suyu debileri, diğer senaryolardakine benzer olarak, azalan hücre büyüklüğü ile de önemli derecede azalmaktadır.

**Şekil 5-18** Günlük ortalama sızıntı suyu oluşum miktarları

Yağışlı dönemleri temsil eden yıllık ortalama yağışın %50 üzeri yağışlar halinde, ortalama sızıntı suyu debisi 10 ha'lık hücrede 218 m<sup>3</sup>/gün iken, yıllık ortalama yağış için 160 m<sup>3</sup>/gün civarında (~ % 26 daha az) gerçekleşmesi beklenmektedir.

Bölgede sızıntı suyu oluşumu küçülen hücre alanına bağlı olarak üstel biçimde azalmaktadır. Senaryo 5 şartlarında söz konusu azalma 2 ha'lık hücrelerde 10 ha'lık hücrelere göre;

- % 50 yağış fazlası için ~ % 23
- % 25 yağış fazlası için ~ % 16
- % 25 daha az yağış için ~ % 105
- % 50 daha az yağış için ~ % 120

oranlarında gerçekleşmektedir.

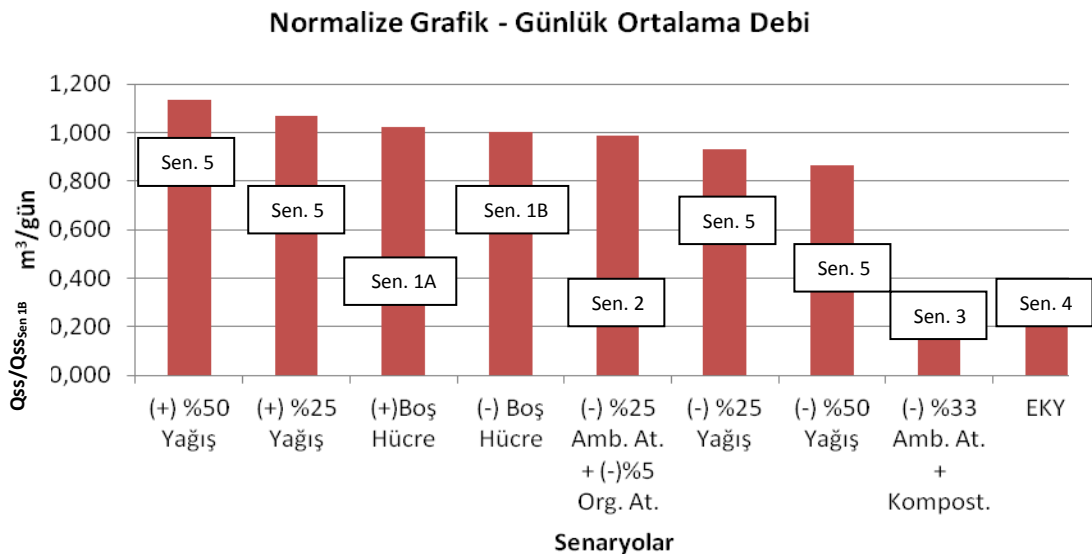
Sızıntı suyu oluşumu, 20 yıllık işletme dönemini izleyen 10 yıllık devrede de tahmin edilmiştir (Şekil 5-19). Düzenli depolama alanları kapandıktan sonra sızıntı suyu oluşumu ani bir azalma ile örneğin %50 ve %25 yağış fazlası için;  $\sim 150 \text{ m}^3/\text{gün}$  seviyelerinden  $\sim 20 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'e ( $\sim \%85$  azalma) düşmektedir. Yağışın yıllık ortalama yağıştan az olduğu dönemlerde (%25 ve %50 daha az) ise depolama alanları kapatıldıktan sonra sızıntı suyu oluşmamaktadır.



**Şekil 5-19** Depolama alanı işletim süresi ve kapanmayı izleyen 10 yıllık devrede sızıntı suyu oluşumu (Malatya)

Bu senaryo sonuçları dikkate alındığında, depolama alanı bölgesine ait iklimsel koşulların (kurak ya da yağışlı yıllar) sızıntı suyu debisini önemli oranda etkileyebileceği söylenebilir.

Daha önceki bölümlerde incelenen senaryolar Malatya İli özelinde 20 ha.'lık bir alanda  $\sim 150.000$  ton/yıl atık akışı ve 2 ha.'lık hücrelerde işletim durumu için normalize edilerek günlük ortalama sızıntı suyu debisi cinsinden kıyaslandığında Şekil 5-20'deki durum ortaya çıkmaktadır. Şekilden de görüldüğü üzere baz senaryo olan Senaryo 1B'den pozitif yöndeki en büyük sapma ( $\sim 1,1$  kat) yıllık ortalama yağışın %50 üzerinde yağış gözlenmesi durumunda (Senaryo 5), negatif yöndeki en büyük sapma (azalma) ise  $\sim 0,2$  kat ile Senaryo 4 durumunda ortaya çıkmaktadır. Dolayısı ile sızıntı suyu oluşumu azaltımındaki en etkin yaklaşımın Entegre Katı Atık Yönetimi (yüksek oranda ikili toplama, ambalaj ve biyobozunur atık geridönüşümü) olduğu açıktır.



**Şekil 5-20** Malatya'da farklı senaryolar için oluşan ortalama sızıntı suyu miktarlarının Senaryo 1B'ye göre normalize durumları (A=2 ha., A<sub>top</sub>= 20 ha.)

Katı atık depolama tesislerinde muhtemel yönetim stratejileri geliştirerek sızıntı suyu oluşumunu en aza indirmek üzere, Bölüm 5’de detaylı olarak incelenen hususlar ışığında elde edilen başlıca sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Düzenli depolama tesisleri işletimi olabildiğince küçük ( $\leq 2-3$  ha.) hücreler (bölüm/lot) ile yürütülmelidir.
- Boş hücrelerden gelen yağmur suları ayrıca toplanıp uzaklaştırılmalı ve sızıntı suları ile hiçbir şekilde karıştırılmamalıdır
- Dolan hücrelerin üzerinin vakit geçirmeksizin eğimli nihai örtü tabakası ile kapatılması sağlanmalıdır.
- Atık azaltımı ve özellikle yüksek kapasiteli ikili (ayrı) toplamayı esas alan Entegre Katı Atık Yönetimi ile her durumda en düşük sızıntı suyu üretimi gözlenmektedir. Bu kapsamda mutfak atıklarına anaerobik /aerobik arıtma uygulanarak kompost/biyometan gerikazanılıp sızıntı suyu oluşumu minimize edilebilir.
- Su muhtevası yüksek ( $\sim 85\%$ ) atıklar /özellikle lokanta, kantin, yemekhane atıkları)ayrı toplanıp tercihen çamur çürütücülerde çürütülerek biyometan gerikazanılabilir. Böylece karışık atığın su muhtevasında duruma göre 5-10 birimlik bir azalma sağlanarak Sızıntı suyu oluşumu kısmen azaltılabilir.
- Türkiye’nin kurak ( $\leq 500$  mm yıllık ortalama yağış alan) bölgelerinde oluşan atık miktarındaki sızıntı sularının kapalı hücrelere geri devrini esas alan Biyoreaktör Tipi Depolama Tesisi tasarımı uygulanarak net sızıntı suyu çıkışı minimize edilip biyogaz oluşumu ve stabilizasyon hızı arttırılabilir.

## 6 DEĞERLENDİRME, SONUÇ ve ÖNERİLER

Katı atık sızıntı sularının sürdürülebilir yönetim ve kontrol yöntemlerini geniş bir perspektifte araştırarak Türkiye için uygulanabilir seçenekleri ortaya koymak üzere çalışan İhtisas Komisyonu'muzun önceki bölümlerde detaylı olarak belirtilen hususlar çerçevesinde ulaştığı başlıca sonuçlar ile çözüme yönelik önerileri aşağıda özetlenmiştir:

### 6.1 Sızıntı Suyu Miktarının Azaltılması

Katı atık depolama tesislerinde muhtemel yönetim stratejileri geliştirerek sızıntı suyu oluşumunu en aza indirmek üzere, Bölüm 5'de detaylı olarak incelenen hususlar ışığında elde edilen başlıca sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Düzenli depolama tesisleri işletimi olabildiğince küçük ( $\leq 2-3$  ha.) hücreler (bölüm/lot) ile yürütülmelidir.
- Boş hücrelerden gelen yağmur suları ayrıca toplanıp uzaklaştırılmalı ve sızıntı suları ile hiçbir şekilde karıştırılmamalıdır
- Dolan hücrelerin üzerinin vakit geçirmeksizin eğimli nihai örtü tabakası ile kapatılması sağlanmalıdır.
- Atık azaltımı ve özellikle yüksek kapasiteli ikili (ayrı) toplamayı esas alan Entegre Katı Atık Yönetimi ile her durumda en düşük sızıntı suyu üretimi gözlenmektedir. Bu kapsamda mutfak atıklarına anaerobik /aerobik arıtma uygulanarak kompost/biyometan gerikazanılıp sızıntı suyu oluşumu minimize edilebilir.
- Su muhtevası yüksek ( $\sim 85\%$ ) atıklar /özellikle lokanta, kantin, yemekhane atıkları)ayrı toplanıp tercihen çamur çürütücülerde çürütülerek biyometan gerikazanılabilir. Böylece karışık atığın su muhtevasında duruma göre 5-10 birimlik bir azalma sağlanarak Sızıntı suyu oluşumu kısmen azaltılabilir.
- Türkiye'nin kurak ( $\leq 500$  mm yıllık ortalama yağış alan) bölgelerinde oluşan atık miktarındaki sızıntı sularının kapalı hücrelere geri devrini esas alan Biyoreaktör Tipi Depolama Tesisi tasarımı uygulanarak net sızıntı suyu çıkışı minimize edilip biyogaz oluşumu ve stabilizasyon hızı artırılabilir. Ancak biyoreaktör tipi depolama tesislerinin tasarım ve işletiminde sızıntı suyu toplama ve depolama sistemi kapasitesinin artırılması ile özellikle yüksek amonyak dolayısıyla olası inhibisyon riskine karşı gerekli tedbirler alınmalıdır.

### 6.2 Sızıntı Suyu Kontrolü ve Arıtımı

#### ***Sızıntı Suyu Toplama ve Biriktirme Sistemi:***

Sızıntı suyu toplama ve yağmursuyu çevresel drenaj sistemi hidrolik kapasitesi, Dünya genelinde yaygın olarak kabul gördüğü üzere, 25 yıl tekerrürlü 24 saat süreli maksimum yağış yüksekliği esas alınarak tayin edilmelidir. Sızıntı suyu biriktirme/dengeleme havuzu asgari kapasitesinin belirlenmesinde de 100 yıl tekerrürlü 24 saatlik maksimum yağış esas alınmalıdır.

Biyoreaktör olarak tasarlanıp işletilen tesislerde yukarıda belirtilen kapasiteler (özellikle sızıntı suyu drenaj sistemi kapasitesi) %100'e varan oranlarda artırılmalıdır.

### **Sızıntı Suyu Arıtımı:**

**Dahili Arıtım:** Özellikle yıllık ortalama yağış yüksekliğinin  $\leq 500$  mm olduğu kurak ve ılıman bölgelerdeki Düzenli Depolama Tesisleri, biyoreaktör konseptine uygun olarak sızıntı suyu kapalı hücreler üzerine geri devrettirilmek suretiyle işletilip harici arıtma ihtiyaç/kapasitesi asgari düzeylere çekilebilir. Bu tür bir işletmenin biyoreaktör konseptine uygun olarak (depolanan atık yığnında su muhtevası ve iletkenlik dağılımı dikkate alınarak) ve amonyak inhibisyonuna imkan verilmeksizin yürütülmesi kritik önem taşımaktadır.

**Harici Arıtım:** Türkiye'nin AB ile Uyumlu Entegre Atık Yönetimi Stratejik Planı ve ÇOB Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012) çerçevesinde kurulan Bölgesel Atık Düzenli Depolama Tesisleri'nde oluşan sızıntı sularının harici arıtımında öncelikle, hacimsel olarak %2'lik limit aşılmamak ve mevcut en yakın merkezi kentsel AAT proses ve kapasitesi uygun olmak üzere, ön arıtma uygulanmadan, doğrudan kentsel atıksularla birlikte arıtımı seçeneğinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Böylece yeni bir sızıntı suyu arıtma tesisi yapımının önüne geçilebilir. Bu durumda sızıntı sularının verileceği kentsel AAT havalandırma kapasitesinin artırılması ve daha etkin bir işletme optimizasyonu için muhtemel ilave yatırım ihtiyacı da dikkate alınmalıdır. Anılan türden uygulamaların yolunu açmak üzere, SKKY'de düzenleme yapmak gerekmektedir.

Sızıntı sularının ön arıtmasız olarak kentsel merkezi AAT'lerinde evsel atıksularla birlikte arıtımının teknik ve ekonomik olarak yapılabilir olmaması durumunda gerekli harici arıtma uygulanmalıdır.

Özellikle genç ve orta yaşlı atık depolama tesislerinden açığa çıkan sızıntı sularının SKKY Tablo 25'e göre merkezi kanal şebekesine deşarj edilebilecek düzeyde arıtımı için ;

- Dengeleme + Lagün tipi Ardışık Kesikli Reaktör Sistemi
- Dengeleme + İki Kademeli (Aerobik+Fakültatif) Lagün Sistemi
- Dengeleme+ Biyolojik Azot giderimli MBR Sistemi
- Dengeleme + TO Sistemi

veya eşdeğeri sistemler uygulanabilir. Bu tür uygulamalarda azot parametresi TKN bazında izlenmeli, kısmi denitrifikasyon dolayısıyla TN ve  $\text{NO}_3^-$  parametresine herhangi bir sınırlama getirilmemelidir.

Sızıntı sularının doğrudan alıcı ortama deşarj edilecek düzeyde harici arıtımı için;

- Dengeleme + MBR (Biyolojik Azot giderimli) + NF ± TO
- Dengeleme + İki Kademeli TO + NF (Ayrı konsantre arıtmalı)
- Dengeleme + Biyolojik Arıtma (Azot giderimli) +UF/MF + NF
- Dengeleme + Lagün tipi AKR + Stabilizasyon Havuzu + Sulak Alan Arıtımı

veya eşdeğeri sistemler uygulanabilir.

Bu durumda da deşarj suyundaki azot parametresi TKN ve  $\text{NH}_3\text{-N}$  bazında izlenmeli TN ve  $\text{NO}_3^-$  için sınırlama getirilmemelidir.

### **6.3 Sızıntı Suyu Yönetimi ile İlgili Bazı Kritik Hususlar**

#### ***Düzenli Depolama Tesisleri üzerine Konsantre Geri Devri:***

Sızıntı Suyu Arıtımı için doğrudan TO uygulamalarında toplam giriş akımının %20-40'ı düzeyindeki konsantrenin ilk aktif hücrenin faaliyete başlamasından itibaren depolama alanı üzerine geri devrine izin verilmemeli, söz konusu uygulama, kontrollü olarak ve en az bir hücrenin kapatılmasını takiben

sürdürülmelidir. TO konsantrisinin, ilk hücrenin aktif olduğu dönemlerde, buharlaştırma, katılaştırma vb. yöntemlerle ayrıca bertarafı sağlanmalıdır.

Gerek TO konsantrisi ile gerekse biyoreaktör türü depolama tesislerinin işletme şartları gereği sızıntı suyu ile kapalı hücreler üzerine yapılan geri devir uygulamalarında sözkonusu atıksu akımlarındaki yüksek inorganik maddeler (iletkenlik, TÇM) ve amonyak dolayısı ile inhibisyon sonucu biyometan üretiminin azalabileceği, sızıntı suyu toplama sisteminin öngörülenden daha kısa sürede tıkanıp bloke olabileceği, membranların işletme ve bakım maliyetinin önemli oranda artabileceği ve sızıntı suyu yükünün arması dolayısıyla taban kaplamasından sızıntı suyu geçme riskinin artabileceği hususları dikkate alınmalıdır.

#### ***Şev Stabilitesi Sorunu:***

Yüksek oranda sızıntı suyu ve TO konsantrisi geridevri halinde, sızıntı suyunun atık yığını şev kenarlarından dışarı çıkma ve şev stabilitesini zayıflatma riskine karşı gerekli önlemler alınmalıdır.

#### ***Ar- Ge İhtiyacı:***

Türkiye şartlarında biyoreaktör tipi depolama uygulamalarının gerektirdiği tasarım ve işletme kriterleri Ar-Ge destekli olarak üretilip yönetmelik ve teknik şartnamelere yansıtılmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Amotkrane, A., Comel, C., Veron, J., (1997), Landfill Leachates Pretreatment by Coagulation-Flocculation. *Water Research*, 31(11), 2775-82.
2. Benson, C.H., Barlaz, M.A., Lane D.T., Rawe, J.M. (2007) Practice review of five bioreactor/recirculation landfills, *Waste Management* 27 (1), 13-29.
3. Berge, N. D., Reinhart, D. R., Batarseh, E. S., (2009), An assessment of bioreactor landfill costs and benefits, *Waste Management* 29, 1558-1567.
4. Berge, N. D., Reinhart, R. D., Townsend, T. G., (2005), The Fate of Nitrogen in Bioreactor Landfills, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 35:365-399.
5. Bohdziewicz, J., Bodzek, M., Gorska, J., (2001), Application of Pressure Driven Membrane Techniques to Biological Treatment of Landfill Leachate. *Process Biochemistry*, 36(7), 641-6.
6. Chian, E.S.K. ve De Walle, F.B. (1977). *Evaluation of Leachate Treatment* , Vol. I, Characterization of Leachate, EPA-600/2-77-186a, Cincinnati, Ohio: U.S. Environmental Protection Agency.
7. Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ). (2009), [www.dmi.gov.tr](http://www.dmi.gov.tr)
8. EA (Environment Agency) UK (2007), *Guidance for the Treatment of Landfill Leachate. Sector Guidance Note IPPC S5.03.*
9. Ehrig, H. J. (1983). *Quality and Quantity of Sanitary Landfill Leachate. Waste Management and Research*, Vol. 1, pp. 53-68.
10. ENVEST Planners Konsorsiyumu. (2005), T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması için Teknik Yardım Projesi (EHCIP) Düzenli Depolama Direktifi'ne Özgü Yatırım Planı., Ankara
11. Erses, S., Onay, T.T., (2003), In situ heavy metal attenuation in landfills under methanogenic conditions, *Journal of Hazardous Materials* 99, 159-175.
12. Fadel, M., (1999), Leachate recirculation effects on settlement and biodegradation rates in MSW landfills. *Environmental Technology* 20, 121-133.
13. Fadel, M., Bou-Zeid, E., Chahine, W., Alayli, B. (2002). Temporal Variation of Leachate Quality from Pre-Sorted and Baled Municipal Solid Waste with High Organic and Moisture Content. *Waste Management*, 22, pp. 269-282.
14. Heyer K.U., Stegmann R. (2002) *Landfill management: leachate generation, collection, treatment and costs*, Internet site: <http://www.ifas-hamburg.de/pdf/leachate.pdf>
15. Hjelmar, O., Johanessen, J.M., Knox, K., Ehrig, H.-J., Flyvberg, J., Winther, P. & Christensen, T.H. (1995). *Composition and Management of Leachate From Landfills within the EU. Proceeding of 5th International Landfill Symposium, Sardinia 95, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy*, 1, pp. 243-262.
16. Hudgins, M., ve March, J. (1998), *In situ municipal solid waste composting using an aerobic landfill system. American Technologies, Inc.*, 144-157



17. Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model (1994). Ohio: U.S. Environmental Protection Agency.
18. Kjeldsen, P., Barlaz, M.A., Rooker, A.P., Baun, A., Ledin A. ve Christensen, T.H. (2002) Present and long term composition of MSW landfill leachate: A review, Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 32(4) 297-336.
19. Marttinen, S.K., Kettunen, R.H., Sormunen, K.M., Soimasuo, R.M., Rintala, J.A. (2002) Screening of physical-chemical methods for removal of organic material, nitrogen and toxicity from low strength landfill leachates. Chemosphere, 46(6), 851-858.
20. Mc Bean, E.A., Rovers, F.A, Farquhar, G.J. (1995). Solid Waste Landfill Engineering and Design. Prentice Hall
21. Onay, T., Pohland, F., (1998), In-situ nitrogen management in controlled bioreactor landfills, Water Research 32 (5), 1383-1392.
22. Öztürk, İ. (2010). Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları, Baskıda, İSTAÇ Yayınları, İstanbul
23. Pohland, F. G. (1990), "Landfill Bioreactors Design and Operation" 2th National Hazardous & Solid Waste Convention 330-337.
24. Pohland, F.G. (1980), Leachate recycle as landfill management option, Journal of the Environmental Engineering Division ASCE, 106, 1057-1069.
25. Reinhart, R.D. ve Townsend, G.T. (1998), Landfill Bioreactor Design and Operation. Lewis Publishers, New York.
26. Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., Moulin, P. (2008), Landfill leachate treatment: Review and opportunity, Journal of Hazardous Materials 150, 468-493.
27. Robinson A.H. (2005) Landfill Leachate Treatment. MBR 5: The 5th International Conference on Membrane Bioreactors, Cranfield, UK.
28. Robinson A.H. (2006) The Application of Low Energy MBR in Landfill Leachate Treatment. CIWM Conference, 12-16 June, Torquay, UK.
29. Rodriguez J., Castrillon, L., Maranon, E., Sastre, H., Fernandez, E., (2004), Removal of non-biodegradable organic matter from landfill leachates by adsorption, Water Res. 38, 3297-3303.
30. San, I. ve Onay, T.T. (2000), Impact of various leachate recirculation regimes on municipal solid waste degradation, Journl of Hazardous Materials 87, 259-271.
31. Sponza, D.T., Agdag, O.N., (2004), Impact of leachate recirculation and recirculation volume on stabilization of municipal solid wastes in simulated anaerobic bioreactors, Process Biochem. 39, 2157-2165.
32. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Katı Atık Ana Planı (2006) Mimko Mühendislik İmalat Müşavirlik Koordinasyon ve Ticaret A.Ş.
33. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. (2004). Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, No: 25687, Tarih: 31.12.2004.

34. Tchobanoglous, G. Theisen, H. Vigil, S.A. (1993), Integrated solid waste management. McGraw Hill Inc.
35. Townsend, T.G., Miller, W.L., Lee, H., Earle, J.K.F. (1996), Acceleration of landfill stabilization using leachate recycle, Journal of Environmental Engineering 122, 263-268.
36. Vesilind, P.A., Worrell, W.A. & Reinhart, D.R. (2002). Solid Waste Engineering, Brooks/Cole, Pacific Grove, USA.