

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATI ATIK DÜZENLİ DEPO SAHALARINDA SIZINTI
SUYU GERİ DEVİR ETKİLERİNİN TAM ÖLÇEKLİ BİR
SAHADA (ODAYERİ) ARAŞTIRILMASI

Çevre Müh. Bestemin ÖZKAYA

106342

F.B.E Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

106342
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet DEMİR

Doç. Dr. Ahmet Demir

Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK

Prof. Dr. Lütfi Akse

İSTANBUL, 2001

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
KISALTMA LİSTESİ.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KATI ATIKLAR.....	3
2.1 Genel.....	3
2.2 Katı Atıkların Miktar ve Özellikleri.....	3
2.3 Katı Atık Değerlendirme ve Bertaraf Teknolojileri.....	5
2.3.1 Geri kazanma.....	5
2.3.2 Düzenli depolama.....	5
2.3.3 Yakma.....	7
2.3.4 Kompostlaştırma.....	8
2.4 İstanbul'da Katı Atıkların Bertarafı.....	8
3. DÜZENLİ DEPO SAHALARINDA KATI ATIKLARIN AYRIŞMASI VE GAZ OLUŞUMU.....	11
3.1 Ayırışma Fazları.....	14
3.1.1 Aerob ayırışma fazı.....	14
3.1.2 Anaerob Ayırışma Fazı.....	15
3.2 Ayırışmayı Etkileyen Faktörler.....	18
3.2.1 Oksijen.....	18
3.2.2 Hidrojen.....	18
3.2.3 pH ve alkalinite.....	20
3.2.4 Sülfat.....	21
3.2.5 İnhibitörler.....	21
3.2.6 Besi maddeleri.....	23
3.2.7 Nem muhtevası.....	23
3.2.8 Sıcaklık.....	24
3.3 Düzenli Depo Sahalarında Gaz Oluşumu.....	25
4. DÜZENLİ DEPO SAHALARINDA SIZINTI SULARININ OLUŞUMU VE ÖZELLİKLERİ.....	27
4.1 Sızıntı Suyu Oluşumu ve Miktarını Etkileyen Faktörler.....	27
4.2 Düzenli Depo Sahalarında Hidrolojik Denge Bileşenleri.....	30
4.2.1 Yağış miktarı.....	32
4.2.2 Yüzeysel akış.....	32
4.2.3 Buharlaştırma ve terleme kayıpları.....	34
4.2.4 Sızma.....	37

4.2.5	Katı atığın geçirgenliği ve nem tutma kapasitesi.....	38
4.3	Sızıntı Suyunun Özellikleri.....	39
5.	SIZINTI SUYU YÖNETİMİ.....	42
5.1	Sızıntı Suyunun Katı Atık Depo Sahasına Geri Devri.....	42
5.1.1	Muhtelif ülkelerdeki sızıntı suyu geri devri uygulamaları ve araştırmalar.....	44
5.1.1.1	Pilot ölçekli çalışmalar.....	45
5.1.1.2	Tam ölçekli çalışmalar.....	45
5.2	Sızıntı Suları İle İlgili Deşarj Standartları.....	48
5.3	Sızıntı Sularının Arıtılması.....	51
5.3.1	Merkezi evsel atıksu arıtma tesisinde arıtma.....	52
5.3.2	Biyolojik arıtma.....	52
5.3.3	Fiziksel / Kimyasal Arıtma.....	56
5.3.4	Sızıntı sularının alıcı ortam deşarjına uygun seviyede arıtımı.....	56
6.	ODAYERİ DÜZENLİ DEPO SAHASINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	59
6.1	Çalışma Sahası Hakkında Bilgiler.....	59
6.2	Sızıntı Suyu Geri Devir Uygulamaları.....	60
6.2.1	Sızıntı suyu kimyasal analiz metodları.....	63
6.2.2	Sızıntı suyu analiz sonuçları.....	65
6.2.3	Depo gazı miktar ve bileşenlerinin değişimi.....	66
6.2.4	Topografya değişimi.....	68
7.	ODAYERİ DÜZENLİ DEPO SAHASINDA ORTAYA ÇIKAN SIZINTI SUYU MİKTARINI VEREN BİLGİSAYAR PROGRAMI İÇİN BAŞLANGIÇ DEĞERLERİ.....	70
7.1	Depo Sahasının Fiziki Durumu İçin Kabul Edilen Değerler.....	70
7.2	Katı Atık Miktarları İle İlgili Değerler.....	72
7.3	Katı Atık Su Muhtevası İle İlgili Değerler.....	73
7.4	İklimsel Değerler.....	73
7.5	Depo Tabanı, Örtü Katmanı ve Katı Atıkların Su Tutma Kapasiteleri ve Özellikleri İle İlgili Değerler.....	77
7.6	KADDS.BAS Programı Sonuçları.....	79
8.	SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	81
	KAYNAKLAR.....	85
	EKLER.....	88
	EK 1 Odayeri Düzenli Depo Sahası gaz ölçüm sonuçları.....	89
	EK 2 Odayeri Düzenli Depo Sahası geri devir öncesi ve sonrası topografik ölçümler.....	100
	Ek 3 KADDS.BAS programı.....	101
	Ek 4 KADDS.BAS programı çıkış dataları.....	103
	ÖZGEÇMİŞ.....	104

KISALTMA LİSTESİ

BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ _L	Nihai Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
İBB	İstanbul Büyük Şehir Belediyesi
KADDS.BAS	Katı atık düzenli depo sahası sızıntı suyu oluşumu bilgisayar programı
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
N	Azot
NH ₃ -N	Amonyak Azotu
P	Fosfor
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TP	Toplam Fosfor
TUA	Toplam Uçucu Asitler



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	Metan oluşumunda görev alan temel bakteri grupları.....	13
Şekil 3.2	Katı atık depo sahalarında anaerob ayrışma evreleri	15
Şekil 3.3	Metan oluşumunu etkileyen temel faktörler	18
Şekil 3.4	Anaerob bir filtrede pH'ın metan bakterilerinin reaktif aktiviteleri (R) üzerindeki etkisi	20
Şekil 3.5	Sülfat'ın anaerob ayrışmadaki inhibisyonu	21
Şekil 3.6	CO ₂ ' nin kısmi basıncının fonksiyonu olarak değişen çeşitli maddelerin ayrışma oranları.....	22
Şekil 3.7	Atıkların nem muhtevasına bağlı olarak gaz üretim hızı	24
Şekil 3.8	Anaerob arıtmada sıcaklığın gaz üretime etkisi	25
Şekil 4.1	Katı atık bileşenleri ve sızıntı suyu oluşum basamakları.....	28
Şekil 4.2	Depo sahalarında su dengesi	31
Şekil 5.1	Sızıntı suyu geri devri ve atık ayrışma evreleri.....	41
Şekil 5.2	Landfill 2000 test hücrelerinde geri devrin CH ₄ /CO ₂ oranına etkisi	45
Şekil 5.3	Sızıntı sularının arıtımı için aerobik arıtma sistemi	53
Şekil 5.4	Sızıntı sularının arıtımı için anaerobik arıtma sistemi	54
Şekil 5.5	Çok kademeli hava sıyırma ile sızıntı suyu arıtımı.....	56
Şekil 6.1	Sızıntı sularının geri devrettirildiği test bölgesi	59
Şekil 6.2	Deney süresi boyunca oluşan toplam sızıntı suyu ve saha üzerine yapılan geri devir miktarları.....	61
Şekil 6.3	1995 yılı itibariyle depolamanın yapıldığı mevcut depo sahası ve geri devir test alanı	61
Şekil 6.4	Geri devir bacalarında boykesit	62
Şekil 6.5	Flairli bacalarda depo gazı miktar ve bileşenlerinin ölçüm noktası.....	62
Şekil 6.6	Flairli Baca 1 (FB1) de CH ₄ (Metan) gazı ölçüm sonuçları.....	65
Şekil 6.7	Geri Devir Bacası 1 (B1) de CH ₄ gazı ölçüm sonuçları.....	65
Şekil 6.8	Geri Devir Bacası 2 (B2) de CH ₄ gazı ölçüm sonuçları.....	66
Şekil 6.9	Geri Devir Bacası 3 (B3) de CH ₄ gazı ölçüm sonuçları.....	66
Şekil 6.10	Flairli Baca 1 (FB1) de CH ₄ (Metan) gazı ölçüm sonuçları.....	66
Şekil 6.11	Geri devirli (B1) ve geri devirsiz (FB1) bacalarında gaz ölçüm sonuçları	67
Şekil 6.12	Flairli bacalarda kümülatif gaz oluşumu.....	67
Şekil 6.13	Geri devir öncesi ve sonrası Y eksenindeki okumalar	68
Şekil 6.14	Geri devir öncesi ve sonrası X eksenindeki okumalar	68

Şekil 6.15	Geri devir öncesi ve sonrası Z ekseni yönündeki okumalar	68
Şekil 7.1	Odayeri düzenli depo sahasında 1995-2000 yılları arasında depolama yapılan alan	70
Şekil 7.2	1995-2000 yılları arasında Odayeri düzenli depo sahasına gelen yıllık katı atık miktarları ve tahmin edilen katı atık verileri.....	71
Şekil 7.3	Florya istasyonu aylık ortalama yağış miktarları.....	73
Şekil 7.4	Florya istasyonu aylık ortalama sıcaklık değerleri.....	73
Şekil 7.5	Florya istasyonu aylık ortalama güneşlenme süreleri.....	73
Şekil 7.6	Odayeri düzenli depo sahasındaki sızıntı suyu miktarının tahmininde KADDS.BAS programı ile belirlenen su dengesi bileşenlerinin yıllara göre değişimi	78
Şekil 7.7	Odayeri katı atık düzenli depo sahasında KADDS.BAS programı ile yıllara göre tahmin edilen ve Odayeri depo sahasında 1995-2000 yılları arasında oluşan günlük ortalama sızıntı suyu miktarları	79



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	İstanbul katı atıklarının özellikleri (%Yaş ağırlık olarak).....	4
Çizelge 2.2	Amerika'da ve Avrupa ülkelerinde % kuru ağırlık olarak katı atık bileşenleri... 4	4
Çizelge 3.1	Anaerob ayrışma prosesinde muhtelif kimyasalların giderilmesinde görev alan mikroorganizma grupları.....	11
Çizelge 3.2	Depo sahalarında ayrışmayı etkileyen faktörler.....	19
Çizelge 3.3	Katyonların metan oluşumu üzerindeki etkisi	23
Çizelge 3.4	Depo gazı bileşenleri.....	26
Çizelge 4.1	Avrupa ülkelerinde kaydedilmiş sızıntı suyu miktarları	32
Çizelge 4.2	Farklı topografya, toprak ve yüzey örtüsüne sahip drenaj alanları için yüzeysel akış katsayılarının karşılaştırılması	33
Çizelge 4.3	Penman eşitliğindeki A, B ve e_w nin sıcaklık ile değişimi.....	35
Çizelge 4.4	Penman eşitliğinde 40° enlemi için R radyasyonunun değerleri.....	36
Çizelge 4.5	Penman eşitliğinde kullanılacak rüzgar hızı oranları	36
Çizelge 4.6	Çeşitli yüzeylerin (r) Albedo değerleri	36
Çizelge 4.7	Evsel katı atıkların hidrolik iletkenlikleri	39
Çizelge 4.8	Odayeri düzenli depo sahası sızıntı suyu özellikleri.....	40
Çizelge 4.9	Depo sahalarında anaerob ayrışma safhalarında kirletici bileşenler	42
Çizelge 5.1	Klasik ve geri devirli katı atık depo sahalarının anaerob ayrışma safhalarında sızıntı suyu kirletici bileşenlerinin değişimi	42
Çizelge 5.2	Muhtelif ülkelerde tam ölçekli çalışmalarda sızıntı suyu geri devir uygulamaları	47
Çizelge 5.3	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde katı atık değerlendirme ve bertaraf tesisleri atıksularının yüzey sularına deşarjı için limitler.....	48
Çizelge 5.4	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde atıksuların atıksu altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartları.....	49
Çizelge 5.5	Sızıntı sularının arıtım işlemlerinde muhtelif kirleticilerin giderilme oranları.	50
Çizelge 5.6	Sızıntı suyu arıtımında ters osmoz ünitesinin KOİ giderimine etkisi	57
Çizelge 6.1	Odayeri düzenli depo sahası sızıntı suyu özellikleri.....	64
Çizelge 7.1	Odayeri düzenli depo sahasına 1995-2000 yılları arasında aylık katı atık miktarları	71
Çizelge 7.2	İlçelere göre nisan ve eylül ayları için ağırlıklı nem muhtevaları.....	72
Çizelge 7.3	Florya istasyonu aylık ortalama yağış miktarları, sıcaklık ve güneşlenme süreleri.	74
Çizelge 7.4	Zemin neminin ve gerçek buharlaşma ve terleme kayıplarının hesabı.....	75
Çizelge 7.5	Penman formülüne göre hesaplanan aylık buharlaşma değerleri.....	75
Çizelge 7.6	Düzenli depo sahası taban ve üst örtü katmanları ve özellikleri	77

ÖNSÖZ

Katı atıkların bertarafı, özellikle nüfusun yoğun olduğu bölgelerde yerel yönetimlerce yerine getirilmesi gereken önemli problemlerden biridir. Katı atık bertaraf yöntemlerinden birisi olan düzenli depolama; yakma, kompostlaştırma ve diğer bertaraf yöntemleri arasında ucuz ve kolay uygulanabilir olması sebebiyle uzun yıllardan beri kullanılan en yaygın yöntemdir. Ancak katı atıkların depolanması esnasında oluşan yüksek kirlilikteki sızıntı sularının yüzey ve yeraltı sularına en az zarar verecek şekilde kontrol edilmesi gerekir. Depolama esnasında katı atıkların sıkıştırılması sonucu serbest hale gelen su ve depo sahasına düşen yağışlar sızıntı suyu miktarının artmasına sebep olmaktadır. Sızıntı sularının hem miktarının azaltılması hem de çöp degradasyonunu hızlandırması nedeniyle bu suların depo sahası üzerine geri devrettirilmesi etkin ve alternatif yöntemlerden biridir.

1975'ten bu yana yapılan pilot ve tam ölçekli çalışmalar geri devrin, sızıntı suyu kirlenici bileşenlerini azalttığını, depo gövdesinde metanojenik aktiviteyi artırması dolayısıyla biyogazın metan fraksiyonunu artırdığını ve sızıntı suyu miktarını azalttığını göstermiştir. Bu çalışmada, katı atık düzenli depolama alanlarında önemli miktarda açığa çıkan ve yüksek miktarda organik ve inorganik kirleniciler içeren sızıntı sularının miktarını tesbit edecek bir bilgisayar programı ile bu suların depo sahalarına kontrollü bir şekilde geri devrettirilmesinin atık stabilizasyonu üzerine etkisine ait bulgular yer almaktadır.

Çalışmanın yönlendirilmesinde ve yürütülmesinde büyük katkıları, gösterdiği yakın alaka ve desteği sebebiyle kıymetli hocam, Doç. Dr. Ahmet DEMİR' e şükranlarımı arz ederim.

Tam ölçekte yapılan bu çalışmanın katı atık düzenli depolama sahasında gerçekleşmesine imkan hazırlayan başta Prof. Dr. Adem BAŞTÜRK ve Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK olmak üzere İSTAÇ A.Ş. Genel Müdürlüğü elemanlarına, Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK' e şükranlarımı sunarım.

Çalışmam sırasında ilgi ve yardımını esirgemeyen, Yrd. Doç. Dr. Eyyüp DEBİK, Arş. Gör. Ahmet GÜNAY, Çevre Mühendisi Faruk AVŞAR ve Çevre Mühendisi Zübeyde ÖZKAYA' ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Çevre Müh. Bestemin ÖZKAYA

ÖZET

Katı atık düzenli depolama tesislerinde açığa çıkan sızıntı suları, bünyelerindeki yüksek miktarda organik ve inorganik kirleticiler dolayısıyla arıtılması en zor ve pahalı atıksulardan biri durumundadır. Katı atıkların bertaraf edilmesinde alternatif yöntem, depolamadan sonra nem oranını artırmaktır. Bu amaçla, kirlilik yükü oldukça fazla olan sızıntı sularının katı atık depo sahası üzerine geri devrettirilmesiyle, hem sızıntı suyunun miktarı azaltılacak, hem de bu suyun geri devri sonucunda sahada sızıntı suyunun arıtılması ve depolama sahasının stabilizasyonunun hızlandırılması sağlanacaktır. Sızıntı suyu geri devrettirilerek, düzenli depolama sahası katı atık bioreaktör arıtma sistemine dönüşmekte ve bunu takip eden harici arıtmanın maliyeti düşmektedir.

Türkiye' de ilk defa Odayeri Katı Atık Düzenli Depo sahasında sızıntı suyu geri devrinin atık stabilizasyonuna etkisini belirlemek amacıyla yapılan tam ölçekli çalışmada, geri devirli ve geri devirsiz bölgelerde metan oluşumu, çalışma sahasının muhtelif yerlerinde topografya değişimi ve sızıntı suyu analizlerinin değişimi olmak üzere muhtelif hususlar dikkate alınmıştır. Geri devir işlemi için depo sahasının yaklaşık 1,5 hektarlık kısmı test alanı olarak belirlenmiş ve 14 noktada 18 m. derinliğinde, 400 mm. çapında sondaj kuyuları açılarak bu kuyulara sızıntı suyu geri devrettirilmiştir. Metan gazı, sızıntı suyu geri devrinin yapıldığı bölgelerdeki bacalarda ve diğer kısımda bulunan bacalarda günlük olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyu geri devrinin yapıldığı bölgedeki bacalarda metan oranının arttığı diğer kısımlardaki bacalarda ise değişmediği, atıkların stabilize olması sonucu ölçüm yapılan bölgelerde yapılan topografik ölçümlerde oturmaların olduğu tespit edilmiştir. Kuyulara basma yöntemi ile yapılan geri devir işlemi çöp kütlelerinde kaymaların meydana gelmesi gibi olumsuzluklara yol açmıştır.

Depolamanın henüz başladığı 1995 yılından 1997 yılına kadar sızıntı sularının kirletici parametreleri oldukça yüksek konsantrasyonlarda iken 1999 yılında tedrici bir azalma olduğu görülmüştür. Sızıntı sularının depo sahasına geri devrinden sonra özellikle organik madde konsantrasyonu önemli miktarda azalmıştır. Depo sahasının sızıntı suları ile nemlendirilmesi metanojenik aktiviteyi artırmış ve sızıntı suyunun KOİ'si azalmıştır. Metanojenik aktivitenin artmasına paralel olarak sızıntı suyunun uçucu yağ asidi konsantrasyonundaki azalma neticesinde pH ve alkalinite yükselmiştir. Yüksek pH'da metallerin çözünürlüğü azaldığından sızıntı suyunun Fe, Zn, Cr, konsantrasyonlarında düşme olmuştur. Biyolojik artılabilirliğin göstergesi olan BOİ₅/KOİ oranının sızıntı suyu geri devrinden sonra düştüğü belirlenmiştir.

Ayrıca yapılan KADDS.BAS bilgisayar programı ile Odayeri Düzenli Depo sahasında tahmin edilen sızıntı suyu miktarlarına göre; deponun aktif işletme süresi boyunca, depolamanın başladığı andan itibaren ilk 10 yıl, atık tabakasının nem içeriği arazi kapasitesinin altında olduğundan oluşacak sızıntı suyu miktarı ortalama 500-650 m³/gün olacağı tahmin edilmiştir. Bu yıldan sonra atık tabakasının nemi ulaşabileceği maksimum miktarın üzerine çıktığından oluşacak sızıntı suyu miktarının ortalama 1000-1200 m³/gün değerine ulaşacağı belirlenmiştir.

ABSTRACT

Sanitary landfill leachate is one of the most complicated and costly wastewater to treat due to its high content of organic and inorganic pollutants. Moisturing the landfill by these leachates, not only accelerates degradation of the organic fraction of the wastes, but also partially removes leachates. Thus, by recirculation of the leachate, the quantity of the leachate will be decreased, and at the same time stabilization of the landfill will be accelerated. By recirculating the leachate, the landfill will be converted to a bioreactor treatment system, and the cost of the subsequent treatment system decreases.

For the first time in Turkey topics such as methane production, change of topography and leachate composition in recycling and nonrecycling areas are considered to determine the effect of leachate recirculation on waste stabilization made at Odayeri Sanitary Landfill. Approximately 1.5 hectare of landfill had been determined as the test area for leachate recirculation and the leachate had been recirculated to the wells which were opened at 14 points, and have 18 meters depth, 0.4 meters diameter. Methane gas had been daily measured in each biogas flues that are in the recirculating area of the leachate and other areas. It is determined that in recycling areas methane composition of biogas increased. Recirculating with injection well method had caused slides in landfill body.

From 1995 to 1997 while the pollutant parameters of leachate were at high concentrations, in 1999 it has gradually decreased. Especially, organic matter concentration has been reduced after leachate recirculation. By moisturing the landfill with leachates, methanogenic activity increased and COD of the leachate decreased. Furthermore, volatile fatty acid concentration decreased, pH and alkalinity increased. Because of decreasing solubility of metals at high pH, Fe, Zn, Cr concentrations decreased. After leachate recirculation, the ratio of BOD₅/COD which is an indication of biological treatability, decreased.

Furthermore, according to leachate quantities estimated in Odayeri sanitary landfill with KADDS.BAS computer program during active operating time, during the first 10 years, because of the fact that waste mass moisture content is below the field capacity, leachate quantity of 500-650 m³/day has estimated. After this period leachate quantity of 1000-1200 m³/day will be attained.

1. GİRİŞ

İnsanların aktiviteleri sonucu ortaya çıkan katı atık (çöp) miktarı ve türü, nüfusun ve ihtiyaçların artması, teknolojideki gelişmeler gibi sebeplerle giderek artmaktadır. Bu atıklar atıldıkları yerlerde geçici olarak biriktirilip buralardan toplanıp taşınarak madde ve enerji kazanmak üzere yakma, kompostlaştırma, geri kazanma, düzenli depolama gibi çevreye ve insan sağlığına zararsız hale getirilme ve ekonomiye katkı sağlama işlemleriyle bertaraf edilmelidir.

Katı atık uzaklaştırılması ve bertarafı özellikle kentsel bölgelerde büyük bir problem teşkil etmektedir. Yapılan çalışmalar, kentsel katı atık bertarafı için en ekonomik yolun düzenli depolama olduğunu ortaya koymaktadır. Düzenli depolama, ucuz oluşu yanında, atığın kontrollü şartlar altında inert ve stabilize olmuş maddelere dönüşüncüye kadar ayrışmasına da imkan vermektedir. Düzenli katı atık depo sahalarından kaynaklanan en önemli sorunlardan biri katı atıkların içinden sızarak tabana ulaşan yüksek kirlilikte sızıntı sularıdır. Katı atık sızıntı sularının hidrojeolojik olarak güvenli sızdırmaz depolarda tutulması çevreye vereceği zararları tam olarak önleyemez. Sızıntı suyunun deşarjı sonucu yüzey suları ve kısmen de yeraltı suları kirlenebilir. Bu yüzden özellikle yağışların yıl boyunca buharlaşmadan fazla olduğu bölgelerde sızıntı sularının sıkı kontrolü gerekir. Sızıntı suyunun kontrolü çerçevesinde çevresel özellikler de dikkate alınarak uygun bir yönetim sistemi belirlenmelidir.

Katı atık depo sahasına düşen yağış sularının, buradaki katı atık kütlesi arasından süzülmesi esnasında çeşitli kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar meydana gelir. Bunun sonucu olarak inorganik ve organik bileşikler atıktan sızan suya geçer. Depo gövdesinde gerçekleşen söz konusu bu tür karmaşık reaksiyonların son ürünleri, sızıntı suyu ve depo gazı ile taşınır.

Katı atık düzenli depolama tesisindeki sızıntı suyu miktarı; nihai üst örtü tabakasının geçirimsizlik derecesi, iklim şartları, katı atık bileşimi, depo yaşı vb. faktörlere bağlı olarak değişir. Ayrıca nihai örtü tabakasının teşkil edilip edilmediği ve geçirimsizlik derecesi de sızıntı suyu miktarını önemli oranda etkilemektedir. Mevcut ve yapılacak olan düzenlemeler, sayıları gittikçe artan depo sahalarının gelecekte çevreye olan muhtemel etkileriyle ilgilidir. Bu maksatla, evsel katı atık düzenli depo alanlarında oluşan sızıntı suyu hacminin önceden tahmin edilmesi gerekir.

8 bölümden oluşan bu tezde; katı atık düzenli depo sahalarında oluşan sızıntı sularının miktarının ve kirlenici bileşenlerinin azaltılması ile biyogazın metan fraksiyonunun artırılması, kısaca depo sahasının katı atık biyoreaktör sistemine dönüştürülmesi maksadıyla depo

sahasına geri devrinin tam ölçekli uygulaması ile bu suların miktarını veren bir bilgisayar programı yer almaktadır. Tezin, 2.Bölümünde katı atıkların oluşumu, miktarı, özellikleri ve bertaraf teknolojileri hakkında bilgiler verilmiş, 3.Bölümünde, düzenli depo sahalarında katı atıkların ayrışması, ayrışma fazları, ayrışmayı etkileyen faktörler ele alınmış, 4.Bölümünde düzenli depo sahalarında sızıntı suyu oluşumu ve özellikleri, sızıntı suyu oluşumu ve miktarını etkileyen faktörler, hidrolojik denge bileşenlerinden bahsedilmiş, 5.Bölümünde sızıntı suyu yönetim stratejilerinden, geri devir ve bu konu ile ilgili literatür bilgileri ve sızıntı suyu arıtım prosesleri verilmiş, 6.Bölümünde Odayeri Düzenli Depo Sahası sızıntı suyu geri devir uygulamaları ile ilgili çalışmalar verilmiş, 7.Bölümünde sızıntı suyu miktarını belirleyen bilgisayar program verileri ve sızıntı suyu miktarını veren bilgisayar programı tanıtılmış, 8.Bölümünde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler verilmiştir.



2. KATI ATIKLAR

2.1 Genel

İnsanların ekonomik ve sosyal faaliyetleri sonucunda işe yaramaz hale gelen ve akıcı olacak kadar sıvı içermeyen her tür madde ve malzeme katı atık olarak tanımlanmaktadır. 14.3.1991 tarihinde yürürlüğe giren katı atıkların kontrolü yönetmeliğine göre ise faaliyetleri süresince atık oluşumuna sebep olan kişi ve kuruluşlar tarafından atılmak istenen, toplumun huzuru ve çevrenin korunması bakımından bertaraf edilmesi gereken her türlü atık ve arıtma çamurları katı atık olarak adlandırılmaktadır. Katı atıklar, kaynaklarına ve bileşimlerine göre olmak üzere iki grupta incelenebilir. Kaynaklarına göre katı atıklar evsel atıklar, ticari ve kurumsal atıklar, park, bahçe ve pazar yeri atıkları, inşaat yıkım ve hafriyat atıkları, endüstriyel, tarımsal ve tıbbi atıklar ile arıtma çamurlarından oluşur. Bileşimlerine göre ise organik ve inorganik atıklar şeklinde sınıflandırılır.

Katı atıkların miktarı, su muhtevası, kalorifik değeri, bileşimi gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri atığın üretildiği bölgenin nüfusuyla, ısınmada kullanılan yakıt türüyle orantılı olarak değişiklik gösterir. Hayat seviyesinin yükselmesi, sanayi ve teknolojinin ilerlemesi ile yeni ambalaj malzemelerinin geliştirilmesi hem kişi başına günde üretilen çöp miktarını hem de çöplerin bileşimini büyük ölçüde değiştirmiştir.

2.2 Katı Atıkların Miktar ve Özellikleri

Katı atıkların miktar ve özellikleri ülkeden ülkeye değiştiği gibi aynı ülkede bölgeden bölgeye hatta aynı şehirde semtten semte değişebilmektedir. Bu değişim insanların sosyo-ekonomik yapısı ile ilgili olmakla beraber en çok gelir seviyesiyle tüketim ve kullanım alışkanlıklarına bağlıdır. Ülkemizde kişi başına çöp üretimi 0,61 kg/kişi-gün iken bu değer Avrupa ülkelerinde 1,5-2 kg/kişi-gün ABD'de 3 kg/kişi-gün'dür. İstanbul'da 1990 yılı için kişi başına ortalama atık oluşumunun, Avrupa yakasında 0,66 kg/kişi-gün, Asya yakasında 0,58 kg/kişi-gün olduğu belirlenmiştir (CH2M-Antel,1992).

Katı atık yoğunluk değeri ülkeden ülkeye hatta aynı ülkede kentten kente, yerel koşullara, tüketim alışkanlıklarına ve mevsimlere bağlı olarak değişmektedir. Katı atık üretim oranı yüksek olan endüstrileşmiş ülkelerdeki katı atık yoğunluğu kağıt, cam, plastik ve metal gibi çürümez maddelerin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bu maddelerin yüksek olmasının sebebi ise paketlenme ve ambalaj malzemelerinin çok kullanımı ve katı atık içinde geniş hacim

tutmasıdır. Artan nüfus ve teknolojik gelişmelere paralel olarak katı atıkların kompozisyonu da değişmektedir. Çizelge 2.1'de İstanbul şehri için muhtelif araştırmacılar tarafından yapılan analiz neticeleri yer alırken Çizelge 2.2 Amerika'da ve Avrupa ülkelerinde katı atık bileşenlerini göstermektedir.

Çizelge 2.1 İstanbul katı atıklarının özellikleri (%Yaş ağırlık olarak)

Parametre	Baştürk,(1979)	WHO/UNDP,(1981)	CH2M Hill, (1992)	Öztürk vd, (1996)
Kül	29	14,6	15	13,2
Organik madde	46,5	60,6	45	48
Kağıt	19	18,8	14,5	8,4
Plastik	3,5	3,1	9,5	11
Cam	3,0	0,7	3,8	4,6
Tekstil	3	3,1	5,6	2,9
Metal	1,5	1,5	2,2	2,3
Diğerleri	1,5	6,9	4,4	6,3
Çocuk bezi	-	-	-	3,2

Çizelge 2.2. Amerika'da ve Avrupa ülkelerinde % kuru ağırlık olarak katı atık bileşenleri
(Mutasem, 1997)

Parametre	Avrupa Ülkeleri	Amerika
Kağıt	20-42	28-50
Yemek atıkları (organik)	20-50	6-18
Sokak süprüntüleri	12-18	5-20
Plastik	3-8	4-10
Cam	4-12	4-12
Tekstil	2-14	1-12
Metal	3-13	3-13
İnert/inorganikler	1-20	0-6

Katı atıkların düzenli depolanması ve özellikle yakma ve kompostlama yöntemlerinin uygulanması sözkonusu olduğunda nem oranının belirlenmesi çok önemlidir. Düzenli depolama yönteminde katı atık nem oranının bilinmesi depolama sonucu oluşan sızıntı suyu

miktarının hesaplanabilmesine yardımcı olur. Yakma yönteminde ise atığın birim ağırlığının net kalorifik değerinin belirlenmesinde, yanabilen ve yanamayan maddelerle birlikte önemli bir faktördür. Kompostlama yönteminde ise mikroorganizmalar besinlerini ancak suda çözülmüş halde alabildiklerinden katı atık nem muhtevası çok önemlidir.

2.3 Katı Atık Değerlendirme ve Bertaraf Teknolojileri

Kaynağında ayrı veya karışık toplanan katı atıklar, özelliklerine uygun olarak bertaraf edilmelidirler. Aşağıda entegre katı atık yönetim sisteminde uygulanan değerlendirme ve bertaraf teknolojileri incelenmiştir.

2.3.1 Geri kazanma

Atık içerisinde geri kazanılabilir madde (cam, plastik, kağıt, metal vb.) miktarı yeterli ise geri kazanım mutlaka yapılmalıdır. Geri kazanılabilir malzemeler diğer atıklar ile karışık toplanmaları halinde ekonomik değerlerinde çok büyük kayıplar meydana gelmektedir. Bu yüzden geri kazanım çalışması mutlaka kaynağında ayrı toplamaı içermelidir. Ayrı toplamanın diğer avantajı ise geri kazanma tesislerinin projelendirilmesi ve işletilmesinde kolaylıklar sağlamasıdır. Kaynağında ayırma uygulanmaması halinde, yerleşim merkezlerinden toplanan atıkların tamamı geri kazanım tesisinde işleme durumunda kalmaktadır. Diğer yandan elde edilen malzemelerin değerinde de çok büyük kayıplar meydana gelmektedir.

2.3.2 Düzenli depolama

Kuru arazilerde çöp, hendek metodu, alan metodu, vadi dolgusu metodu ve rampa metodu olmak üzere çeşitli şekillerde depolanmaktadır.

Kuyu (Hendek) Metodu

Hendek metodu, yeterli toprak örtüsünün bulunduğu yerlerde uygulanır. Katı atıklar 40-100 m. uzunlukta 1-2 m. derinlikte ve 5-8 m. genişlikte kazılan hendeklere ince tabakalar halinde yayılır ve sıkıştırılır.

Killi, sızdırmaz zeminlerde ve küçük nüfuslu yerleşimlerde uygulanır. Su seviyesinin yüksek olduğu alanlarda az miktarda katı atık depolanır. Bu metotta çöp dökmeden önce bir dozer yardımı ile birkaç araç genişliğinde belirli bir yükseklikte (23-15 m) ve 30-150 m uzunluğunda çukur açılır. Kazılan zemin, örtü toprağı olarak daha sonra kullanılmak üzere

kazılacak hendek kenarından uzakta depolanır. Arazi zemini, şev eğimini sağlayacak uygun bir kohezyon değerine sahiptir. (Tanımlanmamış basınç dayanımı 103 kPa veya daha büyüktür.) Kamyonlar Çöpü ; hendeğin kenarından hendeğin doldurulmuş kısmının tepesinden, hendeğin içinden bütün bu boşaltma işlemlerinin çöplerin sıkıştırıldığı uçtaki çalışma bölgesinden biraz uzakta gerçekleştirilmesi gerekir.

Atıklar çukur tarafına dozerler vasıtası ile serilir. Sahanın her noktası üzerinden buldozer veya kompaktör ile 2-3 defa geçilerek atıkların parçalanıp sıkışmaları sağlanır. Dolgu alanının uzunluğu, o günkü dökülen kapasite ile ölçülür yani dolgu yüksekliğine gelen bir günlük kapasitenin üzeri hemen kapatılır.

Hendek metodu küçük işletmeler için çok uygundur. Hendek metodunun kazılmayan ve el sürülmeyen meyilli yan duvarları sebebiyle zeminin ve dolayısıyla arazinin önemli bir kısmını israf ettiği veya boşa çıkardığı ileri sürülmektedir. Bununla beraber atıkların önceden belirlenmiş bir genişlikte (Hücre genişliği 5-6 m olursa çöpün sıkıştırılması için uygundur) ve yükseklikte doğal şeklide hapsedilmeleri günlük örtünün miktarı üzerinde üstün bir kontrole imkan verir. Alan metoduna kıyasla hendek metodunda günlük örtü için toprak miktarı azalmıştır.

Alan Metodu

Arazinin hendek kazılmasına müsait olmadığı veya buna ihtiyaç bulunmadığı hallerde uygulanır. Çöpler uzun ve dar şeritler halinde 30-60 cm. kalınlıkta araziye serilir ve sıkıştırılarak 2-3 m. yüksekliğe kadar depo edilir. Şeritlerin boyları, genelde bu yüksekliğe günün sonunda erişilecek şekilde planlanır. Günün sonunda depolanan sıkıştırılmış çöp yığınının üzerine 20-30 cm. kalınlıkta toprak tabakası örtülür. Doldurma operasyonu genellikle daha önce inşa edilen toprak bir seddenin dibinden başlar ve sıkıştırılarak sedde yüksekliğine kadar devam eder. Sıkıştırılan çöpler 6 m. genişliğinde şeritler halinde yükselir. Üzeri toprakla örtülerek sıkıştırılmış çöp yığınının hücre denir ve hücreler üst üste inşa edilerek planlanan seviyeye ulaşılır.

Büyük hacimli katı atık depolama yerlerinde kullanılırlar ve genellikle stabil olan şevlerde yapılırlar. Atıklar, dozerler yardımı ile yerlere serilip, sıkıştırılırlar (5- 10m'lik kalınlıklarda serilirler). Eğer tabaka kalınlığı 1,25- 2,5 m kalınlığında ise dozerler yerine elle serme işlemi yapan aletle kullanılmaktadır. Sıkıştırılmış çöp yüzeyi meyli 1/4 yatık meyilden daha dik olmamalıdır. Alanın üzeri hergün serme işleminden sonra kapanır. Bu kaplama tabak hücre olarak adlandırılır. Bu depo tipleri en ekonomik ve emniyetli dolgu tipidir.

Örtü toprağı getiren araçlar önceden doldurulmuş alanlar üzerinden gelirlirse çöpü daha ve örtü toprağını devamlı sıkıştırmış olurlar. Ayrıca yağışlı havalar için önceden doldurulmuş alanlar üzerinden geçmeyen, yüzeyi ve temeli yeterli şekilde sağlam ve sert bir alternatif yol bulunmalıdır.

Vadi Dolgusu Metodu

Vadilerde düzenli depolamanın yapımından önce mevcut kuru veya sulu dereler, akarsular depolama alanın memba tarafından başlayıp mansap tarafında biten tünel veya menfezlerle çöplerle teması kesilmelidir. Menfez veya tüneller yer altı ve çöp sızıntı ve süzüntü sularına karşı iyice yalıtılmalıdır. Vadi metoduyla çalışırken bütün çalışma bölgesi yağış ve akış sularına karşı çevresel hendeklerle donatılmalı, yağış sularının çöplerle teması kesilmeli, gerekli hallerde pompalarla sular çalışma dışına aktarılmalıdır.

Rampa metodu

Su seviyesinin az veya yüksek olduğu atık depolama yapılacak yerlerde uygulanır. Burada hücreler daha kalın ve uzun olarak; alan metodundaki uzunluktan daha kısadır.

Bunu yaparken doğal zemini korumak çok önemlidir. Katı atık malzemelerinin su muhtevaları % 10- 35 arasındadır. Katı atıkları havzaya dökmeden önce zemini yuvarlatmak ve sıkıştırmak arazi özelliklerini artırmada önemlidir fakat pahalı olan bir sistemdir. Sıkıştırma ve sürsaj etkisi de katı atık depolama sahalarında çok kullanılan bir yoldur. Katı atıkların kirlenmeden sonra 3-4 yıl oturma yapması mümkündür. Bu oturmada çöp suyunun faktörü büyüktür.

2.3.3 Yakma

Yakma katı atık hacmini azaltmak için toplanan çöplerin özel tesislerde yakılmasından ibarettir. Bu yöntem, hacim ve ağırlık küçültme oranının yüksek olması nedeniyle depolama yeri sıkıntısının çekildiği durumlarda, hastane atıklarında olduğu gibi son ürünün stabilize edilmesinin gerekli olduğu hallerde ve ısı değeri yüksek katı atıklardan enerji üretiminin söz konusu olduğu durumlarda kullanılır. Katı atıkların yakılabilmesi için atığın yakmaya uygun olması ve ikincil bir yakıtı ihtiyaç duyulmaması önemlidir. Aksi takdirde yakma ekonomik olmamaktadır. Katı atıkların yakılması sonucu da yaklaşık %30 civarında kül ve cüruf oluşmaktadır. Bu kısmın uzaklaştırılması için de nihai bir düzenli depolamaya ihtiyaç bulunmaktadır. Yakma genellikle düzenli depolama için yer sıkıntısı olan ülkelerde, gerekli depo alanı ihtiyacını azaltması için yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Yanma sonucu oluşan baca gazlarının arıtılması zorunluluğu, yakma metodunun en önemli mahzurlarından birisidir. Ayrıca baca gazı arıtımının maliyeti takriben yakma ünitesinin maliyetine eşittir.

2.3.4 Kompostlaştırma

Katı atık içerisindeki organik kısımlar (mutfak atıkları, arıtma tesisi çamurları vb.) kompost yapılarak tekrar kullanılabilir hale getirilebilir. Kompost, katı atık içerisindeki organik kısımların biyokimyasal süreçten geçirilerek humusa benzer bir malzemeye dönüştürülmesidir. Kompostlaştırma aerobik ve anaerobik olmak üzere başlıca iki yolla yapılır. Anaerobik süreçte dönüşüm esnasında yan ürün olarak biyogaz elde edilmektedir. Atıkların uygun kısımları kompost yapılsa bile yaklaşık %30'luk bir kısmı nihai olarak başka bir usulle uzaklaştırılması gerekmektedir.

2.4 İstanbul'da Katı Atıkların Bertarafı

Özellikle son yıllarda büyük nüfus artışının yaşandığı kentte katı atık bertarafı sürekli olarak en temel sorunlardan birini oluşturmuştur. 1953'e kadar İstanbul'da çöpler denize dökülmüştür. Daha sonra Levent-Sanayi Mahallesi, Seyrantepe, Ümraniye-Mustafa Kemal Mahallesi gibi şehre yakın yerlere çöpler vahşi döküm şeklinde dökülmüştür. Bu bölgelere yakın yerlerin gecekondulara dolması üzerine buralar terk edilmiş, Habibler, Ümraniye-Hekimbaşı, Yakacak, Aydınlı, Halkalı, Şişli-Feriköy ve son olarak da Kemberburgaz-Hasdal çöp döküm sahası olarak kullanılmıştır. Bu sahalar kapatılarak ıslah edilmiştir. Kemberburgaz çöplüğünde oluşan gazlardan elektrik enerjisi elde edilecektir.

İstanbul'da CH2M Hill'in 1992 yılında yapmış olduğu fizibilite çalışması doğrultusunda her iki yakaya da birer adet düzenli depolama sahası, altı adet çöp aktarma istasyonu, bir tıbbi atık yakma istasyonu, bir adet atık yakma tesisi ve bir kompost tesisi yapılması projelendirilmiştir. Düzenli depolama sahaları, aktarma istasyonları ve tıbbi atık yakma istasyonu tamamlanmış ve kompost tesisi tamamlanmaya yakın (2000 yılı içinde işletmeye alınması planlanmaktadır) hale gelmiştir.

İlçe belediyeleri topladıkları çöpleri aktarma istasyonlarına getirmekte, burada silolara yüklenen katı atıklar düzenli depolama sahalarına taşınmakta ve buralarda uygun teknoloji ile bertaraf edilmektedir. İstanbul'da oluşan tıbbi atıklar Büyükşehir tarafından özel araçlarla toplanmakta ve Odayeri katı atık yakma tesisinde yakılmaktadır.

Tıbbi atık yakma tesisi

İstanbul'da oluşan tıbbi atıkların toplanması ve yakılması için ayrı bir sistem uygulanmaktadır. Tıbbi atıklara ayrı olarak sıkıştırmasız özel araçlarla toplanmakta Odayeri düzenli depolama sahasında yapılan tıbbi atık yakma yerine götürülmektedir. Buraya gelen tıbbi atıklara 1200 °C'de yakılarak bertaraf edilmektedir. Bu suretle atıklarda % 95 hacimsel, %70 kütleli azalma meydana gelmektedir. Yapılan tıbbi atık yakma tesisi 24 ton/gün kapasiteye sahiptir.

Kompost tesisi

İstanbul Büyükşehir belediyesi entegre katı atık yönetimi çerçevesinde 100 ton/gün kapasiteli bir kompost tesisi projelendirilmiş ve halen inşaa halindedir. IGA-RTW-MİMKO konsorsiyumunca hazırlanan iş ile ilgili planlama raporuna göre, tesise ilk aşamada Avrupa yakasında toplanan karışık evsel katı atıklar getirilecektir. Daha sonra kaynakta ayrılmış organik atıklar ile diğer evsel atıklar ayrı ayrı kompost haline getirilecektir.

Projeden amaç; depolama alanlarına gönderilen atık miktarını azaltmak, katı atıkların değerlendirilebilir kısmını ekonomiye kazandırmaktır. Kazanılan kompostu İstanbul içindeki park ve bahçelerin düzenlenmesinde, terk edilmiş maden sahalarının, vahşi depolama alanlarını rehabilitasyonu, E5-TEM karayolu şevlerinin, yakın çevresinin ıslahı için kullanılacaktır.

İstanbul'da düzenli depolama

İstanbul Büyükşehir Belediyesi mücavir alan sınırı göz önüne alındığında kişi başına 0,70 kg kabulü ile günde yaklaşık olarak 7000 ton katı atık üretilmektedir. Çöpün birim hacim ağırlığı 0,5 ton/m³ olarak alınırsa günlük çöp hacmi 14000 m³, yıllık hacim ise 5 milyon m³ gibi değerlere ulaşmakta ve bu miktar nüfusa bağlı olarak her geçen gün artmaktadır (Baştürk, 1993; CH2M Hill,1992).

İstanbul'da 1995 Ocak ayından itibaren iki adet Düzenli Depolama Sahası işletmeye açılmış ve çöpler buralarda hücreleme metoduyla sıhhi bir şekilde depolanmaya başlamıştır. Biri Rumeli yakası Eyüp/Odayeri mevkiinde, diğeri ise Anadolu yakası Şile/Kömürcüoda mevkiinde bulunan bu tesislerin proje ihaleleri ise 1992 Haziranında yapılmıştır. İstanbul'da bulunan vahşi çöp sahaları ise rehabilite edilerek yeşil alan ve spor sahalarına çevrilmiştir.

Her iki depolama sahası yeri de, buralardaki yüzey yapısı tahrip edilmiş, kısmen veya tamamen terkedilmiş eski maden ocağı alanlarından seçilmiştir. Bu sebeple söz konusu sahalarda aynı zamanda topoğrafik mimaride yeni bir düzenleme de meydana getirilecektir.

Rumeli yakasındaki saha (Odayeri Düzenli Depolama Sahası) hafif eğimli bir vadide kurulmuş olup yer yer kil, kum, çakıl ve kömür içeren tabakalarla kaplıdır. Anadolu yakasındaki saha da (Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası) topoğrafik ve jeolojik açıdan Rumeli yakasındaki sahaya benzemektedir.

Her iki saha da 25 yıllık çöp kapasitesini karşılayacak şekilde planlanmıştır. Odayeri Düzenli Depolama Sahası için Orman Bakamlığı'ndan 59 ha'lık bir alan kiralanmış olup halihazırda 20 ha'lık kısmı kullanılmaktadır. Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası için ise 61 ha'lık bir

alan kiralanmış olup halihazırda 19 ha'lık kısmı kullanılmaktadır. İstanbul'daki düzenli depolama sahaları, ilgili yönetmeliklerde belirtilen kriterler dikkate alınarak kademe kademe inşa edilmektedir.

İnşa sahasının öncelikle nebati toprağı temizlenip yer altı suyu (varsa) drenajı sağlanmaktadır. Bu drenaj kanalları aynı zamanda kontrol amaçlı kullanılmaktadır. Çevre sularının girmemesi için gerekli tedbirler alınıp (hendek, dren, şev teşkili, vb.) uygun eğime (taban \geq %2, kenarlar \leq 1/3) getirilen tabii zemin üzerine, iki ayrı kademede serilip sıkıştırılmış permeabilitesi 10-8 m/sn'den küçük veya eşit olan 60 cm. kil tabakası serilmektedir.

Kil tabakası üzerine bir dren tabakası serilmektedir(kum vb.). Bu dren tabakasından sonra saha 2 mm kalınlığında HDPE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen) folye ile kaplanmaktadır. Folye üzerine koruyucu bir tabaka (kum vb.) serildikten sonra sızıntı suyu drenaj tabakası oluşturulmaktadır. Drenaj tabakası, kalker oranı ve çapı uygun çakıl ve dren borularından oluşmaktadır. Burada kullanılan dren boruları HDPE olup özel et kalınlığına (ovalleşme tahkikine uygun) sahiptir.

Oluşturulan geçirimsizlik tabakasından sonra sahaya dikey olarak etkili yarıçapı 25-50 m olan gaz bacaları yerleştirilmektedir. Bu gaz bacaları 150 mm HDPE delikli borulardan oluşturulmuştur. Gaz bacalarının çevresinde, drenaj malzemesi ile doldurulmuş ve çelik ızgarayla (80 cm çapındaki) çevrilmiş filtre tabakası mevcuttur.

Hazır sahaya serilen ilk çöp tabakası takriben 1,5-2 m kalınlığında ve içerisinde geçirimsizlik tabakasına hasar verecek malzeme bulunmayan çöpten teşkil edilmektedir. Depolama sahalarında çöpler hücreleme metoduyla depolanmaktadır. Sahaya getirilen çöpler dozerlerle 1/3 eğimde teşkil edilen hücre yüzeyine 50-60 cm kalınlıkta serilerek kompaktörlerle sıkıştırılmaktadır. Oluşturulan hücrenin tabaka kalınlığı ise ortalama 5 m'dir.

Sahalarda günlük olarak toz, koku, haşare, kuş vb. kontrolü için ortalama 15 cm kalınlığında hücre yüzeyi toprak örtüyle örtülmektedir. Doldurulmuş çöp tabakalarında ise yağmur suyu kontrolü ve diğer kontroller amacıyla 30 cm kalınlığında toprak ara örtü kullanılmaktadır. Çöp doldurma ömrünü tamamlamış kademelerin (yan eğimler \leq 1/4 ve üst eğimler %5-15) üzeri nihai örtüyle kapatılıp gaz tahliyeleri yapılmakta ve yeşil alana çevrilmektedir.

3. DÜZENLİ DEPO SAHALARINDA KATI ATIKLARIN AYRIŞMASI VE GAZ OLUŞUMU

Katı atık depo sahası, temel giriş maddelerinin katı atık ve yağmur suyu, başlıca çıkış elementlerinin ise depo gazı ve sızıntı suyu olduğu bir biyokimyasal reaktör olarak düşünülebilir. Katı, sıvı ve gaz fazının bir arada bulunduğu bir çeşit reaktör olan depo sahalarında sıvı faz, çözülmüş veya askıda organik maddeleri ve katı fazdan gelen inorganik iyonları içerir. Gaz fazı ise genellikle karbon içeriklidir. Anaerob ayrışma, farklı mikroorganizma gruplarının rol aldığı kompleks bir biyokimyasal süreçtir. Sızıntı suyu ve gaz aşağıda verilen fiziksel, kimyasal ve biyolojik reaksiyonların sonucu olarak oluşur.

- 1) Gaz oluşumunun temelini teşkil eden biyolojik olarak parçalanabilen maddelerin ayrışması,
- 2) Katı atıkta bulunan organik ve inorganik bileşenlerin oksidasyonu,
- 3) Gazın transfer ve difüzyonu,
- 4) Suyun katı atık içerisinde süzülmesi sonucu bileşenlerin çözünmesi ve transferi,
- 5) Atık yüzeyinde tutunma,
- 6) Sıvının hidrolik hareketi,
- 7) Zamanla konsantrasyonda meydana gelen değişimin bir sonucu olarak çözülmüş maddelerin hareketi

Çizelge 3.1 Anaerob ayrışma prosesinde muhtelif kimyasalların giderilmesinde görev alan mikroorganizma grupları

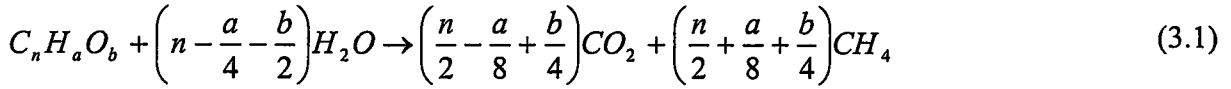
MIKROBIYAL GRUPLAR	KİMYASAL MADDE
Amilolitik bakteri	Nişasta
Proteolitik bakteri	Proteinler
Selüloolitik bakteri	Selüloz
Hemiselüloolitik bakteri	Hemiselüloz
Hidrojen yükseltgeyen metanojen bakteri	Hidrojen
Asetoklastik metanojen bakteri	Asetik asit
Sülfat indirgeyen bakteri	Sülfat

Depo sahalarında katı atıkların ayrışması anaerob şartlar altında gerçekleşir. Bu yüzden anaerob ayrışmanın temel prensipleri depo sahasına tatbik edilebilir. Anaerob ayrışma işlemlerinde, genetik özellikleri tam olarak tesbit edilemeyen çok heterojen mikroorganizma grupları kolektif olarak görev yapmaktadırlar. Çizelge 3.1 'de anaerob ayrışma prosesinde

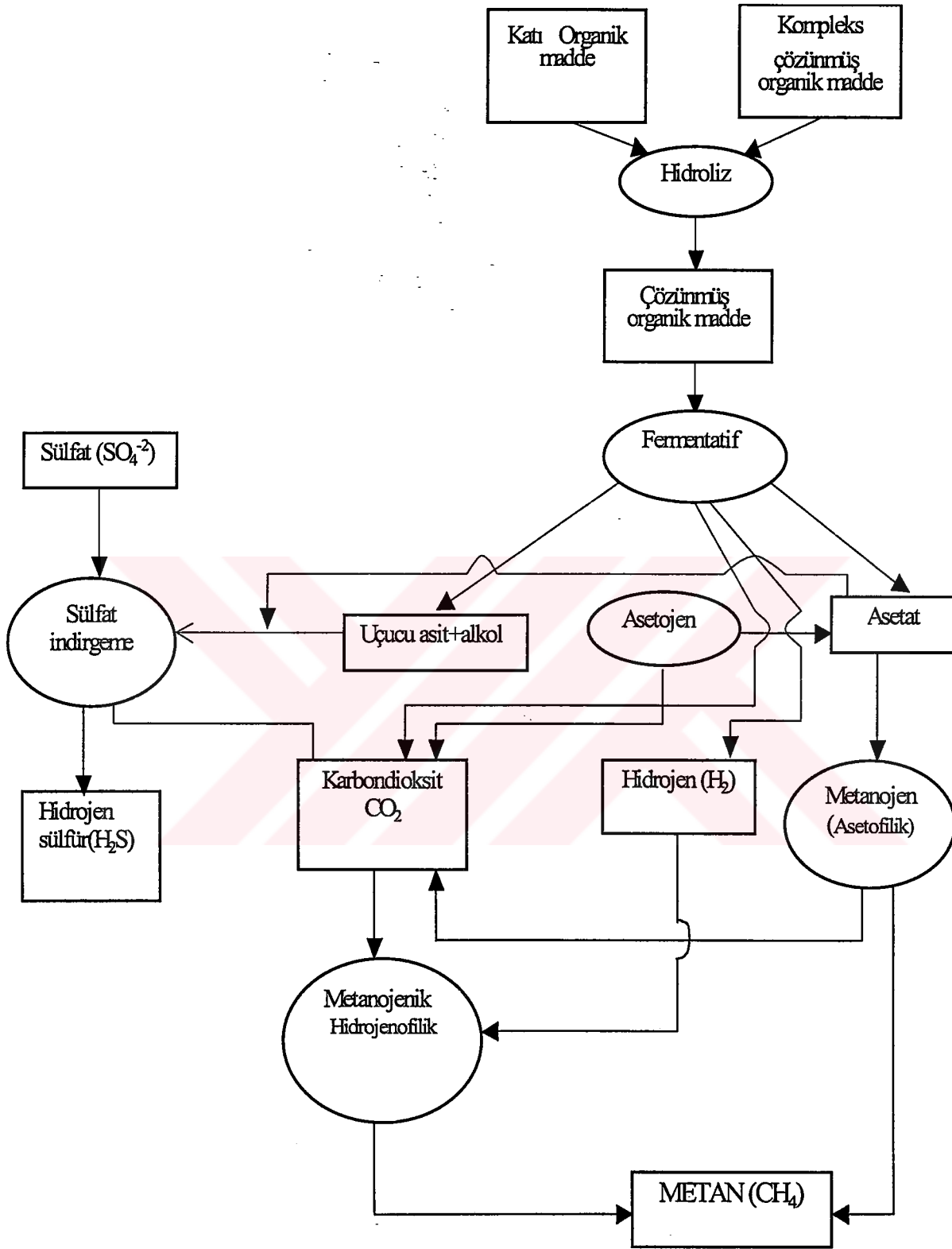
görev alan mikroorganizmaların fizyolojik grupları yer almaktadır. Kompleks organik maddelerin ayrışması en genel halde üç safhalı bir proses halinde ele alınabilir.

- Yüksek molekül ağırlıklı katı ve çözünmüş maddelerin hidrolizi,
- Düşük molekül ağırlıklı organik maddelerin asit bakterilerince muhtelif uçucu yağ asitleri ve müteakiben de asetik aside dönüştürülmesi,
- Asetik asit, H₂ ve CO₂ den metan üretimi

Anaerob ayrışma süreci esnasında açığa çıkan enerji, mikroorganizmalarca hücre yenilenmesi ve biyokütle sentezinde kullanılır. Anaerob arıtımda atık stabilizasyonu doğrudan doğruya metan oluşumuna bağlıdır. Aşağıda verilen denklem kullanılarak anaerob ayrışma süreci esnasında oluşacak metan miktarını teorik olarak belirlemek mümkündür.(Buswell and Mueller,1952)



Atık ayrışmaya başladığı anda nihai oksijen ihtiyacını gösteren bu eşitlikte metan oluşumu nihai oksijen ihtiyacına eşittir. (1 kg BOİ_L veya KOİ = 0,35 m³ CH₄)



Şekil 3.1. Metan oluşumunda görev alan temel bakteri grupları (Cossu, v.d.,1998)

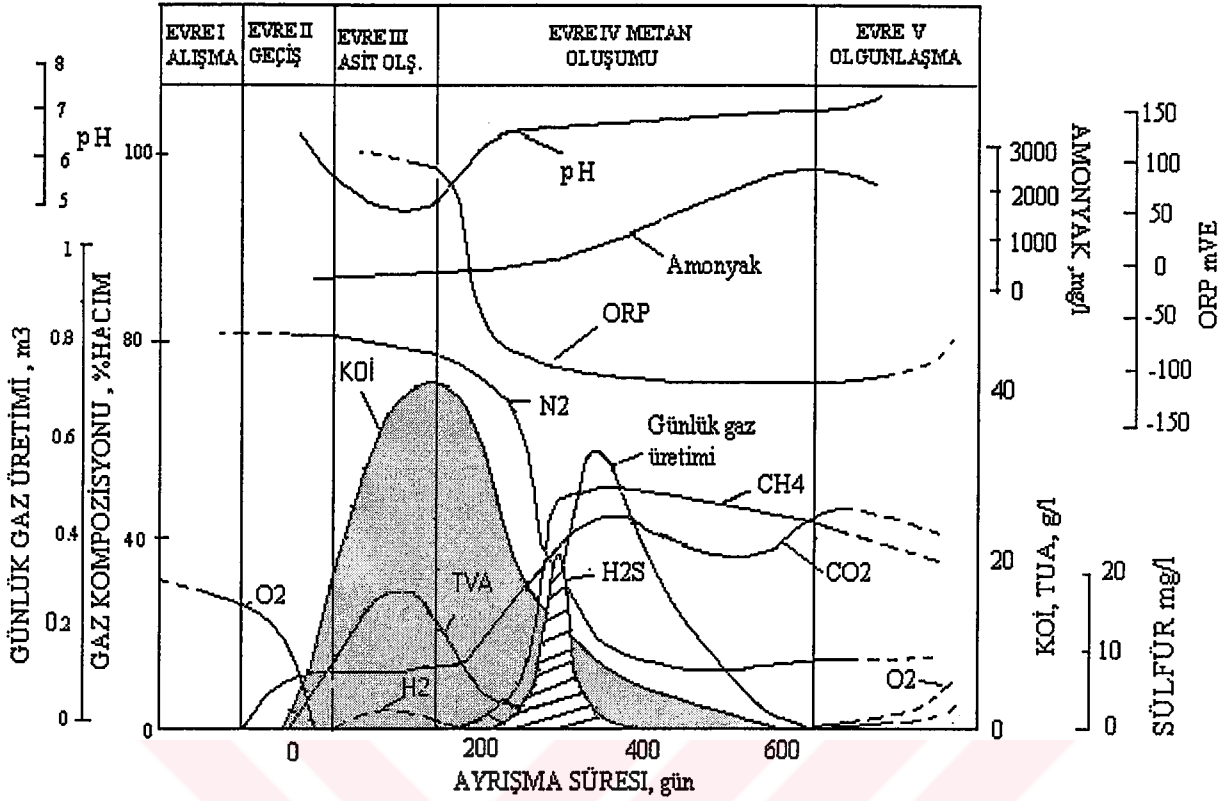
3.1 Ayrışma Fazları

Depo sahalarında, oksijenin açık havadan difüzyonla ve yağmur suyundan temin edildiği üst tabakada meydana gelen aerob ayrışma ve hidroliz, asit üretimi ve metan üretimi safhalarından oluşan anaerob ayrışma olmak üzere iki tip ayrışma fazı vardır. Katı atık depo sahalarındaki ayrışmanın temelini anaerob ayrışma teşkil etmektedir. Çöp depo sahalarında enzim reaksiyonları vasıtasıyla metan gibi metabolik ürünler üretilmesi sebebiyle, bu sahalar bir biyoreaktöre benzetilmektedir. Depo sahasında mikrobiyal aktivite sonucu gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonların hızı atıkların çürüme süresini belirler. Atıkların nem muhtevası, sıcaklığı, yoğunluğu ve kompozisyonu bozunma sürecini etkileyen başlıca parametrelerdir. Atıkların fermantasyonu sonucu oluşan başlıca nihaî ürünler uçucu yağ asitleri, CO₂ ve CH₄'dir. Depo sahasında metan oluşumunu etkileyen faktörler; sıcaklık, çöpün su muhtevası, pH/alkalinite, oksijen, hidrojen, sülfat, nütrientler ve inhibitörlerdir. Yüzey alanı/hacim oranı düşük olan büyük partiküller küçük partiküllere göre daha yavaş hidroliz olurlar. Her bileşenin ayrışma hızı farklı olduğundan kompleks ve heterojen atıkların ayrışması birinci mertebe reaksiyon kinetiğine uymaktadır (Gujer ve Zehnder, 1983).

Ilıman iklimlerde deponun sıcaklığı organik maddelerin ayrışma hızına ve depolama derinliğine bağlı olarak 45 °C'ye kadar çıkabilir. Ancak, ılıman bölgelerdeki az sayıda depo sahası bu yüksek sıcaklıkta belli bir süre kalabilir (Lisk, 1991). Evsel katı atıkların anaerobik ayrışmasında optimum mezofilik sıcaklık 40 °C'dir. Ayrışmanın stabil metan safhasına ulaşmasında gecikme olmaması ve sızıntı suyunun uçucu yağ asiti konsantrasyonundaki artışı kontrol etmek için bu faktörler optimize edilmelidir.

3.1.1 Aerob ayrışma fazı

Atıkların maruz kaldığı ilk ayrışma şekli olan aerobik ayrışma depo sahası içerisinde sınırlı miktardaki oksijen tükenene kadar süren ve atık ayrışımı için yüksek miktarda oksijen gerektiren bir fazdır. Depo sahalarında aerobik ayrışma fazı oksijenin açık havadan difüzyonla ve yağmur suyundan temin edildiği üst tabakada meydana gelir. Bütün aerobik proseslerin olduğu bu üst tabakada proteinler aminoasitlere indirgenir. Bunlardan da CO₂, su, nitrat ve sülfatlar oluşur. Atığın organik kısmının büyük bir bölümünü oluşturan selüloz basit temel enzimlerle glikoza, glikoz da bakteriler tarafından CO₂ ve suya dönüştürülür. Karbonhidratlar ise CO₂, su ve yağ asitlerine, hidrolize olan yağlara, gliserin ve daha basit katabolik parçalara ve alkalilere dönüşür. Bu faz genelde hızlı ve kısadır.



Şekil 3.2. Katı atık depo sahalarında anaerob ayrışma evreleri

3.1.2 Anaerob Ayrışma Fazı

Atıkların ayrışma safhası beş grupta incelenebilir (McBean vd., 1995). Bunlar;

1. Safha: Çöpler depolandıktan hemen sonra biyolojik olarak kolay parçalanabilen organik maddelerin aerobik olarak ayrıştığı kısa süreli safhadır. Bu safhada önemli miktarda ısı açığa çıkar ve deponun sıcaklığı çevre sıcaklığının üzerindedir. Depo içerisindeki gazı pompa ile çekerken ya da atık içerisine havanın nüfuz edebilmesi sebebiyle 3 m'den daha sığ bölümlerde CO₂ üretimi artabilir. Özellikle depolanan atıklar kuru olursa hacimsel olarak %20'den fazla H₂ üretilir.

2. Safha: Oksijen tükendiğinde anaerobik safhanın ara ürünleri oluşmaya başlar. Fermantasyon ve asit üreten bakterilerin faaliyeti sonucu uçucu yağ asidi, CO₂ ve H₂ üretimi gerçekleşir. Depo sahasında oluşan biyogazın başlıca bileşeni CO₂'dir, metan ve H₂'nin oranı daha düşüktür. Bu safhada oluşan sızıntı suyu 10 g/l'den yüksek BOİ değerlerine sahip olabilir ve biyolojik olarak parçalanabilirliğin göstergesi olan BOİ/KOİ oranı da 0,7'den yüksek değerler alabilir. Sızıntı suyu asidik özelliktedir ve pH değeri 5-6 civarındadır. Sızıntı suyunun bu doğal agresif yapısı atık içerisindeki demir, mangan, çinko, kalsiyum, ve magnezyum gibi

inorganiklerin çözünerek yüksek konsantrasyonlarda sızıntı suyuna taşınmasına ve sızıntı suyunun iyonik gücünün artmasına sebep olur. Sızıntı suyunun istenmeyen bir kokusu vardır ve 500-2000 mg/l gibi yüksek konsantrasyonlarda NH_4^+ -N içerebilir. Amonyum, özellikle proteinli bileşiklerin fermantasyonu ve hidrolizi sonucu oluşur. Redoks potansiyeli düştükçe, sızıntı suyunun başlangıçtaki yüksek sülfat konsantrasyonu zamanla azalır. Üretilen sülfür, bu safhanın başlangıcında çözülmüş olan demir, mangan ve diğer ağır metalleri çöktürür. Organik ve inorganik kirleticilerin biyolojik bozunumunda redox potansiyeli önemli bir parametredir. Oksijen ya da diğer elektron alıcıları mevcut olduğunda ayrışma hızlı gerçekleşir. Kirlilik yükünün fazla olduğu durumlarda oksijen tükendiğinde ortam anoksik olur. Oksitlendiğinde en fazla enerji açığa çıkan bileşikler öncelikle kullanılmak üzere, anoksik şartlarda farklı elektron alıcıları kullanılabilir. Öncelikle NO_3^- kullanılır (denitrifikasyon), NO_3^- tüketildiğinde Fe^{+3} kullanılır (demir indirgenmesi). Fe^{+3} ortamda yok ise ya da tüketildiğinde SO_4^{2-} kullanılır (sülfat indirgenmesi). Son olarak sülfatın tamamı tüketildiğinde CO_2 elektron alıcısı olarak kullanılır ve metana indirgenir. (Speece, 1996; Radehaus, 1998). Buradan, elektron alıcısına bağlı olarak bakteriyel populasyonun değiştiği söylenebilir.

3. Safha: Metan bakterilerinin yavaşça gelişmesiyle birlikte ikinci anaerobik safha başlar. Biyogazın hidrojen ve karbondioksit bileşimi düşerken, metan bileşimi artar. Uçucu yağ asiti konsantrasyonu azalmaya başlar. Sülfat indirgenmesi sebebiyle SO_4^{2-} konsantrasyonu düşer. Uçucu yağ asiti kullanımı ile birlikte pH ve alkalitedeki artış; kalsiyum, demir, mangan ve ağır metallerin çözünürlüğünü azaltır. Sülfür ağır metalleri çöktürür. Amonyum anaerobik şartlarda herhangi bir değişime uğramaz ve sızıntı suyuna karışır.

Bu ilk üç safha 8-16 ay kadar bir sürede tamamlanır (Lisk, 1991).

4. Safha: Bu safha stabil metan üretimi ile karakterize edilir (gazın kompozisyonu ve üretim hızı sabittir). Sızıntı suyunun organik madde konsantrasyonunda ani bir azalma gözlenir (Stegmann ve Spendlin, 1986). Biyogazın hacimce % 50-65'i metandır. Metanojenik aktivite sebebiyle uçucu yağ asiti ve H_2 konsantrasyonu düşüktür. Metan bakterileri zorunlu anaerobiktir ve nötr pH (6.6-7.3) değerlerinde faaliyetleri maksimuma ulaşır. Uçucu yağ asitleri ve diğer organik maddeler karbondioksit ve metana dönüştürülür. Uçucu yağ asitleri en düşük seviyelerindedir. Atıkların orijinine (kağıt, mutfak atıkları gibi) bağlı olarak gaz üretiminde salınımlar gözlenebilir.

5. Safha: Substrat yokluğu sebebiyle bakteriyal bozunma hızı azalır. Depo içerisinde sadece refrakter organik karbon kalmıştır. Metan üretimi azalır ve atmosferik azotun depo içerisine difüzyonu sonucu gazın N_2 bileşimi artmaya başlar. Depo sahasının üst bölgeleri aerobiktir.

Bu idealleştirilmiş çürüme safhası homojen bir atık hacmi için geçerlidir. Gerçekte çürüme safhası; çöp yığınlarının yaşının ve kompozisyonun değişmesi sebebiyle daha kompleks davranabilir. Birkaç gün mertebesinde süren ilk aerobik safhadan sonra diğer safhalar sırasıyla, ay, yıl ve on yıl mertebesinde sürebilir. Stegmann ve Spendlin (1986), biyokimyasal reaksiyonları hızlandırmak için l aboratuar ölçekli bir lizimetrede çevresel şartları (yeterli nem ve 30  C'den fazla sıcaklık) optimize etmek suretiyle organik atıkların 6-8 ay gibi bir sürede stabil hale getirilebileceğini belirtmişlerdir.

Stegmann ve Spendlin (1986), atıkların organik bileşenlerinin hızlı bir şekilde stabilizasyonu ve biyogaz üretiminin iyileştirilmesi ile ilgili olarak aşağıdaki hususları önermiştir.

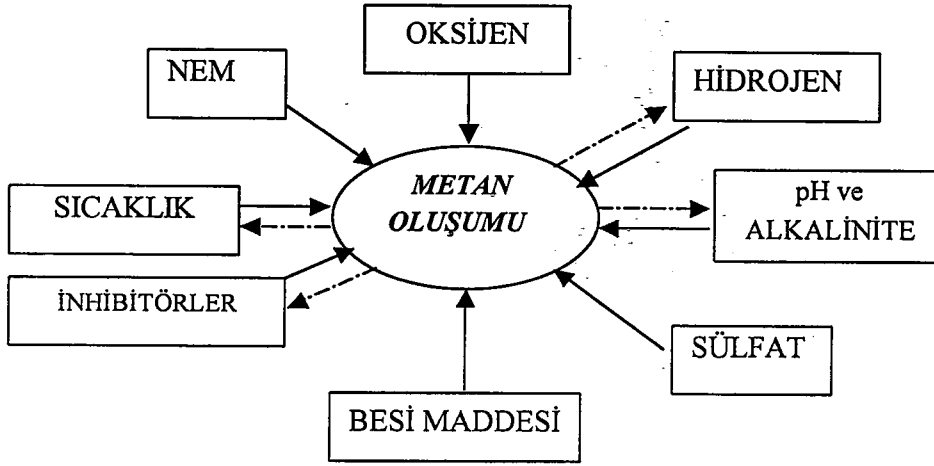
- Depo sahasının sızıntı suları ile beslenmesi organik maddelerin stabilizasyon hızını artırır.
- Deponun alt bölümleri sıkıştırılmamalı, atıklar bir sıkıştırıcı ile ufalanmalıdır.
- 6-12 ay sonra sızıntı suyunun BOI_5 konsantrasyonu iyice azaldığında kompost halindeki atıklar, ince (30-40 cm) bir tabaka halinde ve sıkıştırılarak  p yığınlarının üzerini örtmek için kullanılabilir. Başka sebeplerle atıkların üzerini kapatmak gerekirse, ince, gözenekli ve inert maddeler kullanılabilir.
- Sızıntı suyunun BOI_5 konsantrasyonu aşırı artarsa depolamaya başka bir sıkışmamış atık yığını üzerinde devam edilmelidir.

Kuajara vd., (1997), Poto Alegre'de (Brezilya) günde yaklaşık 1000 ton atığın düzensiz olarak depolandığı tesisi iyileştirme çalışmaları çerçevesinde, depo tesisini sızıntı suyu ile besleyerek 1 yıl sonunda sızıntı suyunun KOI 'sinde %98'lik bir azalma olduğunu ve depo sahasının sızıntı suyu muhteviyatındaki n trientlerle beslenmesinin organik maddelerin stabilizasyonunu hızlandırdığını tesbit etmişlerdir.

Atıklar %55 veya daha fazla nem içerirse bir yıl içerisinde deponun sıcaklığı 30  C'nin üzerine çıkabilir. Atıkların sıkıştırılarak depolanması mikrobiyal aktiviteyi etkiler. Mikrobiyal bozunma esnasında bakteriler tarafından salgılanan ve bir yapışkan gibi davranan hücre dışı polimerler, elektrostatik kuvvetler ve Van der Waals kuvvetleri sayesinde yüzeye yapışan mikroorganizmalar ayrışmayı hızlandırabilir. Bu yapışma, mikroorganizmaların yağış suları ile yıkanmalarına mani olur.

3.2 Ayrışmayı Etkileyen Faktörler

Depo sahalarında ayrışmayı etkileyen temel faktörler oksijen, hidrojen, pH ve alkalinite, sülfat, besi maddeleri, sıcaklık ve nem muhtevasıdır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Metan oluşumunu etkileyen temel faktörler (Cossu, 1998)

3.2.1 Oksijen

Anaerob bakterilerin kararlılığının sağlanabilmesi için ortamda kesinlikle serbest oksijen bulunmamalıdır. Oksijen kimyasal olarak bağlı olsa bile anaerob arıtma sürecini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden NO_3 , H_2O_2 , SO_4 , vb. gibi maddeler bakteri yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Oksijene karşı oldukça duyarlı olan metan bakterilerinin -330 mV ' in altında bir redoks potansiyeline ihtiyaçları vardır. Oksijen depo sahalarında atık içerisine atmosferden difüzyon yolu ile girer. Hemen ardından depo sahasının üst bölgelerinde 1 m. den daha az kısmında yer alan aerob bakteriler tarafından hızlı bir şekilde tüketilir (Christensen ve Cossu, 1998). Depo sahalarındaki, gaz toplama sistemlerine karşı depoya giren atmosferik hava kuvvetleri önemli bir vakumun oluşmasına sebep olabilir. Bunun neticesinde atık kütlesi içerisinde aerob bölgenin artmasıyla bu tabakalarda metan oluşumu engellenmiş olur. Metan bakterileri, oksijen girişiyle tamamiyle yok olmaz. Oluşan aerob bölgelerde anaerob ortamların varlığı bu ortamlarda metan bakterilerinin hayatta kalabilmesinin temel sebeplerindendir.

3.2.2 Hidrojen

Hidroliz safhasında suda çözünür hale gelen organik maddeler, asit oluşumu safhasıyla asit üreten bakteriler tarafından asidik maddelere (propiyonik, bütirik ve asetik asitler) dönüştürülür. Bir sonraki safhada meydana gelen asidik maddeler asetojen bakterileri tarafından asetat (CH_3COO^-) ve hidrojene dönüşür. Hidrojenin kısmi basıncı, propiyonik

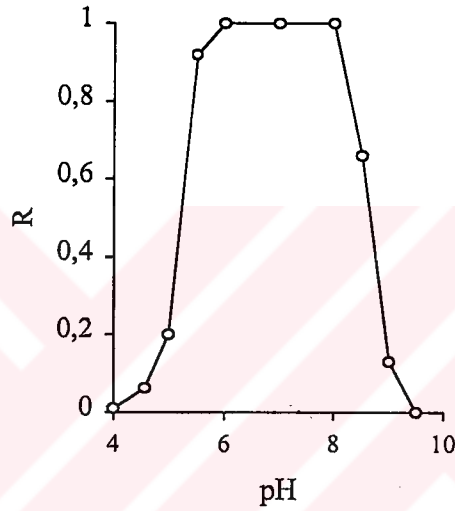
asidin dönüşümü için $9 \cdot 10^{-5}$ atmosferin altında olmalıdır. Hidrojen basıncının artması durumunda uçucu yağ asidi miktarı artar ve pH düşer, böylece metan üretimi durur. H_2 ve CO_2 'den metan oluşumu için hidrojenin kısmi basıncının 10^{-5} atmosferin altında olması uygundur. Bu değer düşük olması durumunda hidrojen tüketen bakterilerin aktiviteleri azalır. Bu durumda uçucu yağ asitleri ve özellikle de propiyonik asit meydana gelir.

Çizelge 3.2 Depo sahalarında ayrışmayı etkileyen faktörler (Yuen,1997)

Etkileyen Faktör	Kriter/Yorum	Referans
Nem	Optimum nem içeriği : %60 ve üzeri	Pohland,1986 ; Rees,1980
Oksijen	Metan oluşumu için optimum redoks potansiyeli; -200mV -300mV (-100m. Altt)	Farquar & Rovers,1973 Christensen&Kjeldsen,1989 Pohland,1980
pH	Metan oluşumu için optimum pH ; 6-8 6,4-7,2	Ehrig,1983 Farquar & Rovers,1973
Alkalinite	Metan oluşumu için optimum alkalinite; 2000 mg/L Metan oluşumu için maksimum organik asit konsantrasyonu,300mg/L Metan oluşumu için maksimum asetik asit/alkalinite oranı; 0,8	Farquar & Rovers,1973 Farquar & Rovers,1973 Ehrig,1983
Sıcaklık	Metan oluşumu için optimum sıcaklık; 40° 41° 45 34-38°C	Rees,1980 Hartz et al.,1982 Matta-Alvarez et al.,1986
Hidrojen	Asetik asit oluşumu için hidrojenin kısmi basıncı; $< 10^{-6}$ atm.	Barlaz et al.,1987
Nütrientler	Bölgesel heterojenlikler hariç çoğu depo sahasında yeterli miktarda nütrient mevcuttur.	Christensen&Kjeldsen,1989
Sülfat	Sülfat artışı metan oluşumunu engeller	Christensen&Kjeldsen,1989
İnhibitörler	İnhibisyon oluşturan katyon konsantrasyonları (ppm); Sodyum 3500-5500 Potasyum 2500-4500 Kalsiyum 2500-4500 Magnezyum 1000-1500 Amonyum (toplam) 1500-3000 Ağır metaller; Depo sahalarında önemli bir etkisi yoktur. Organik bileşikler; Önemli miktarlarda yalnızca engelleyici etkisi vardır	McCarty&McKinney,1961 Ehrig,1983 Christensen&Kjeldsen,1989

3.2.3 pH ve alkalinite

Depo sahalarında uygun pH değerleri, mikroorganizmaların faaliyeti için oldukça önemlidir. Bakterilerin çoğu hidrojen (H^+) ve hidroksil (OH^-) iyonlarına karşı oldukça hassastırlar. Aşırı organik asit oluşumundan kaynaklanan düşük pH değerleri, metan bakterilerinin faaliyetlerinin durmasına neden olmaktadır. Birçok mikroorganizma türünün yaşamı için pH aralığı 6-9 iken optimum pH değeri 6.4-7.2 değerleri arasındadır (Kotze, J.P., Thiel, P.G., vd., 1969). Metan bakterilerinin rölatif aktivitelerinin (asetat kullanım hızlarının) pH ile değişimi Şekil 3.4' deki gibidir. $pH > 8$ için aktivitenin aniden düşmesi ortamdaki serbest (iyonize olmamış) NH_3 miktarıyla da ilgilidir.

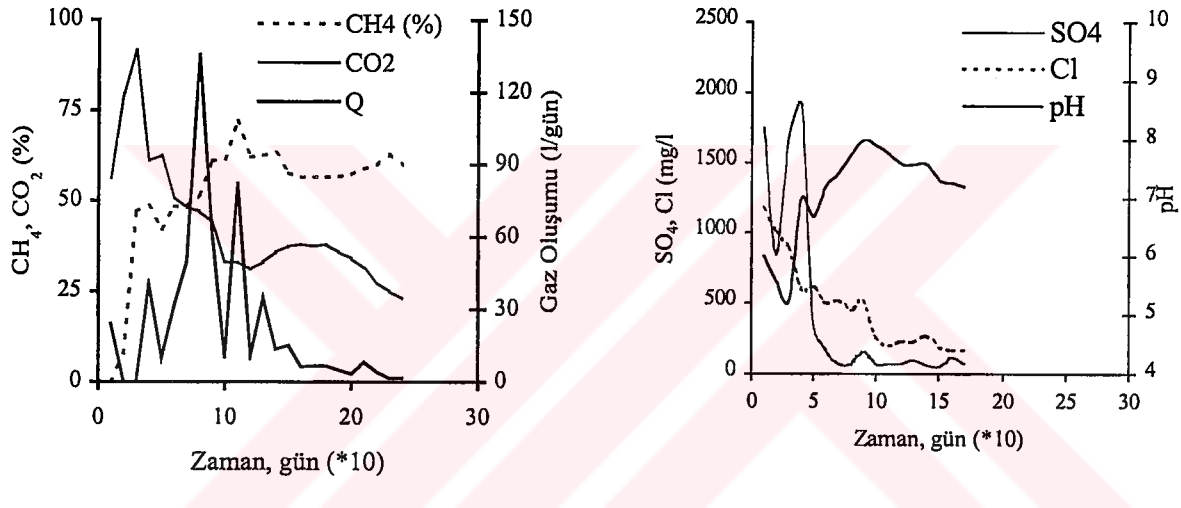


Şekil 3.4 Anaerob bir filtrede pH'ın metan bakterilerinin reaktif aktiviteleri (R) üzerindeki etkisi (Zehnder, v.d., 1982)

Alkalinite, sistemin anaerob ayrışma için gerekli pH değerinin istenen seviyenin altına düşmesine yol açan uçucu ve diğer asitleri tamponlama kapasitesini gösterir. Düşük alkalinite değerlerinde ortamdaki asitler pH değerinin düşmesine sebep olarak biyolojik aktiviteyi durdurabilirken, yüksek alkalinite değerleri sistemi düzensiz pH değişimlerine karşı korur. Evsel atıksu çamurunun anaerob ayrışması için gerekli toplam alkalinite değeri 2000-3500 mg/l $CaCO_3$ olarak belirlenmiştir (Kotze and Thiel, 1969).

3.2.4 Sülfat

Sülfat anaerob şartlar altında elektron kabul eden bir maddedir. Hem sülfat indirgeyen bakteriler hem de metan bakterileri asetik asit ve hidrojeni enerji kaynağı olarak kullandığından bu iki bakteri türü arasında rekabetin doğmasına neden olur. Sülfat indirgeyen bakteriler elektronları metan bakterileri etrafından uzaklaştırarak kendilerine doğru çekerler. Böylece daha düşük metan üretimi gerçekleşirken yüksek miktarda H_2S oluşur. Meydana gelen H_2S metan bakterileri üzerinde olumsuz etki yapar. Şekil 3.5' de depo gazı oluşumunun zamanla değişimi ve sülfat konsantrasyonunun metan gazı oluşumuna etkisi görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere sülfat konsantrasyonunun azalmasıyla metan oluşumu büyük oranda artmaktadır (Stegmann,R. and Spendlin, H.,1985).

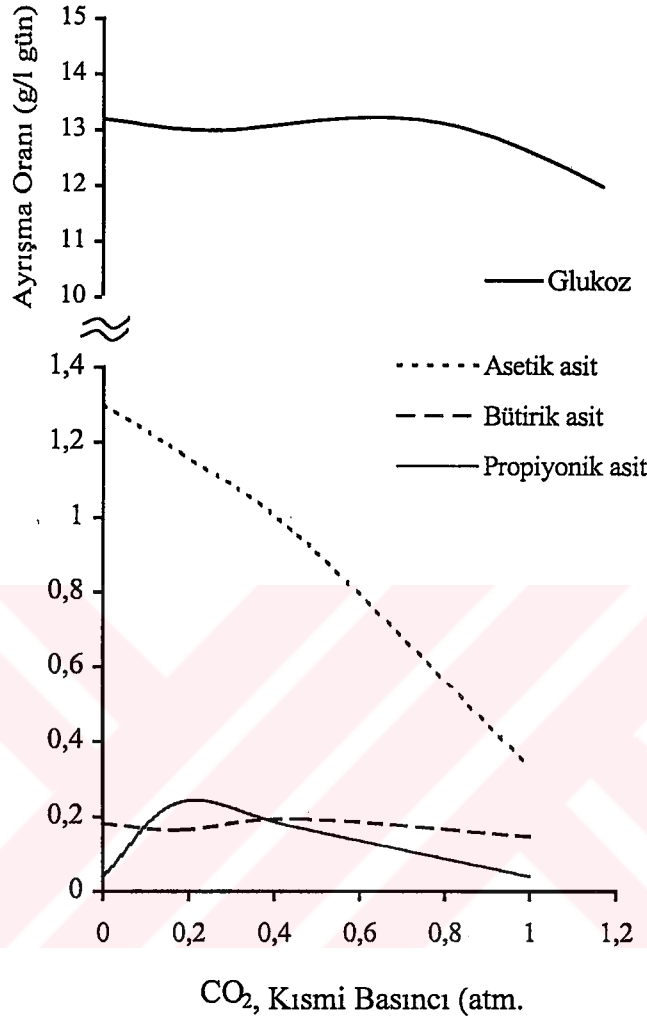


Şekil 3.5. Sülfat'ın anaerob ayrışmadaki inhibisyonu (Stegmann and Spendlin, 1985)

3.2.5 İnhibitörler

Oksijen, hidrojen ve sülfatın metan oluşumu üzerindeki etkisi bilinmektedir. Bu bölümde substrat konsantrasyonu, CO₂, tuzlar, sülfat, ağır metaller ve özel organik bileşiklerin potansiyel etkilerinden söz edilecektir. Uçucu yağ asitlerinin metan oluşumu üzerindeki engelleyici etkisi birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (Christensen and Cossu, 1998). Buna göre asetik, propiyonik ve bütirik asitin toplam konsantrasyonlarının 6000 mg/l 'nin üzerinde olmaması gerekmektedir. Depo sahalarında uçucu yağ asidi konsantrasyonu nadiren metan oluşumu üzerindeki engelleyici miktarın üzerine ulaşır. Ayrışma işlemlerinin çoğunda CO₂ oluşmaktadır ve bunların metan oluşumu üzerindeki etkileri çamur yataklı kesikli reaktörlerde araştırılmıştır. Şekil 3.6'da CO₂ 'in kısmi basıncının asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asit ayrışma oranları üzerindeki etkisi görülmektedir. Depo sahalarında CO₂'in kısmi basıncı ayrışmanın ilk safhalarında 0.9 atmosfere

ulaşabilir, ancak bu basıncın tipik değerinin ayrışma için 0.5 atmosfer olması istenir. Şekil 3.6'dan da görüleceği üzere CO_2 'nin kısmi basıncı özellikle asetik asitten metan oluşumu esnasında son derece önemlidir.



Şekil 3.6. CO_2 'nin kısmi basıncının fonksiyonu olarak değişen çeşitli maddelerin ayrışma oranları (Christensen and Kjeldsen, 1989)

Amonyumun inhibisyon etkisi pH'ın artmasıyla artan serbest amonyak miktarıyla oluşur. Depo sahasındaki atıkların, sızıntı suyu bileşenleri düşünüldüğünde önemli katyonları içerdiği görülmektedir. Çizelge 3.3'de görülen bu katyonlar depo sahalarında genellikle engelleyici miktarın altında bulunmaktadır. Önemli miktarlarda endüstriyel kimyasallar içeren katı atık düzenli depo sahalarında asetaldehit, akrilik asit, dietil amin, etil asetat, etil benzen, formaldehit, kloroform, nitrobenzen, fenol, propanol, vinil klorür gibi özel organik maddeler metan oluşumunu engelleyebilir.

Çizelge 3.3 Katyonların metan oluşumu üzerindeki etkisi (Christensen, T.H. 1998)

Parametre	Faydalı etki miktarı	Orta dereceli inhibisyon miktarı	Önemli miktarları
Sodyum, mg/l	100-200	3500-5500	8000
Potasyum, mg/l	200-400	2500-4500	12000
Kalsiyum, mg/l	100-200	2500-4500	8000
Magnezyum, mg/l	75-150	1000-1500	3000
Amonyum (Toplam) , mg/l	50-200	1500-3000	3000

3.2.6 Besi maddeleri

Anaerob mikroorganizmalar için gerekli mikronutrientlerden sülfür, kalsiyum, magnezyum, potasyum, demir, çinko, bakır, kobalt, molibden ve selenyum depo sahalarında bulunmaktadır. Yeni teşekkül etmiş anaerob bakteriler azot ve fosfor gibi besin maddelerinin çok az bir kısmını bünyelerine aldıklarından, anaerob sistem için gerekli olan nutrient miktarı aerob sisteme nazaran daha azdır. Anaerob sistemler için organik madde (KOİ olarak), azot ve fosfor arasındaki optimum oran 100:0.44:0.08 'dir (Cossu,1989). Bu oranda en düşük değere sahip olan fosfor anaerob ayrışma prosesinde kısıtlayıcı besin maddesidir.

3.2.7 Nem muhtevası

Çöp ve katı atıkların depolandığı yerlerde önce aerobik sonra da anaerobik ayrışmalar olmaktadır. Biyokimyasal reaksiyonlar çeşitli parametrelerin etkisi altında engellenmekte veya teşvik görmektedir. Özellikle çöp kütlesinin su içeriği reaksiyonları olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca ayrışma ürünlerinin taşıyıcısı olarak da işlevi büyüktür. Su hem sızıntı suyu bileşimini hem de depo gazı oluşumunu etkilemektedir.

Depo kütlesinde bulunan organik maddelerin mineralizasyonu ya su miktarının azlığı ya da kolay ayrışabilir organik madde içeriğinin fazla olması nedeni ile daha asidik fazda durdurulabilir. Metan fazı da optimal koşullarda başlar. Yüksek düzeyde kirli bir sızıntı su oluşmasını önlemek için de deponun en alt tabakasını ön ayrıştırmadan geçirilmiş malzemedan oluşturmak gerekir. Böylece ham kompost özelliğinde olan bu tabaka yüksek düzeydeki sızıntı su kirliliğini suspanse eder, dengeler ve azaltır. Depo gazı oluşumuna etki eden olumlu ve olumsuz faktörleri aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

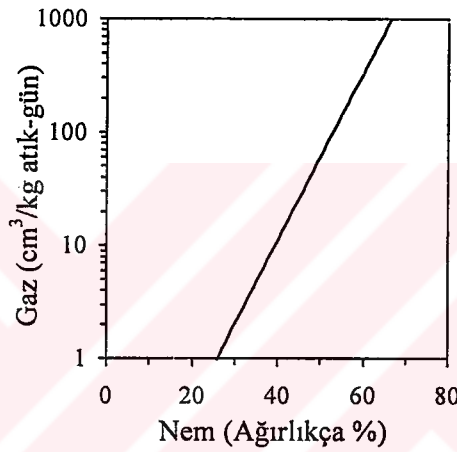
- Arıtma çamurunun ilavesi (olumlu katkısı yok)
- Homojenleştirme amacı ile çöp parçalama (olumlu katkısı var)
- Depo kütlesinin su içeriğinin >%40 olması (olumlu katkısı var)

- Su hareketi ve tekrar yağmurlama (olumlu katkısı var)
- Ön ayrıştırmaya tabi tutulmuş atığın karıştırılması (olumlu katkısı var)
- Çöplerin ince tabakalar halinde inşa edilmesi (olumlu katkısı var)

Yüksek su muhtevasının, anaerobik ortamın gelişmesi, ısı transferi ve substrat difüzyonu üzerinde olumlu katkıları vardır. Birim katı atık başına oluşan biyogaz üretimi ile nem oranı arasında logaritmik bir ilişki vardır. Depo sahasında metan üretiminin optimize edilebilmesi için atıkların suya doymun olması gerekir. Steyer vd. (1999), nem oranının %20-70 arasında olması halinde günlük gaz üretiminin aşağıdaki formül ile modellenebileceğini belirtmişlerdir:

$$y = 0.024 * e^{(0.15 * \%H_2O)} \quad (3.1)$$

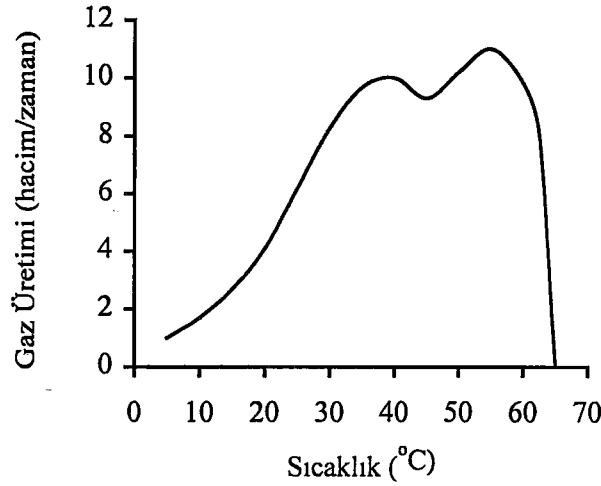
y:cm³ biyogaz/kg katı atık-gün



Şekil 3.7 Atıkların nem muhtevasına bağlı olarak gaz üretim hızı (Lisk, 1991)

3.2.8 Sıcaklık

Depo sahalarında anaerob ayrışma işlemi sıcaklığa bağlı olarak değişir. Mikrobiyal reaksiyon hızları farklı sıcaklıklarda değişmekle birlikte çok düşük ya da çok yüksek sıcaklıklarda durur. Anaerob ayrışmada başlıca iki sıcaklık aralığı vardır. Bunlar mezofilik (yaklaşık 35 °C) ve termofilik (yaklaşık 55 °C) sıcaklık kademeleri olarak adlandırılır. Metan üretimi sıcaklık arttıkça artarak 35 °C de birinci pik değerine ulaşır. Ancak 45 °C ve üzerinde termofilik kademe başlar ve metan üretimi 55 °C de maksimum değerine ulaşınca kadar yeniden artar (Şekil 3.8). Hartz vd, (1982) çeşitli depo sahalarında 21°C ile 48°C arasında metan oluşumu üzerinde sıcaklığın etkisini araştırmışlar ve metan oluşumunun 41°C de optimum düzeyde olduğunu 48-55°C de ise reaksiyonun durduğunu tespit etmişlerdir.



Şekil 3.8 Anaerob arıtmada sıcaklığın gaz üretimine etkisi (Öztürk,1999)

3.3 Düzenli Depo Sahalarında Gaz Oluşumu

Çöplerin depolanması sırasında çöpün organik bileşenini oluşturan yağlar, proteinler ve karbonhidratlar gibi yüksek moleküllü maddeler mikroorganizmaların vasıtasıyla daha basit bileşenlere ayrıştırılır. Bu ayrışma deponun kapatılmasından sonra da devam eder. Ayrışma sırasında yan ürün olarak depo gazı oluşur. Ana içeriği CO_2 ve CH_4 olan bu gazda az miktarlarda O_2 , N_2 gibi gazlar da bulunur.

Başlangıçta proses aerobik koşullarda gerçekleşir. Ayrışmayı katı atıkların yerleştirilmesi sırasında mevcut olan oksijen destekler. Serbest oksijenin tükenmesine bağlı olarak birkaç gün ya da hafta sürece bu safha sırasında CO_2 ve H_2O gibi son ürünler meydana gelir. Bundan sonra ise anaerobik koşullar hakim olur. Anaerobik ayrışmada önce yüksek moleküllü maddeler yağ asitleri, alkoller, aldehitler ve CO_2 gibi maddelere ayrışır. Asit oluşturucu bakterilerin görev yaptığı bu sınıflama aşamasından sonra metabolizma ürünleri metan bakterileri tarafından CO_2 ve CH_4 'e kadar parçalanır. Kabaca depo gazı %50-70 CH_4 ve %30-50 CO_2 'den oluşur. Çizelge 3.4'de depo gazında bulunan bileşenler verilmiştir.

Gaz oluşumunu sağlayan mikroorganizmaların varlığı çevre şartları ile yakından ilgilidir. Bunlar; sıcaklık, su muhtevası, besi maddesi ile pH değeridir. Atık depolamasından sonra, mikroorganizmalar öncelikle ortamdaki oksijeni tüketirler. Bu safhada, CO_2 miktarı fazladır. Ortamdaki oksijenin bitmesi sonucu ortam anaerobik hale dönüşür ve metan gazı oluşmaya başlar. Gaz çıkışı, atık stabilize oluncaya kadar devam eder. Metan çıkışı depo yapılmasından itibaren, birkaç aydan 2 yıla kadar artarak çıkmaya başlar. Yaklaşık 20 yıl sonra stabil hale

gelebilir. Bu sürede gazın % 75'i çıkar. Metan hariç diğer gazlar kokulu olduklarından hemen fark edilirler. Ortalama 1 m³ çöpten 100-400 m³ gaz çıkmaktadır.

Bu gazlar çevreye yayılarak koku, yangın, patlamalar ve zehirlenmelere sebep olabilirler. Depo gazları (özellikle metan gazı) yeraltından 200 metre mesafelere kadar ulaşabilmektedir. Hatta depo sahası çevresindeki binalarda, bodrum, kanalizasyon veya kablo boruları vasıtasıyla yayılarak çeşitli patlamalara, boğulma ve zehirlenmelere de sebep olabilirler. Ayrıca bu yollarla daha uzaklara yayılabilmektedirler. Katı atık depolama sahalarında iki çeşit gaz toplama sistemi kullanılmaktadır. Bunlar; düşey gaz toplama ve yatay gaz toplama sistemleri olarak isimlendirilirler.

Çizelge 3.4 Depo gazı bileşenleri (Mutasem, 1997)

Bileşen	Konsantrasyon,%
CH ₄	40-70
CO ₂	30-60
CO	0-3
Azot	3-5
Oksijen	0-3
Hidrojen	0-5
H ₂ S	0-2
Diğer gazlar	0-1

4. DÜZENLİ DEPO SAHALARINDA SIZINTI SULARININ OLUŞUMU VE ÖZELLİKLERİ

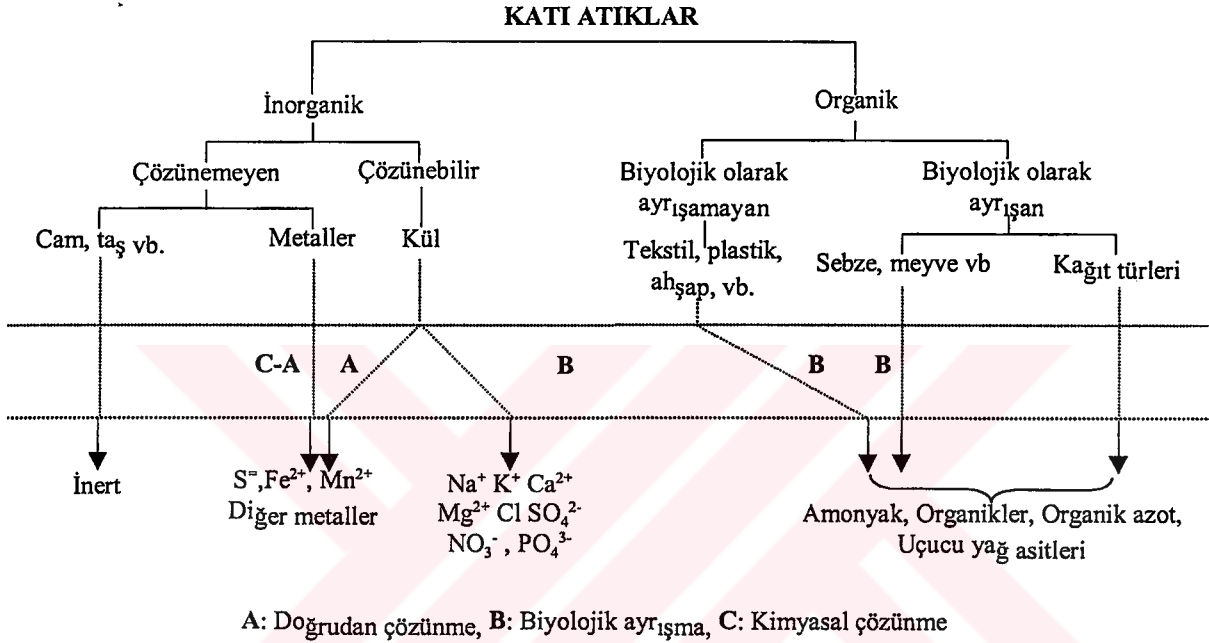
Sızıntı suyu çoğunlukla katı atık dolgu alanının aktif bölümüne yağın ve atık tarafından emilen yağmur sularından kaynaklanır. Atık doyma kapasitesine (katı atığın, fazla nemi dışarı salmadan önce emdiği maksimum nem miktarına, arazi kapasitesine) ulaştığında, su beraberinde çöpün içerisinde mevcut olan organik maddeler, çözülmüş tuzlar, ağır metaller gibi kirletici maddeleri taşıyarak dışarı sızar. Sızıntı suyu bileşenlerini temel anlamda üç grupta toplamak mümkündür. Bunlar; (1) depo sahalarında aerobik ve anaerobik ayrışmalar sırasında oluşan sızıntı suyu, (2) depo sahasına dökülen ve sıkıştırılan katı atığın su içeren bileşiklerinin sıkıştırılmasından oluşan sızıntı suyu ve (3) depo sahası yüzeyine düşen yağışların, kontrol altına alınmamışsa, depo sahası kütlelerinden geçerek oluşturduğu sızıntı suyudur. Katı atık düzenli depo sahalarındaki sızıntı suyu miktarı; nihai üst örtü tabakasının geçirimsizlik derecesi, iklim şartları, yüzey suyu kontrolü, boşaltılan atığın nem muhtevası ve depo yaşı gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Bu tezde, bütün bu faktörlerin değerlendirilmesi için bir bilgisayar modeli geliştirilmiştir. Bu modelde, katı atık dolgu alanının içinde bulunan, içinden geçen ve dışına çıkan suyun hareketini hesaplayan ve ortalama yıllık oluşum miktarını bildiren suyun kütle dengesine göre modellenmiş bir bilgisayar programı verilmiştir. Bölüm 6'da detaylı bir şekilde verilen programın giriş verileri, ABD Çevre Koruma Dairesi (USEPA) tarafından geliştirilmiş olan katı atık dolgu alanı performansı hidrolojik değerlendirme modelinden (HELP) ve 1995'ten beri faaliyette olan Odayeri depo sahası işletme verilerinden alınmıştır. HELP Model, katı atık dolgu alanının içinde bulunan içinden geçen ve dışına çıkan suyun hareketini hesaplayan ve sızıntı suyunun günlük pik miktarını, ortalama aylık ve ortalama yıllık oluşum miktarını bildiren suyun kütle dengesine göre programlanmış bir bilgisayar modelidir (Peyton, vd, 1988, Murphy, 1998).

4.1 Sızıntı Suyu Oluşumu ve Miktarını Etkileyen Faktörler

Düzenli depo sahalarında oluşan sızıntı sularının yüzey ve yeraltı sularına karışmasını önlemek üzere alınacak en önemli tedbir, bu sahaların işletilmesi esnasında ve işletme durdurulduktan sonra sızıntı sularının kirletici konsantrasyonlarındaki değişimin izlenmesi ve miktarının belirlenmesidir. Bir depo sahasında hidrolojik denge bileşenlerinden olan; mevsimsel değişimler, atığın nem miktarı, toprağın geçirimsizliği vb. faktörlerin biri veya birkaçı değişime uğradığında depo sahası için kabul edilen metodolojinin tamamının bu değişimden etkileneceği açıktır. Düzenli depo sahalarında sızıntı suyu oluşumunu etkileyen faktörler arasında;

- Mevcut yağış miktarı, yüzey sularının kontrolü, atığın nem içeriği, sızıntı suyunun geri devri ya da son örtünün sulanması,
- Toprak ve bitki örtüsünün özellikleri,
- Boşaltılan atığın yoğunluğu, boşaltma metotları,
- Depo alanının toprak karakteristiği ve/veya su geçirgenliği yer almaktadır (Christensen, 1989).

Katı atıkların depolandığı sahanın yağmur, yüzey suları ve yeraltı suları ile temas etmesi neticesinde katı atık bünyesinde bulunan maddeler depo koşullarındaki çözünürlüklerine bağlı olarak az veya çok miktarlarda su fazına geçip sızıntı suyunu oluştururlar.



Şekil 4.1 Katı atık bileşenleri ve sızıntı suyu oluşum basamakları

Depo sahası sızıntı suyu üretiminin nicelik olarak değerlendirilmesi için depo sahası su dengesi modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller, bir dizi deney ölçekli ve gerçek depo sahasında sızıntı suyu üretimini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu modeldeki basitleştirilmelerden kaynaklanan sınırlamalarına rağmen, makul düzeyde doğru sonuçlar verdiği görülmekte ve katı atık yönetiminde planlama aracı olarak kullanılmaktadır.

Depo sahasına yüzey kaplamasından gelen sızmaların örtü malzemesi özelliklerine ve mevsimsel değişimlere bağlı olduğu görülmektedir. Yağış ve depo sahasının yüzey koşulları arasındaki etkileşimin dikkatlice değerlendirilmesi ve en az aylık esasa dayalı, sahaya özgü verilerin kullanılması gerekmektedir.

Depo sahasına yerleştirilmiş haldeki özgül ağırlığı 0.6-0.8 t/m³ olan katı atıklarda, kuru ağırlığın %35'i kadar ilk neme sahip olması durumunda, önemli miktarda sızıntı suyu üretimi

başlamadan önce, genellikle katı atıkta ton başına 0.16-0.27 m³ su absorbe etme kapasitesi mevcuttur. Katı atıktaki ilk nem oranının kuru ağırlığının %35'inden fazla olması durumunda doyma noktasına çok daha çabuk ulaşıldığını göstermektedir. Bu şartlar altında, katı atığın nem tutma kapasitesinden yararlanılamaz ve böylece depo sahasının işletilmesi sırasında sızıntı suyu oluşumu geciktirilemez ve miktarı azaltılamaz.

Oluşan sızıntı suyunun hacmi, yağışlardan ve yeraltı suyundan depo alanına eklenen ve çöpün içinde mevcut olan nem miktarına bağlıdır. Bu nemin önemli bir bölümünün dışarıdan sızmadan, az bir kısmının çöplerin depolanmasından ve bir kısmının da biyolojik ayrışmadan oluştuğu kabul edilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde özellikle yaz aylarında çöpün kendi bünyesindeki nem miktarı yaklaşık %80 civarına çıkmaktadır. Bu yüzden de çöpün dökülmesi ve sıkıştırılması sırasında ani olarak sıvı faza bir geçiş gözlenir (Farquar, 1980). Bu gibi yerlerde yaz aylarında yağış olmamasına rağmen meyve ve sebzelerden dolayı sızıntı suyu miktarında artış gözlenir. Diğer yandan kış aylarında katı atıklarda yaklaşık %20 oranında bulunan külün sızıntı suyunu adsorblaması bu suların azalmasına sebep olur.

Sızıntı suyu oluşumunu etkileyen faktörlerin başında mevsimlik değişim gelir. Bunun en büyük iki sebebi yağış miktarının çok olması ve özellikle de baharda karların erimesidir. Diğer taraftan yaz ve sonbahar aylarında sızıntı suyu miktarında önemli ölçüde azalma olur. Bunun en önemli sebebi ise buharlaşmadır. Aynı derecede önemli olan diğer bir faktör de ki bunun mevsimsel dalgalanmada büyük etkileri görülür, yağış sonucu oluşan ve depo alanı bünyesinde bulunan nem miktarıdır. Yağışın diğer bir parçası olan yüzeysel akışların da her ne kadar bir kısmı buharlaşma suretiyle atmosfere geri dönüyorsa da bir kısmı yine katı atığın nem miktarını etkileyen bir faktör olarak kabul edilir. Diğer taraftan nem oranındaki azlık atık stabilizasyonu için gerekli olan biyolojik dönüşümün periyodunun uzamasına ve yüksek yaşa sahip olan sızıntı sularında yüksek konsantrasyonda organik bileşenlerin görülmesine yol açar (Küçükgül,1998).

Meteorolojik faktörler arasında sızıntı suyu oluşumuna en fazla etki yapan yağmurdur. Yağmurun frekansı, şiddeti ve süresinin bilinmesi oluşan sızıntı suyu miktarını belirlemede önemli rol oynar. Bu yağış çöp içindeki kirleticilerin sıvı halde uzaklaşmasını sağlarken aynı zamanda biyolojik aktivitenin oluşması için gerekli olan nem oranını da sağlar. Şiddetli ve kısa aralıklı yağmur yağdığı anda örtü tabakasının çok çabuk doyması sebebiyle küçük miktarda ama net bir sızma oluşur.

Yağmur ve kar, coğrafi bölgeye göre ve mevsimsel özelliklere bağlı olarak değişirler. Bu yüzden yılın her dönemi oluşan sızıntı suyu debisi sabit kalmaz. Kışın çok soğuk geçtiği iklimlerde alanın ve suyun donması yüzünden sızma minimuma düşer. Yaz ayları çok sıcak olan yerlerde de bu kez buharlaşma ve terlemeden dolayı yine sızmanın düştüğü görülür. Sonbaharda yağış oranının artması ve ilkbaharda kar ve donan kısımların erimeye başlamasıyla sızıntı suyu miktarında artışlar olur. Bunun dışında havadaki nem miktarı, rüzgar ve hava basıncı da sızıntı suyu oluşumunu doğrudan ve dolaylı olarak kısmen etkilemektedir.

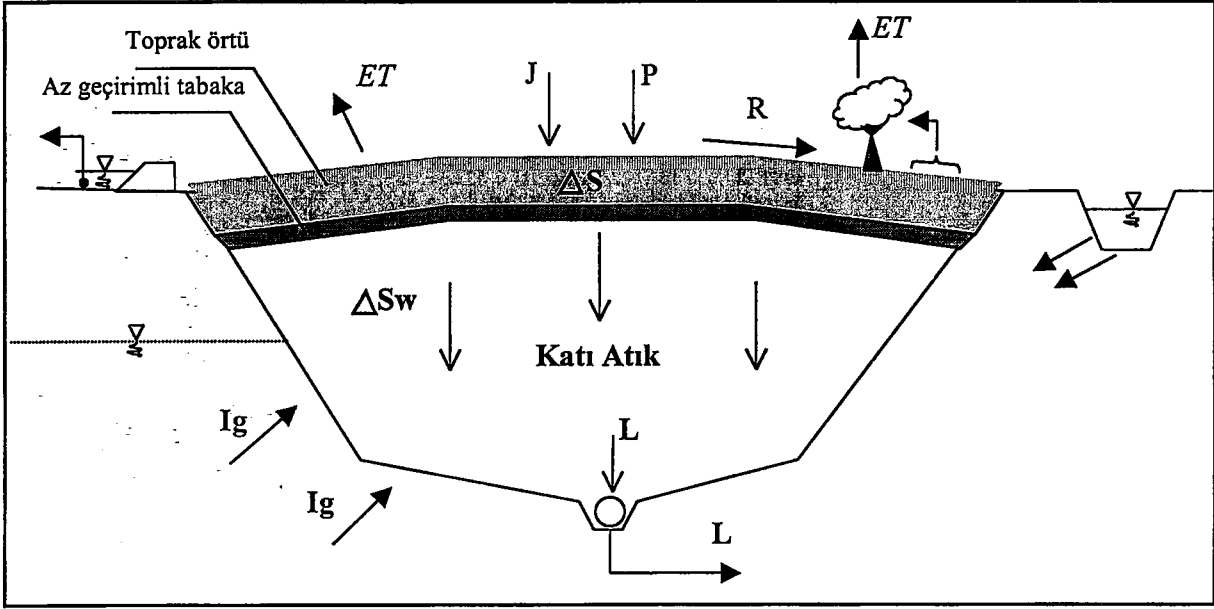
4.2 Düzenli Depo Sahalarında Hidrolojik Denge Bileşenleri

Sızıntı suyu oluşumunu kontrol eden temel faktörler; yüzeyden sızmayla depo sahasına giren sıvı bileşenler, atığın geçirgenliği ve atığın nem içeriğindeki değişimdir(Blakey,1998). Depo alanındaki kirlilik potansiyelini ve meteorolojik parametreleri de kullanarak depo alanı içindeki nem miktarını tahmin etmede en iyi sonuç veren metot su dengesi metodudur. Genellikle depo alanı tasarımı yapılırken örtü tabakasının doğal nemi veya sızıntı suyu geri devri ile oluşan nem miktarı göz önüne alınır. Çünkü çöpün sıvıyı absorblama kapasitesi oldukça düşüktür. Yine de çöp bünyesinde oldukça büyük miktarda sıvı ihtiva eder.

İnfiltrasyon depo alanı üzerine düşen yağış ile yüzeysel akış arasındaki farktır. Sızıntı suyu katı atıkların içerisinden süzülerek bir takım kimyasal, biyolojik ve fiziksel olaylara maruz kalarak oluşur ve sızıntı suyu drenaj sistemleriyle dışarı alınır. Depolanan nem; çöp içinde tutulan su ve yarı geçirgen katmanlarda tutulan aşağı süzülen veya üst katmanın hemen altında toplanan ve eğimden dolayı bir akışı bulunan, direkt olarak buharlaşmayan sudur.

Depo sahasının iyi projelendirilmesi ve iyi işletilmesi durumunda, yağışın potansiyel buharlaşmanın üzerinde olduğu durumlarda çöp kütlesi içerisinde yıllık su açığı meydana gelecektir. Bu olay katı atık kütlelerinin içerisine su sızmasını azaltmak sureti ile gerçekleştirilebilir. Çöp sahasındaki uygun bir eğim ve örtü tabakasının dikkatli bir biçimde su geçirmezliğinin sağlanması gerekmektedir.

Avrupa'da genelde infiltrasyon oranı yıllık %10-25 civarlarında değişirken bazı belli alanlarda bu miktarın %50'lere vardığı belirlenmiştir. Yıllık ortalama sızma 0.9 mm/gün olarak alındığı takdirde 1 hektarlık depo sahasında 9 m³/gün veya 3285 m³/yıl sızıntı suyu oluşumu gözlenir.



Şekil 4.2 Depo sahalarında su dengesi

P: Yağış miktarı

J: Sızıntı suyu geri devir miktarı

R: Yüzeysel akış

AK: Arazi kapasitesi

L: Drenaja ulaşan sızıntı suyu miktarı

$L = SS + P + J - R - ET - \Delta S_{\text{toplam}}$

$L = P - ET - R - \Delta S$

$\Delta S = AK - SN$

ET: Buharlaştırma ve terleme kayıpları

SS: Atığın neminden kaynaklanan serbest su

ΔS : Atığın absorblama kapasitesi

SN: Solma noktası

Ig: Yeraltı suyu sızması

Depo sahasının aktif işletme süresi boyunca oluşan sızıntı suyu miktarı

Son örtü kapatıldıktan sonra oluşacak sızıntı suyu miktarı

Su dengesi, verilen bir zamanda deponun belli bir katmanının birim alanına giren su kütlesinin girişi, çıkışı ve harcanması göz önüne alınarak hesaplanır. Sızıntı suyunun verilen zaman aralığında oluşup oluşmayacağı su tutma kapasitesi ile karşılaştırılarak bulunur. Su tutma kapasitesi su miktarından az olduğu takdirde sızıntı suyu oluşur (Yuen, 1997).

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. Su dengesi formülünde verilen değişkenlerin çoğunu tam olarak belirlemek mümkün olmadığından sızıntı suyu miktarının belirlenmesi oldukça zordur. Çöpün sıkıştırılma şekline bağlı olarak en olumsuz şartlarda yağan yağmurun %25-60'ı alınmaktadır. Ayrıca sızıntı suyu oluşumu için literatürde 1-15 m³/hektar gün aralığı verilmektedir. Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde kaydedilen sızıntı suyu miktarları Çizelge 4.1'de verilmiştir (Hjelmar, 1995). İstanbul'daki düzenli depolama alanlarından açığa çıkacak sızıntı suyu miktarı için ilk 5 yılda 2 m³/hektar gün, daha sonraki yıllarda ise 5 m³/hektar gün olarak tahmin edilmiştir (CH2M-Hill-Antel, 1992).

Çizelge 4.1 Avrupa ülkelerinde kaydedilmiş sızıntı suyu miktarları

Ülke	Sızıntı suyu miktarı	Referans
İsveç	Ülke ortalaması 250-300mm/yıl. Kil nihai örtü tabakası ile kaplı tesislerde 10-40 mm/yıl	Nilsson, 1993
Danimarka	350 mm/yıl işletme sırasında (yıllık yağış yüksekliği 714 mm/yıl) Nihai örtü teşkilinden sonra 75 mm/yıl	Hjellmar, 1989
Almanya	Yıllık yağışın %4-35'i (Yıllık yağış yüksekliği 510-1160 mm)Düşük değerler genç, Yüksek değerler ise yaşlı tesisler için	Ehrig, 1991
İspanya	7 mm/yıl (400mm/yıl yağış için)	Gössele, 1993
İtalya	82 mm/yıl	Baldi, 1993
Yunanistan	40-60 mm/yıl (387 mm/yıl yağış için)	Kouzeli, 1993

4.2.1 Yağış miktarı

Sızıntı suyu oluşumunda en büyük paya sahip mevsimsel parametredir. Depo için su dengesi oluşumunda en önemli adımlardan biri, örtü tabakasından sızan yağmur suyu miktarının tayinidir. Bu konu ile ilgili ölçüm değerleri meteoroloji istasyonlarından veya bölgesel hidrografik haritalardan alınabilir. Depo sahası hidrolojisinde yer alan bir diğer yağış parametresi olan karın 1cm' lik yüksekliği 1mm etkili yağışa eşdeğer kabul edilmektedir.

4.2.2 Yüzeysel akış

Depo sahası üzerine düşen yağışın infiltrasyona uğramadan alan yüzeyinde akması işlemidir. Bu akış; yağış şiddetine, toprağın ihtiva ettiği neme, topografik özelliklere ve toprağın morfolojik özelliklerine bağlıdır. Aşağıda yüzeysel akışın hesaplanmasında çok sık kullanılan metotlardan, Rasyonel Metot ve Sızma Eğrisi Metodu verilmiştir.

Rasyonel metotta yüzeysel akışın yağışa oranı sabittir. Bu metotta yüzeysel akış;

$$R = c \times P \times A \quad (4.1)$$

Formülü ile verilir.

Burada;

R: Akış (L/s)

P: Yağış (L/s-ha)

c: Sabit

A: Alan (ha)

'c' sabiti toprağın yapısına, alanın eğimine ve alandaki bitki örtüsünün çeşidine bağlı olarak değişir. Bu metot kısa ve şiddetli yağışlarda fazla debi öngörmektedir. Bu varsayım, aylık yağış miktarları ele alındığında hesaplananın üzerinde bir netice verecektir. Aynı şekilde, pik yağış verileri kullanıldığında hafif yağışların uzun süre devam ettiği durumlarda önemli olmasına rağmen yüzeysel akış hesaplanmamakta veya çok düşük olarak hesaplanmaktadır. Çizelge 4.2'de farklı topografya, toprak ve yüzey bitki örtüsüne sahip alanlar için akış katsayıları verilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı topografya, toprak ve yüzey örtüsüne sahip drenaj alanları için yüzeysel akış katsayılarının karşılaştırılması (Blakey, 1998)

Saha Tipi	Akış Katsayısı, C		
	Düz eğim (<%2)	Yokuşlu (%2-10)	Tepelik (>10)
Çıplak toprak (Kil)	0.60	0.70	0.80
Kil veya siltli toprak	0.50	0.60	0.72
Çayır ve mera	0.30	0.36	0.45
Ekili geçirimsiz (kil)	0.50	0.60	0.60

Sızma eğrisi metodu; 1947'de Amerika Birleşik Devletleri Tarım ve Toprak Koruma Hizmetleri (USDA-SCS) tarafından formüle edilmiş olan bu metot, üst toprak örtüsü tabakasının geçirimsizliği bu tabakada yetişen bitkilerin tipi, bölgenin eğimi, araştırmanın yapıldığı andaki toprağın su muhtevası gibi çeşitli faktörleri dikkate alarak oluşacak yüzey suyu miktarının hesaplanmasını sağlar. Herhangi bir akış anında, yüzey suyu miktarını yağış yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak hesaplanması mümkündür. Bu metodun doğru kullanımı için, en azından günlük tercihen 12 ya da 6 saatlik periyotlarda yağış verilerinin elde edilmiş olması gerekmektedir. SCS metodunun yağıştaki günlük değişimlerden ileri gelen akışın hesaplanmasında, rasyonel metodun ise uzun süreli planlamalar için kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu metoda göre toprağa sızan su miktarı,

$$f_p = f_c + (f_o - f_c) \times \exp(-kt) \quad (4.2)$$

Burada;

f_p : Sızma kapasitesi

f_c : Sabit sızma kapasitesi

f_o : Toprağın yağışın başladığı andaki sızma kapasitesi

t : Yağmurun başladığı andan itibaren geçen zaman

k : toprak cinsine bağlı sabit

yağışın yüzeysel akışa geçen kısmı;

$$Q = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{(P + 0.8 * S)} \quad (4.3)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada; Q: Yüzeysel akış, P: Toplam yağış, S: maksimum su tutma kapasitesini göstermektedir.

4.2.3 Buharlaşma ve terleme kayıpları

Depo sahalarında zemin nemi veya yağışın oluşturduğu nem uygun şartlar altında buharlaşır. Buharlaşma kayıpları sıcaklık, rüzgar hızı, buharlaşma yüzeyi ile hava arasındaki buhar basıncı farkı, atmosfer basıncı ve buharlaşacak olan sıvının özgül ağırlığına bağlı olarak değişir. Buharlaşan sıvının özgül ağırlığında %1'lik bir artış buharlaşma miktarında %1'lik azalmaya sebep olur (Penman, 1948; Amalendu, 1990). Zemin yüzeyinden buharlaşma su yüzeyinden buharlaşmaya benzer. Ancak, özellikle az geçirimli zeminlerde, su moleküllerinin yemeleri gereken direnç daha büyüktür. Zeminin üst kısmında yeterli su varsa (arazi kapasitesi değerinde) zeminden buharlaşma, su yüzeyinden buharlaşmaya eşit olur. Aksi halde zeminden buharlaşma miktarı zeminde mevcut su miktarı ile sınırlıdır, kuruma noktası düşünüldüğünde buharlaşma tamamen durur. Bu bakımdan zeminin üst tabakalarındaki nem ve zeminin su iletme kapasitesi önemli rol oynar. Bir bölgede terleme ile ve zeminden, su ve kar yüzeylerinden buharlaşma ile meydana gelen toplam su kayıplarına buharlaşma ve terleme kayıpları denir (Muslu,1993). Depo sahalarında nihai örtü takasına bitki ekilmesi sonucu alanda terleme ile su kaybı meydana gelecektir. Burada kaybolan su miktarını herhangi bir bitki örtüsüne sahip olmayan bir depo sahasındaki buharlaşma sonucu oluşan su kaybı ile kıyaslısak terleme ile oluşan miktarın buharlaşma ile oluşandan oldukça fazla olduğu görülür. Kil içeren nihai örtülerde, kurak mevsimlerde çatlaklar meydana gelir. Bu çatlaklardan su depo sahasının gövdesine sızarak sızıntı suyu miktarının artmasına sebep olur ki bu durum buharlaşma ve terleme kayıplarını azaltır. Bu durumda nihai örtünün daha az kil içerecek şekilde teşkil edilmesi ile suyun nispeten sızması engellenerek buharlaşma kayıpları artırılabilir.

Depo sahaları aktif depolama süresi boyunca bitkisiz durumda olacağından buharlaşma ile, kapatıldıktan sonra ise bitki yüzeyinden buharlaşma ve terleme yolu ile kayıplar meydana gelecektir. Zemin yüzeyinden buharlaşma su dengesi metodu, enerji dengesi metodu ve Penman eşitliğine göre tahmin edilebilir.

Penman Eşitliği;

$$U = \frac{AH + 0.27E}{A + 0.27} \quad (4.4)$$

Burada;

$$E = 0.35(ew - ea)(1 + 0.55W_2) \quad (4.5)$$

$$H = R(1 - r)(0.18 + 0.55S) - B(0.56 - 0.092ea^{0.5})(1 + 0.9S) \quad (4.6)$$

H: Net radyasyon (cal/cm² gün)

A,B: Günlük ortalama sıcaklığın birer fonsiyonu

U: Günlük buharlaşma (mm)

e_w: Doygun buhar basıncı (mm Hg)

e_a: Havanın buhar basıncı (relatif nem x e_w)

w₂: Yerden 2 m yükseklikteki rüzgar hızı (m/s)

w: Muhtelif yüksekliklerde rüzgar hızı (m/s)

R: Aylık ortalama radyasyon

r: Yüzeyin radyasyonu yansıtma %'si

S: Güneş ışığının görünme %'si

Çizelge 4.3 Penman eşitliğindeki A, B ve e_w nin sıcaklık ile değişimi

T (°C)	10	15	20	25	30	35	40
A	0.35	0.48	0.60	0.89	1.05	1.38	1.64
B	12.95	13.85	14.85	15.9	17.0	18.1	19.3
e _w (mm Hg)	9.2	12.8	17.5	23.8	31.8	42.2	55.3
A= 0.0437 T(°C)-0.18					(R ² = 0.9776)		
B= 0.2121 T(°C)+10.689					(R ² = 0.9983)		
e _w = 5.2146 exp (0.0597 T(°C))					(R ² =0.9989)		

Çizelge 4.4 Penman eşitliğinde 40° enlemi için R radyasyonunun değerleri

Ay	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
R	6	8.3	11	13.9	15.9	16.7	16.3	14.8	12.2	9.3	6.7	5.5

Çizelge 4.5 Penman eşitliğinde kullanılacak rüzgar hızı oranları

h(m)	1	3	4	5	10	15	20
w ₂ /w	1.50	0.83	0.75	0.68	0.55	0.48	0.46

Çizelge 4.6 Çeşitli yüzeylerin (r) Albedo değerleri

Yüzey cinsi	r
Nemli toprak (bitki örtüsü yok)	0.10-0.20
Killi kuru toprak (bitki örtüsü yok)	0.20-0.35
Kumlu kuru toprak (bitki örtüsü yok)	0.25-0.45

Üst örtü kapatıldıktan ve bitkilendirildikten sonra buharlaşma ve terleme kayıplarının hesaplanması için literatürde birçok formül geliştirilmiştir. Bu bölümde günümüzde yaygın olarak kullanılan Thonthwaite ve Turc formüllerinden bahsedilecektir.

Thonthwaite Formülü;

tn: Yılın müteakip aylarına ait ortalama aylık sıcaklık,

Jn: Aylık ısı indeksi olmak üzere

$$J_n = (tn/5)^{1.514} \quad (4.7)$$

$$J_s: \text{Yıllık ısı indeksi} = \sum_{n=1}^{n=12} J_n$$

formülleri ile verilir.

Thonthwaite ortalama hava sıcaklığı t ve gündüz saatleri ortalaması 12 saat olan herhangi bir ay için buharlaşma ve terleme potansiyelini,

$$PE^* = 1.6(10t/J_s)^a \quad (4.8)$$

formülü ile vermektedir.

Burada;

$$a = 675 \times 10^{-9} Js^3 - 771 \times 10^{-7} Js^2 + 178 \times 10^{-4} Js + 0,498 \quad (4.9)$$

[PE]: cm , t: °C

Gündüz saatleri ortalamasının, aylara ve enlem derecelerine göre ayrı değerler alması sebebiyle PE* nin düzenlenmesi gerekir.

$$PE = PE^* \left(\frac{ng \cdot nst}{30 \cdot 12} \right) \quad (4.10)$$

Burada; ng: sözkonusu aydaki gün sayısını, nst: söz konusu ayda, güneşin doğması ile batması arasındaki ortalama gündüz saatleri ortalamasını göstermektedir.

Turc Formülü; suya doymun olmayan topraklar için kullanılmaktadır.

$$E = \frac{P + w}{\sqrt{1 + [(P + w)/L]}} \quad (4.11)$$

Burada;

E: 10 günde buharlaşma (mm)

P: Yağış (mm)

W: 10 günde buharlaşan su miktarı

$$L = \frac{(T + 2)/I_g}{16} \quad (4.12)$$

T: Ortalama hava sıcaklığı (°C)

I_g: Güneş radyasyonu (cal/km²) dir.

4.2.4 Sızma

Depo sahalarında, yağın yağmurun üst boşluk hacmini doldurması ve maksimum su tutma kapasitesine ulaşması ile birlikte su alt tabakalara sızmaya başlar. Eğer az geçirimli bir tabaka (kil) mevcut ise, bu suyun alt tabakalardaki atığa sızmasını engeller ve doymun bir tabaka meydana gelir. Bu tabakada sıvı Darcy kanununa göre hareket eder. Nihai örtü tabakasının altına, geçirimsiz tabakanın üstüne yerleştirilecek çok geçirimli bir tabaka suyun atığa sızmasını önler.

$$Q = K_B \times S \times i \quad (4.13)$$

Burada;

K_B : Toprağın hidrolik iletkenliği

S: Alan

Q: Tabaka içindeki debi

i: Hidrolik eğim (Yer altı suyu hidrolik yükünün, tabaka kalınlığına oranı)

4.2.5 Katı atığın geçirgenliği ve nem tutma kapasitesi

Depo sahasına gelen katı atıkların sıkıştırma işlemi sonrasında bünyelerinde bulunan su yerçekiminin etkisiyle serbest hale gelir. Bu su doygun halde olmayan atıklar tarafından arazi kapasitesine ulaşıncaya kadar absorbe edilir geriye kalan su ise sızıntı suyu olarak akışa geçer (Bagchi, 1989). Suyun atık içerisindeki hareketini incelerken gözardı edilmemesi gereken konulardan biri ara örtünün bulunmasıdır. Ara örtü, yeteri kadar geçirimsiz bir örtü gibi davranarak suyun depo içerisinde birikmesine ve su tablalarının oluşumuna sebebiyet verebilir ya da doygun atık oluşmasını sağlayabilir. Doygunluk, anaerobik koşulların daha çabuk oluşmasına ve sızıntı suyu özelliklerinin daha hızlı değişmesine sebep olur. Depolanan her atık katmanı için yerleştirilecek ve sızıntı suyunu drene edecek sistem ile doygun bölgelerin oluşması engellenebilir. Atık su ile doygun durumda değil ise, sızının akımı, doymamış gözenekli ortamda akıyormuş gibi düşünülerek modellenmelidir. Düzenli depo sahalarında atık maddelerinin sıkıştırılmasına özen gösterilmesi gerekmektedir. Böylece sonuçta daha az geçirgen olan bir çöp tabakası da elde edilmiş olacaktır. Atık neminin en büyük değeri özgül su tutma miktarına eşittir. Buna atığın **arazi kapasitesi** adı verilir. Atığın ulaşabileceği minimum nem değerine ise **solma noktası** rutubeti denir. Buna göre depo sahalarında üst örtüden sızan suyun atık tarafından absorblanacağı miktarı arazi kapasitesi ile solma noktası arasındaki fark kadar olacaktır (Quasim, 1994). Atığın arazi kapasitesi ile solma noktasına ait veriler Bölüm 7'de verilmiştir. Depo yüzeyinden sızan su, atık tarafından arazi kapasitesine ulaşıncaya kadar absorbe edilme eğilimindedir; suyun infiltrasyonu bu değer in üstüne çıktığı zaman, önceleri doymamış koşullarda, sonunda ise yeterli su varsa doygun koşullarda, atık içindeki su hareketi başlar.

Evsel katı atıkların kapiler kuvvet olarak bilinen depo sahasında oluşan sızının fiziksel absorpsiyonu ve boşluk yüzeyindeki absorpsiyon olmak üzere iki temel nem tutma mekanizması vardır. Atığın yoğunluğuna atığın sıkıştırılıp sıkıştırılmadığına, ve yağış yoğunluğuna bağlı olan absorblama kapasitesi, atık yoğunluğunun 0.7-0.8 ton/m³ olduğu

durumda birim ton atık başına 0.16-0.27 m³ iken, atık yoğunluğunun 1 ton/m³ olduğu durumda ise 0.02-0.03 m³ olmaktadır (Blakey,1998).

Çizelge 4.7 Evsel katı atıkların hidrolik iletkenlikleri (Cossu, 1998)

Referans	Birim ağırlık (kN/m ³)	Hidrolik iletkenlik (m/s)	Yöntem
Fungaroli, 1979	1.2-1.4	10 ⁻⁵ - 2x10 ⁻⁴	Lizimetre
Koriates, 1983	8.6	5.1x10 ⁻⁵ - 3.15x10 ⁻⁵	Laboratuar testleri
Oweis&Khera, 1986	6.45	10 ⁻⁵	Saha çalışması
Manassero, 1990	8-10	1.5x10 ⁻⁵ - 2.6x10 ⁻⁵	Pompaj testi
Brandl, 1994	9-12 (Ön arıtımlı)	2x10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁶	Laboratuar testleri
Brandl, 1994	13-17 (sıkıştırılmış)	2x10 ⁻⁶ - 3x10 ⁻⁸	Laboratuar testleri
Blengino, 1996	1-11	3x10 ⁻⁷ - 3x10 ⁻⁶	Çökme testi

4.3 Sızıntı Suyunun Özellikleri

Katı atık depolama tesislerinde üretilen ve sızıntı suyu olarak adlandırılan sıvı atıkların karakteristiği ve miktarı çürüme safhasına, mevsimlere ve değişik depolama tesislerine göre önemli farklılıklar gösterir (Lin, 1991). Sızıntı suyunun kalitesi ve miktarı; atığın kompozisyonuna, depolanan atıkların yaşına, depo sahasının hidrojeolojik yapısına ve topografyasına, sıkıştırma oranına, atıkların içerisine süzülebilir yağmur suyu oranına, numune alma yöntemine, deponun derinliğine, yüzey örtüsünün yapısına, depo ortamındaki çevresel faktörlere (kimyasal ve biyolojik aktivite, nem, sıcaklık, pH) ve analitik metotlara bağlıdır. Birçok kimyasal ve biyolojik reaksiyonun gerçekleştiği depo ortamında, çöplerin içerisinden yağış sularının ve ayrışmanın nihai ürünü olan suların süzülmesi sonucu katı atıkların organik ve inorganik bileşimleri yıkanarak sızıntı suyuna karışır. Müteakiben, kimyasal ve biyolojik reaksiyonlara ilave olarak difüzyon ve sorpsiyon gibi fiziksel prosesler gerçekleşir. Sızıntı suyu muhteviyatındaki kirletici konsantrasyonunun yüksek olması, ayrışmanın, kompleks organiklerin suda iyi çözünen organik asitlere dönüştüğü birinci anaerobik ayrışma safhasında olduğunu gösterir. 1995'de devreye alınmış ve henüz bir yaşını doldurmamış Avrupa yakası katı atıklarının depolandığı Odayeri düzenli depo sahasında oluşan sızıntı sularında yapılan analizler Çizelge 4.8'de verilmiştir. Sonuçlar, sızıntı suyu muhteviyatındaki kirletici konsantrasyonlarının özellikle de organik kirleticilerin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Düşük organik asit konsantrasyonu biyolojik ayrışma hızının yavaş olduğunu ya da sızıntı suyu ve atıkların etkili bir şekilde stabilize olduğu ikinci anaerobik ayrışma safhasını karakterize eder. Organik atıkların biyolojik aktiviteye bağlı olarak hızlı bir şekilde

ayrıştığı dönemde ortaya çıkan sızıntı suları; yüksek BOİ/KOİ oranı (biyolojik olarak kolay parçalanabilme), düşük pH ve yüksek ağır metal konsantrasyonu ile karakterize edilir. Sızıntı suları düşük konsantrasyonlarda fosfor içerirken özellikle amonyum konsantrasyonu yüksektir. Sızıntı sularının içerdiği toplam azotun %60-90'ı amonyum azotundan ileri gelir. Deponun anaerobik yapısı sebebiyle sızıntı sularında hemen hiç nitrit ve nitrat bulunmaz. Ağır metaller açısından değerlendirildiğinde sızıntı sularında özellikle demir konsantrasyonu oldukça yüksektir. Çinko da önemli miktarda bulunabilir. Cr, Ni, Cu, Cd, Pb ve diğer ağır metaller daha düşük konsantrasyonlarda bulunur. Sızıntı suyunun Hg, Pb, Ni, Cd gibi toksik bileşen muhtevası atıklara geri kazanma proseslerinin uygulanması durumunda azalır.

Çizelge 4.8 Odayeri düzenli depo sahası sızıntı suyu özellikleri

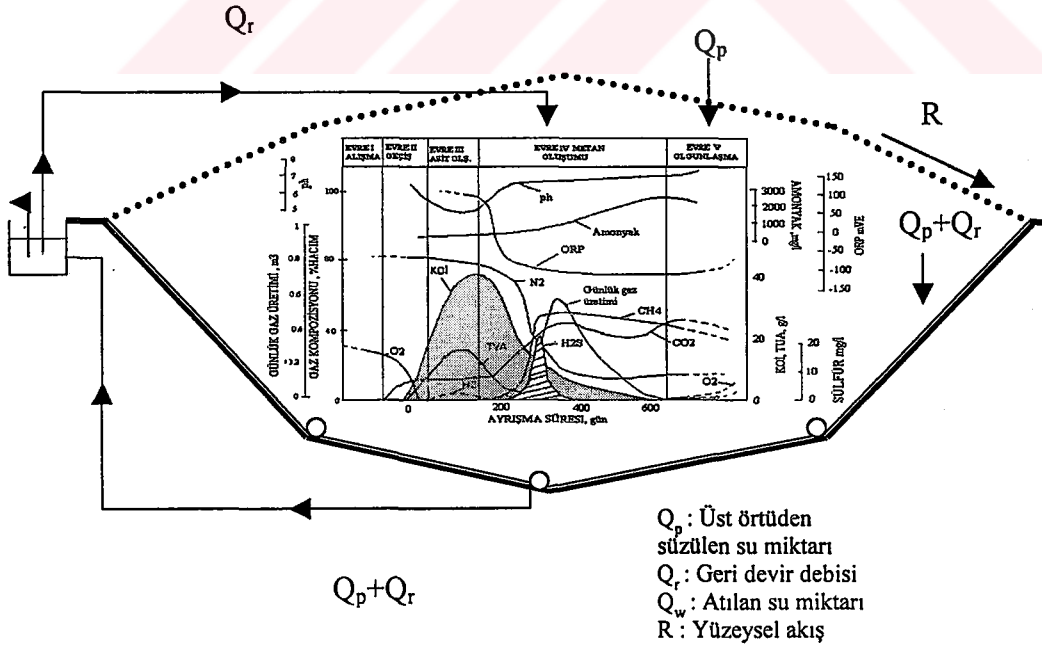
PARAMETRE	İTÜ,1995	İSKİ,1995
pH	5.6-6.5	6.0
KOİ (mg/l)	50000-40000	70000
BOİ ₅	25000-21000	31000
TAKM	3930-2630	1950
UKM	2730-1860	-
TKN	410-325	1630
NH ₃ -N	150-170	-
Org-N	260-205	-
Toplam P	5-6	2
Sülfat (SO ₄ ⁻²)	495-950	-
Krom (Cr)	2.2-1.3	-
Bakır (Cu)	<0.5	0.2
Demir (Fe)	130-100	-
Civa (Hg)	0.04-0.06	0.8
Çinko (Zn)	0.7	0.8
Kurşun (Pb)	0.08	-
Nikel (Ni)	1.3-09	-
Kadmiyum (Cd)	<0.2	-
Fenol (mg/l)	7-6	-
Tuzluluk (%)	21	-

5. SIZINTI SUYU YÖNETİMİ

Sızıntı suyu kontrolü katı atık depo sahalarında sağlanması gereken önemli bir parametredir. Sızıntı suyu yönetimindeki esas hedef yeraltı suyu kirlenmesini önlemektir. Bu maksatla; sızıntı suyunun depoya geri devrettirilmesi, buharlaştırma, evsel atıksu kanal şebekesine verme, yerinde arıtma ve arazide arıtma gibi çeşitli seçenekler tatbik edilebilir.

5.1 Sızıntı Suyunun Katı Atık Depo Sahasına Geri Devri

Katı atık depo sahalarında karşılaşılan en önemli problemlerden biri ve yüksek kirlilik değerlerine sahip olan sızıntı sularının, yüzey ve yeraltı sularına vereceği zararları en aza indirmek için uygun bir yönetim sistemi belirlenmelidir. Bu amaçla kullanılan en verimli yöntemlerden biri, atık içerisinde sızarak tabana ulaşan sızıntı sularının depo sahasına geri devrettirilmesidir. Sızıntı sularının depo alanları içerisindeki maddeleri taşıması ve reaktifleri biraraya getirmesi özelliklerinden dolayı bunların sahaya kontrollü olarak verilerek atık stabilizasyonu daha kısa bir sürede gerçekleştirilebilir. Nem muhtevasını artırması dolayısıyla metan oluşumunu optimize etmesi geri devrin en belirgin avantajıdır. Böylece çöpün içindeki yüksek miktardaki gaz geri kazanılır ve kullanılır. Bunun için en etkili yöntemlerden biri depo tabanında toplanan sızıntı sularının geri devrettirilerek atık içindeki organik maddelerin parçalanmasını sağlayan biyokimyasal süreçlerin hızlandırılmasıdır.



Şekil 5.1 Sızıntı suyu geri devri ve atık ayrışma evreleri

Sızıntı suyunun depo sahası üzerine geri devrettirilmesi suretiyle depo bir anaerobik reaktör olarak kullanılmış olur ve organik kirleticiler ile metallerin etkili bir biçimde giderilmesi sağlanır. Depo sahasında gerçekleşen bu anaerobik ayrışma süreci sonucunda hidroliz, asit üretimi ve metan oluşumu kademelerinden geçen organik maddeler CH_4 ve CO_2 ye dönüştür. Böylelikle, sızıntı suyu kirliliğinin önemli ölçüde azaltılması ile beraber anaerobik ayrışma sonucu on yıldan daha kısa bir sürede depo yeri hacminin %25-40 oranında azalması, biyogaz üretiminin artması ve sızıntı suyu arıtma tesisi yükünün büyük oranda düşürülmesi sağlanır (Mimko, 1995)

Sızıntı suyu geri devri, depolama tesisinin bilhassa sızıntı suyu oluşumunun düşük seviyelerde olduğu ilk yıllarında tavsiye edilmektedir. Bunun yanında sızıntı debisindeki pikleri ortadan kaldırarak daha dengeli bir akış elde edilmesi gayesiyle deponun ileriki yıllarında da uygulanabilir. Kurak mevsimlerde geri devir işlemi terleme kayıplarıyla yıllık sızıntı suyu miktarının azalmasına sebep olmasının yanında, terleme kayıplarının %30-35 olduğu hallerde deşarj edilecek sızıntı suyunun %80 den fazlasının geri devrettirilmesi sağlanabilmektedir. Sızıntı suyu geri devri, buharlaşma sonucu yaz aylarında sızıntı suyu miktarında önemli oranda azalma sağlayabilir. Bu da arıtma tesisi yükünü önemli oranda azaltır (Öztürk, İ., vd.,1997).

Organik maddelerin parçalanmasını hızlandırması, BOİ ve KOİ' yi düşürmesi, biyogaz üretimini arttırması, sızıntı suyu uzaklaştırma ihtiyacını geciktirmesi, sızıntı suyu arıtma maliyetini düşürmesi ve depo gövdesinde anaerobik arıtma için uygun çevre şartları sağlaması geri devir uygulamasının başlıca faydalarındandır. Çizelge 5.1'de düzenli depo sahalarında 5 safhada gerçekleşen anaerobik ayrışmanın 3. ,4. ve 5. safhalarında değişime uğrayan kirletici bileşenlerin geri devirli ve klasik depo sahalarındaki değerleri verilmiştir (Reinhart, 1996).

Çizelge 5.1 Klasik ve geri devirli katı atık depo sahalarının anaerob ayrışma safhalarında sızıntı suyu kirletici bileşenlerinin değişimi (Reinhart, 1999)

Parametre	3.Safha		4.Safha		5.Safha	
	Asit oluşumu		Metan oluşumu		Doygunluk safhası	
	Klasik	Geri Devirli	Klasik	Geri Devirli	Klasik	Geri Devirli
BOİ	100-57700	0-28000	600-3400	100-10000	4-120	100
KOİ	1500-71000	11600-34550	580-9760	1800-17000	31-900	770-1000
TUA	3000-18800	0-30730	250-4000	0-3900	0	-
BOİ/KOİ	0.4-0.8	0.45-0.95	0.17-0.64	0.05-0.8	0.02-0.13	0.05-0.08
NH_3	2-1030	0-1800	6-430	32-1850	6-430	420-580
pH	4.7-7.7	5.7-7.4	6.3-8.8	5.9-8.6	7.1-8.8	7.4-8.3
İletkenlik	1600-17100	10000-18000	2900-7700	4200-16000	1400-4500	-

pH ve iletkenlik hariç bütün birimler mg/L'dir.

Sızıntı sularının depo üzerine geri verilmesinde yağmurlama ve/veya kuyularla besleme yöntemi uygulanabilir. Toplanan sızıntı suları, katı atık dolgu alanının her kademesinde doyma kapasitesine ulaşıncaya kadar sirküle edilmelidir. Sızıntı suyu geri devir sistemi karmaşık bir sistem olup istenen sonuçları verebilmesi için uygun şekilde projelendirilip işletilmesi gereklidir. Geri devir sisteminin debisi, depo yüzeyinde göllenme olmayacak şekilde kontrol edilmelidir. Bununla beraber bu sistemlerde karşılaşılabilecek tipik problemler; dağıtım sisteminin tıkanması, sızıntının tabana doğru bir kanal oluşturarak kısa devre yapması, fazla yük binmesi dolayısıyla dağıtım sisteminin çökmesi ya da hasara uğraması, atığın ayrışması nedeniyle bölgesel oturmaların ve çökmelerin meydana gelmesidir (CH2M-Hill Antel, 1992, MİMKO, 1995).

Yukarıda belirtilen hususlar göz önüne alınarak, özellikle işletmeye yeni açılmış düzenli katı atık depo sahalarında oluşan sızıntı sularının depo sahası üzerine ilk 5-10 yıl geri devrettirilmesi işletme açısından önemli avantajlar sağlayacaktır. Ancak ileriki yıllarda sızıntı suyu miktarının artmasıyla birlikte harici bir arıtma sistemine de gerek duyulmaktadır.

5.1.1 Muhtelif ülkelerdeki sızıntı suyu geri devri uygulamaları ve araştırmalar

Sızıntı suyu geri devirli katı atık deposu işletmeciliği son 20 yıldan bu yana bütün dünyada yaygınlaşmıştır. Halen ABD'de 750'yi aşan katı atık depo yerinde sızıntı suyu geri devri ve biyogaz üretimi yapılmaktadır (Pohland, F.G., vd., 1992).

Araştırmacıların büyük bir çoğunluğu sızıntı suyu geri devrinin potansiyel faydasına dikkat çekmişlerdir. Sızıntı sularının çevreye olan etkisini kısmen azaltan bir yönetim biçimi olan geri devir işlemiyle çöp kütlesi içerisinde tekrar sızarak tabana ulaşan bu sular, kirletici konsantrasyonunu azaltarak arıtım maliyetini düşürmektedir. Depo sahasındaki ayrışmanın hızlandırılması ve depo gazı elde etmek için sızıntı sularının belirlenen zaman aralıklarında ve kontrollü bir şekilde geri devrettirilmesi alternatif bir yaklaşım olarak kullanılabilir (Eric, 1995).

Klasik depo sahalarında organik atıkların ayrışması sonucunda %50-55 oranında CH_4 , %45-50 oranında CO_2 ve %1'den daha az oranlarda diğer gazların oluşması muhtemeldir. Bu oranlar, uygun işletme ve gaz oluşumunu etkileyen çevresel faktörlerin (nem, sıcaklık gibi) ıslah edilmesi ile CO_2 ve diğer gazlar için %20'lere indirilirken, CH_4 için %80'lere çıkarılabilir. Böylece depo gazı; CO_2 , nem ve diğer eser organiklerden kolaylıkla arındırılabilir (Abraham, 1998).

Sızıntı suyu geri devrinin avantajları hem pilot hem de tam ölçekli çalışmalarda başarılı bir şekilde gösterilmiş, bazı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Pilot ölçekli çalışmalarda %97 oranında KOI giderimi sağlanmış ancak arazi çalışmalarında 20 aylık bir süre içerisinde bu oranın %40 olduğu görülmüştür (Robinson, 1985).

5.1.1.1 Pilot ölçekli çalışmalar

Pohland, 1975, [Amerika]

Kentsel katı atıkların ayrışması üzerinde sızıntı suyu geri devrinin etkisini belirlemek için ilk temel araştırma 1975'te Pohland tarafından yapılmıştır. Pohland Georgia Teknoloji Enstitüsünde yapmış olduğu çalışmada, sızıntı sularının geri devir işlemini pH kontrolü, pH kontrolü ve evsel atıksu çamuru ilavesi ve sadece geri devir işlemleriyle bu suların atık stabilizasyonunu artırmayı amaçlamıştır.

Laboratuvar testleri, test hücrelerinde uygun organik madde ilavesinin ayrışma hızını artırmasıyla aktif anaerob biyolojik sistemi iyileştirdiğini göstermiştir. pH kontrolünün yapıldığı hücrede metan oluşumunun arttığı görülmüş, çamur ilavesinin yapıldığı hücrede ise, uçucu yağ asitlerinin oluşumunu hızlandıran bir ortam oluşmuş ve metan bakterilerinin faaliyeti engellenmiştir.

Matta-Alvarez ve Martinez-Viturtia, 1986, [İspanya]

Matta-Alvarez vd. yaptıkları modelde (Eric, 1995), sızıntı suyu geri devriyle 25-60 gün süresince ve 34-38 °C sıcaklıkta biyolojik olarak ayrışabilen madde oranının %90 dan daha fazla olduğunu göstermişlerdir.

5.1.1.2 Tam ölçekli çalışmalar

Pacey, (1983)

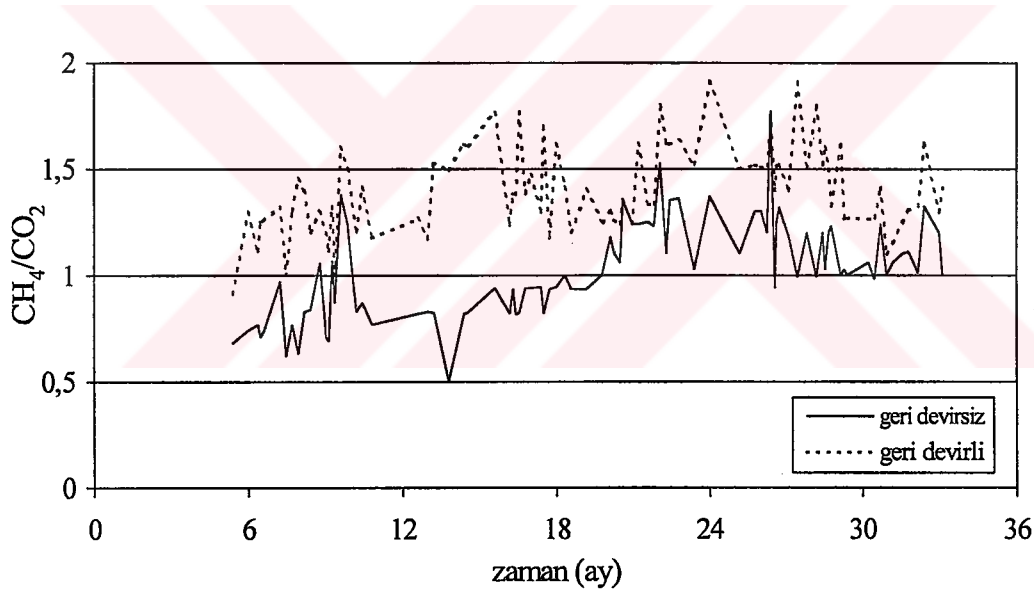
Pacey'in 1983'de Mountain View'de sızıntı suyu geri devirli 0,08 hektar alana sahip altı adet test hücresinin herbirine çamur, tampon, su ve nütrient ilaveli ve ilavesiz gerçekleştirdiği deneylerde, evsel atıksu çamuru ilave edilen hücrede ayrışmanın daha hızlı gerçekleştiği görülmüştür. Ayrışma için temel kriterin çökme olduğu kabul edilmiş ve çamur ilavesinin yapıldığı hücrede %20 civarında çökme olduğu bulunmuştur. Dolayısıyla çamur ilavesinin atık stabilizasyonunu artırdığı görülmüştür (Eric, 1995).

Croft (1991), Campbell (1995), Knox, (1997)

İngiltere'nin farklı depo sahalarında uygulanan tam ölçekli geri devir çalışmalarında depo gazı miktar ve bileşenlerinin ıslahı gerçekleştirilmiştir. Geri devrin yapıldığı hücrelerde metan oranının ve gaz miktarının arttığı gözlenmiştir.

K. Knox vd., (1999)

K. Knox vd. tarafından 1999 yılında İngiltere'de yapılan bir çalışmada biri geri devirli diğeri geri devirsiz, evsel katı atıklarla doldurulmuş, 36*23*5 m. boyutlarında iki adet test hücresinde (Landfill 2000) CH_4/CO_2 oranı esas alınarak geri devrin atık stabilizasyonuna etkisi araştırılmıştır. 30 ay süren çalışma sonucunda geri devrin evsel katı atıkların ayrışmasını hızlandırdığı ve deney süresince geri devirli hücrede geri devirsiz hücreye nazaran CH_4/CO_2 oranının %30 daha büyük olduğu görülmüştür. Şekil 5.2'de, test hücrelerinden elde edilen deney sonuçlarına göre geri devrin CH_4/CO_2 oranına etkisi görülmektedir (Knox,1999).



Şekil 5.2 Landfill 2000 test hücrelerinde geri devrin CH_4/CO_2 oranına etkisi
(K.Knox, vd., 1999)

T.C. Koliopoulos vd., (1999)

T.C. Koliopoulos vd. tarafından 1999'da İngiltere'de yapılan diğeri bir çalışmada ise deneysel değişkenlerin; atık ön arıtımı, sızıntı suyu geri devri, inert maddeler olarak alındığı 28*30*5 m boyutlarında dört adet hücreden geri devirli olan hücrede yüksek CH_4 konsantrasyonları ve azalan CO_2 emisyonları ile; biyolojik ayrışmanın hızlandığı belirlenmiştir (Koliopoulos, 1999).

Robinson ve Maris, (1985)

Robinson ve Maris tarafından 1985'de Yorkshire'de yapılan çalışmada ise, depo sahasının 2,5 ha'lık bölümü test alanı olarak seçilmiş ve bu alan üzerine püskürtme sistemi kurularak sızıntı suyu geri devrettirilmiştir. Geri devrin yapıldığı bölgede sızıntı suyunun üç yılda stabilize olduğu, bu bölgede atık ayrışmasının hızlandığı tesbit edilmiştir (Robinson, 1985).

Barber ve Maris, (1984-1992)

1980'de Barber ve Maris tarafından başlatılan tam ölçekli geri devir uygulaması, İngiltere'nin Yorkshire kentindeki depo sahasında yürütülmüştür. Söz konusu çalışma için depo hücrelerinde öğütülmüş atıklar kullanılmıştır. Depo gazı, atık sıcaklığı ve yerel çökmenin incelenmediği çalışmanın temel hedefi, geri devrin sızıntı suyu oluşumu ve bu suyun sahada arıtımı üzerindeki etkisini araştırmaktır.

2 hektar alana sahip test hücresi iki bölgeye ayrılmış, birinci bölgeye geri devir yaptırılırken diğer bölge kontrol alanı olarak kullanılmıştır. Bu iki bölge hidrolik olarak izole edilmemiş ancak her iki bölgenin de suları ayrı ayrı toplanmıştır. Geri devir işlemi için spreyleme yöntemi seçilmiş su test yüzeyine belirli aralıklarla verilerek homojen olarak dağılması sağlanmıştır. Çalışmanın sonunda, sızıntı suyu miktarında buharlaşmanın etkisiyle azalma sağlanmış aynı zamanda geri devrin yapıldığı bölgelerde sızıntı suyu kirletici bileşenlerinden KO_2 , NH_3 ve klor konsantrasyonlarının seyrelme nedeniyle daha düşük olduğu tesbit edilmiştir. Buna rağmen, kirletici konsantrasyonlarındaki bu azalmanın yeterli olmadığı, geri devir işlemine ilaveten harici bir arıtmanın gerekliliği vurgulanmıştır.

Kilmer, (1991)

Geri devrin potansiyel avantajları arasında yüzeysel terlemeyle sızıntı suyu hacminin ve kontrolsüz bir anaerob arıtımla sızıntı suyu kirletici bileşenlerinin azaltılması sayılabilir. Sızıntı suları geri devrettirilerek normalde 30-50 yıl olan ayrışma süresi 5-10 yıl gibi kısa bir periyoda indirilebilir. Böylece biyolojik stabilizasyon için gerekli zaman kısalmıştır.

Metal giderimi için geri devir işlemi esnasında sızıntı suyunun nötrale edilmesi ve bu şekilde pH'ın kontrol altında tutulması tavsiye edilir. pH'daki ani değişimler anaerob mikrobiyal popülasyonu azaltarak biyolojik stabilizasyon süresinin uzamasına sebep olabilir. Nötral pH değerlerinde metanojen popülasyonunun aktivitesi hızlanır ve bunun neticesinde biyogaz oluşur. İyi bir pH kontrolü ve çamur aşılması arıtma verimini artırır ve biyolojik stabilizasyon periyodunu kısaltır (Eric, 1985).

Çizelge 5.2 Muhtelif ülkelerde yapılan tam ölçekli çalışmalarda sızıntı suyu geri devir uygulamaları (Yuen, 1999)

Referans	Test Alanı	Geri devir metodu			Ölçüm parametreleri						Geri devrin ölç. parametrelerine etkisi	
		SPR	SIZ	KYU	sb	so	gb	go	sç	as		
Barber&Maris; U.K., Yorkshire (1984&1992)	1 hücre (2 ha)	✓			✓	✓						+
Croft (1991)& Knox(1996) U.K.	6 hücre 40m*20m*20m		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		+
Doedens& CordLandwehr (1989); Almanya	0.5-1 ha	✓			✓							+
Watson(1987); Vasuki(1988); Amerika	3 hücre 3-7 ha	✓	✓	✓	✓	✓						+
Kilmer(1991); Amerika	4 hücre 7 ha	✓	✓	✓	✓							+
Reynolds&Blakey, (1992); Knox (1996), U.K.	1000 tonluk 2 hücre		✓		✓	✓	✓	✓		✓		+
Scrudato&Pagano (1991); Amerika	Toplam 45 ha 11 hücre				✓							+

SPR: Spreyleme
SIZ:Sızdırma
sç: Sahadaki yerel çökelmeler

sb:Sızıntı suyu kirletici bileşenleri
so: Sızıntı suyu oluşumu
KYU:Kuyulara basma
+: Olumlu etkisi var

gb:Depo gazı bileşenleri
go:Depo gazı oluşumu
as: Atık sıcaklığı

5.2 Sızıntı Suları İle İlgili Deşarj Standartları

Sızıntı suları için, diğer atıksularda da olduğu gibi, iki tür deşarj standardı sözkonusudur:

- Ön arıtmayı müteakip şehir atıksu kanal sistemine deşarj standardı
- Alıcı su ortamlarında deşarj standardı

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde, şehir atıksu kanal şebekesine deşarjına izin verilen atıkların Çizelge 5.3'deki limitleri sağlaması öngörülmektedir. Sızıntı sularının, kimyasal+biyolojik arıtmayı müteakip kanal şebekesi sonunda merkezi biyolojik arıtma tesisi hali için öngörülen limitleri sağlaması mümkün görülmektedir. Ancak kanal şebekesi sonunda mekanik veya birinci kademe arıtmayı takiben deniz deşarjı bulunan yerler için öngörülen kanalizasyona deşarj

limitleri, genç depo sızıntı sularında kimyasal+tek kademeli biyolojik arıtma dizisi ile sağlanamamaktadır. Bunun için ilave 2. kademe biyolojik arıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Çizelge 5.3 Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde katı atık değerlendirme ve bertaraf tesisleri atıksularının yüzey sularına deşarjı için limitler

Parametre	Kompozit Numune	
	2 Saatlik	24 Saatlik
BOI ₅ , mg/l	100	60
KOI, mg/l	160	100
AKM, mg/l	200	100
Yağ ve Gres, mg/l	20	10
Toplam P, mg/l	2	1
Toplam Cr, mg/l	2	1
Cr ⁺⁶ , mg/l	0.5	0.5
Pb, mg/l	2	1
CN ⁻ , mg/l	1	0.5
Cd, mg/l	0.1	
Fe, mg/l	10	
F ⁻ , mg/l	15	
Cu, mg/l	3	
Zn, mg/l	5	
Balık Biyodeneyi(%SF)	10	
pH	6-9	6-9

Genç depo sahası sızıntı sularında Çizelge 5.3'deki sözkonusu limitlere ulaşılabilmesi için, çok kademeli ileri arıtma tekniklerinin uygulanması gerekmektedir. Bu alanda dünyadaki genel eğilim aşağıdaki iki sistemden birinin kullanılmasıdır:

- Kimyasal ön arıtma + amonyak giderme + nütrient (N) gidermeli çok kademeli ardışık kesikli reaktör sistemi + sulak alan arıtması
- Kimyasal ön arıtma + amonyak giderme + anaerobik arıtma + ultra veya nano filtrasyon + ters osmoz sistemi

Her iki sistem de son derece pahalı bir arıtma tesisinin kurulup özenle işletilmesini gerektirmektedir. Bu yüzden sistem seçiminde belediyelerin mali gücü, kalifiye personel durumu ve bu tür bir arıtmayı sürdürüp sürdüremeyeceği gözönünde tutulmalıdır.

Çizelge 5.4. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde atıksuların atıksu altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartları

Parametre	Kanalizasyon Sistemleri	Kanalizasyon Sistemleri
	Tam Arıtma ile Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesislerinde	Derin Deniz deşarjı ile Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesislerinde
Sıcaklık, °C	40	40
pH	6.5-10	6.0-10
Askıda Katı Madde, mg/l	500	350
Yağ ve Gres, mg/l	250	50
Katran ve Petrol kökenli yağlar,	50	10
Kimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/l	4000	600
SO ₄ ⁼ (Sülfat), mg/l	1000	1000
Toplam sülfür (S), mg/l	2	2
Fenol, mg/l	20	10
Serbest klor, mg/l	5	5
Toplam azot (N), mg/l	—*	40
Toplam fosfor (P), mg/l	—*	10
Arsenik (As), mg/l	3	10
Toplam siyanür (CN ⁻), mg/l	10	10
Toplam kurşun (Pb), mg/l	3	3
Toplam kadmiyum (Kadmiyum),	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 ⁻ (Klorür), mg/l	10000	-
Yüzey aktif maddeler	Biyolojik olarak parçalanması Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır	

* Bu parametrelere atıksu değerlendirilmesinde bakılmayacaktır.

5.3 Sızıntı Sularının Arıtılması

Katı atık düzenli depolama tesislerinde açığa çıkan sızıntı suları, günümüzde arıtılması en zor ve pahalı atıksulardan biri durumundadır. Bilhassa, katı atıkların herhangi bir ön ayırma ve etkili bir geri kazanma işlemine tabi tutulmaksızın karışık olarak toplandığı durumlarda sızıntı suyunun organik ve inorganik kirlilik yükü son derece yüksektir. İstanbul katı atık düzenli depolama tesislerinde olduğu gibi bu tür genç depo sularının BOİ₅ değerleri 40-50 gr/lit olabilir. Dolayısıyla 1 m³ genç depo sızıntı suyunun kirlilik yükü 750-1000 kişiye eşdeğerdir. Deponun ilk yıllarında, genç depo sızıntı sularında organik kirleticiler çok yüksektir. İleriki yıllarda ise, depo yaşlandıkça organik madde miktarında hızlı bir azalma, inorganik maddelerde ve zor ayrılan organiklerde (hüyük maddeler) artma gözlenir. Sızıntı suyu özelliklerindeki bu değişim arıtma sisteminde yer alması gereken arıtma proseslerini ve arıtma verimlerini etkiler. Genç depo sızıntı sularında biyolojik arıtmanın ağırlıkla fonksiyon görmesine karşılık, yaşlı depo sızıntı sularında fiziko-kimyasal arıtma daima belirleyici olur. Çizelge 5.5'de sızıntı sularının arıtımı için değişik alternatifler ve arıtım performansları verilmiştir (Boduroğlu, 1993).

Çizelge 5.5 Sızıntı sularının arıtım işlemlerinde muhtelif kirleticilerin giderilme oranları (%)

Arıtım yöntemi	BOİ	KOİ	Fe	Zn	Ni
<i>Aeobik Biyolojik</i>					
Aktif Çamur	95	95	96-99	96-99	60
Evsel atıksularla birlikte	94-99	92-98	-	-	-
Havalandırılmalı lagün	99	92-98	99	-	-
Stabilizasyon havuzları	93-99	99	80-99	-	-
<i>Anaerobik proses</i>	85-98	75-95	80-99	80-99	10-80
<i>Fiziksel/Kimyasal</i>					
Koagülasyon	-	12	95-99	75-98	-
Oksidasyon	-	10-50	99	90	-
Ters Osmoz	-	86-94	-	-	-
İyon Değiştirme	-	40-70	40-80	20-96	14-96
Adsorbsiyon	-	75-99	65-95	-	-

5.3.1 Merkezi evsel atıksu arıtma tesisinde arıtma

Atıksu kanal şebekesinin yakın olması veya bir terfi hattı ile iletim sağlanabilmesi halinde sızıntı suları merkezi atıksu toplama sistemine verilir. Bu halde, herhangi bir ön arıtma uygulanmaksızın veya kanalizasyona deşarj standartlarını sağlamak üzere gerekli ön arıtmayı müteakip, sızıntı suları şehir kanal şebekesine verilerek merkezi evsel atıksu arıtma tesislerinde arıtılmaktadır. Sızıntı suyunun kanalizasyon sistemine ulaştırılması, basınçlı boru hattı veya tankerlerle taşınmak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Her iki halde de düzenli depo sahasında asgari bir haftalık sızıntı suyunu depolayabilecek kapasitede, tercihen içten geçirimsiz geomembranla kaplı bir biriktirme haznesi inşa edilmelidir. Sızıntı suyu hacmini azaltmak ve depo gövdesinin bir biyoreaktör olarak aktive edilmesine imkan vermek üzere özellikle sıcak dönemlerde depo üzerine sızıntı suyu geri devri tavsiye edilmektedir. Bu yolla günlük sızıntı suyu hacminde %50'ye varan oranlarda azalma sağlanmaktadır. Söz konusu hacim azalmasındaki etkili ana mekanizma buharlaşmadır.

Bugüne kadar yapılan uygulamalar, sızıntı sularının hacimsel olarak %2 oranına kadar evsel atıksu arıtma tesislerine doğrudan veya kanal şebekesinin belli bir noktasından verilmesinin merkezi atıksu arıtma tesislerinde herhangi olumsuz bir etkisinin olmadığını göstermektedir (Mc Bean, 1995). Dolayısıyla çoğu kez, özellikle küçük ve orta büyüklükteki yerleşim yerlerinin katı atık sızıntı sularının sözkonusu orana kadar evsel atıksu kanalizasyon sistemine verilmesi düşünülebilir. Bununla birlikte kanalizasyona deşarj öncesi, depo sahasında kimyasal arıtma ve yüksek pH' da (pH=10-11) amonyak giderme gibi bir ön arıtma uygulanmak suretiyle KOI bazında %20-30, TKN bazında > %90 ve metal iyonları bazında >%95 seviyelerinde giderimler sağlanabilecektir. Bu nitelikte bir ön arıtma sonucu, sızıntı sularının kanalizasyona deşarjı çevre açısından da daha iyi kabul görecektir.

5.3.2 Biyolojik arıtma

Aerobik Biyolojik Arıtma

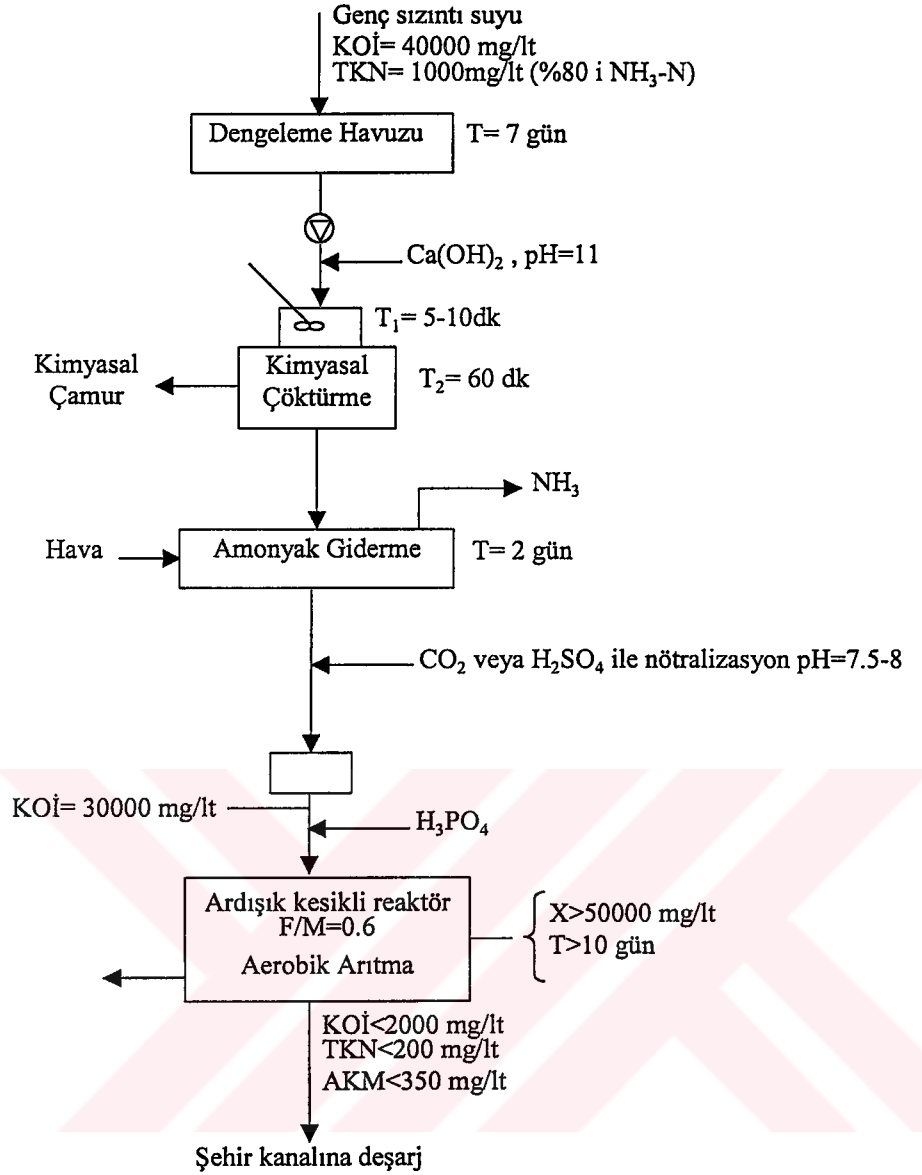
Sızıntı suyu arıtımında aerobik biyolojik arıtma metotlarından en yaygın kullanılanları aktif çamur, havalandırmalı lagünler, damlatmalı filtre ve döner disklerdir. Aerobik arıtma sistemleri genç depo sızıntı sularında BOI/KOI >0.5 olduğunda etkilidir. Yüksek organik madde ihtiva eden sızıntı suları, besi maddesi ilave etmeden ve yüksek havalandırma yapılmadan düşük hidrolik beklemeli aerobik arıtma tesislerinde arıtılamamaktadır.

Aktif çamur prosesi, sızıntı suyu arıtımında başarıyla kullanılmakta ve 1-10 günlük hidrolik bekleme süresi sonunda BOI ve KOI gideriminin %90-99, metal gideriminin %80-99 olduğu görülmektedir. Bunun yanında bu yöntemle arıtımda sızıntı suyundaki organik maddelerin büyük bir kısmı hemen oksitlenmemekte ve stabilizasyon için uzun süreli biyolojik aktivite gerekmektedir. Bu da havalandırma süresinin artmasına neden olmakta ve havalandırmadan kaynaklanan bazı olumsuzlukları beraberinde getirmektedir. Hava temininin mekanik karıştırıcılar veya aeratörlerle sağlandığı havalandırılmalı lagünlerde ise 10 günlük hidrolik bekleme süresi için %95' in üzerinde BOI₅ giderme verimi elde edilmiştir.

Düşük sıcaklıklarda yeterli arıtma veriminin sağlanamaması, havalandırma esnasında köpük probleminin oluşması, oksijen üretimini sağlamak için enerji ihtiyacının yüksek olması gibi dezavantajlarına rağmen yapılan küçük ölçekli sürekli ve kesikli aerobik biyolojik arıtılabilirlik deneylerinde BOI ve KOI' de önemli giderimler gözlenmiş, özellikle beş yıldan daha az yaşlı depo yeri sızıntı sularında, biyolojik olarak kolay ayrılan organik madde miktarı daha yüksek olduğundan aerobik arıtmanın daha kolay olduğu görülmüştür. Biyolojik arıtma sırasında N ve P gibi besin elementlerinin ilavesi gerekmekte sızıntı suyunda bulunan ağır metaller nedeniyle inhibisyon da sözkonusu olmaktadır. Ancak buna rağmen aerobik biyolojik arıtma çalışmalarından çok iyi sonuçlar elde edilmiştir. Beş günlük çamur yaşında %95' in üzerinde BOI₅ giderme verimi sağlanmıştır. Bu çalışmalarda ağır metallerin biyolojik olarak değil çökmeye giderildiği ve biyolojik arıtma öncesi ağır metal giderilmesi için bir ön arıtma uygulanabileceği tavsiye edilmektedir.

Sızıntı sularının, Su Kirliliği Kontrolü Kanalizasyona Deşarj standartlarını sağlayacak derecede arıtımı için aşağıdaki arıtma işlemlerinden oluşan bir ön arıtma uygulanması gerekmektedir (Şekil 5.4 ve Şekil 5.3 Öztürk vd., 1997). Bu ön arıtma işlemleri arasında; dengeleme, kimyasal çöktürme (kireç/kostik), amonyak giderme(pH=10-11), biyolojik arıtma (yüksek hızlı anaerobik veya aerobik sistemler) yer almaktadır.

Yüksek hızlı aerobik sistem olarak ise genellikle ardışık kesikli reaktörler (AKR) kullanılmaktadır. Seri bağlı AKR sistemi ile de $F/M = 0.3 \text{ gün}^{-1}$ civarında tutulmakla anaerobik arıtmaya yakın giderimler elde edilebilmekte, istenildiği takdirde biyolojik nütrient giderimi de mümkün olmaktadır. Aerobik sistemin en büyük mahzuru yüksek seviyelerde havalandırma enerjisi sarfıyatı ve büyük hacim ihtiyacıdır.



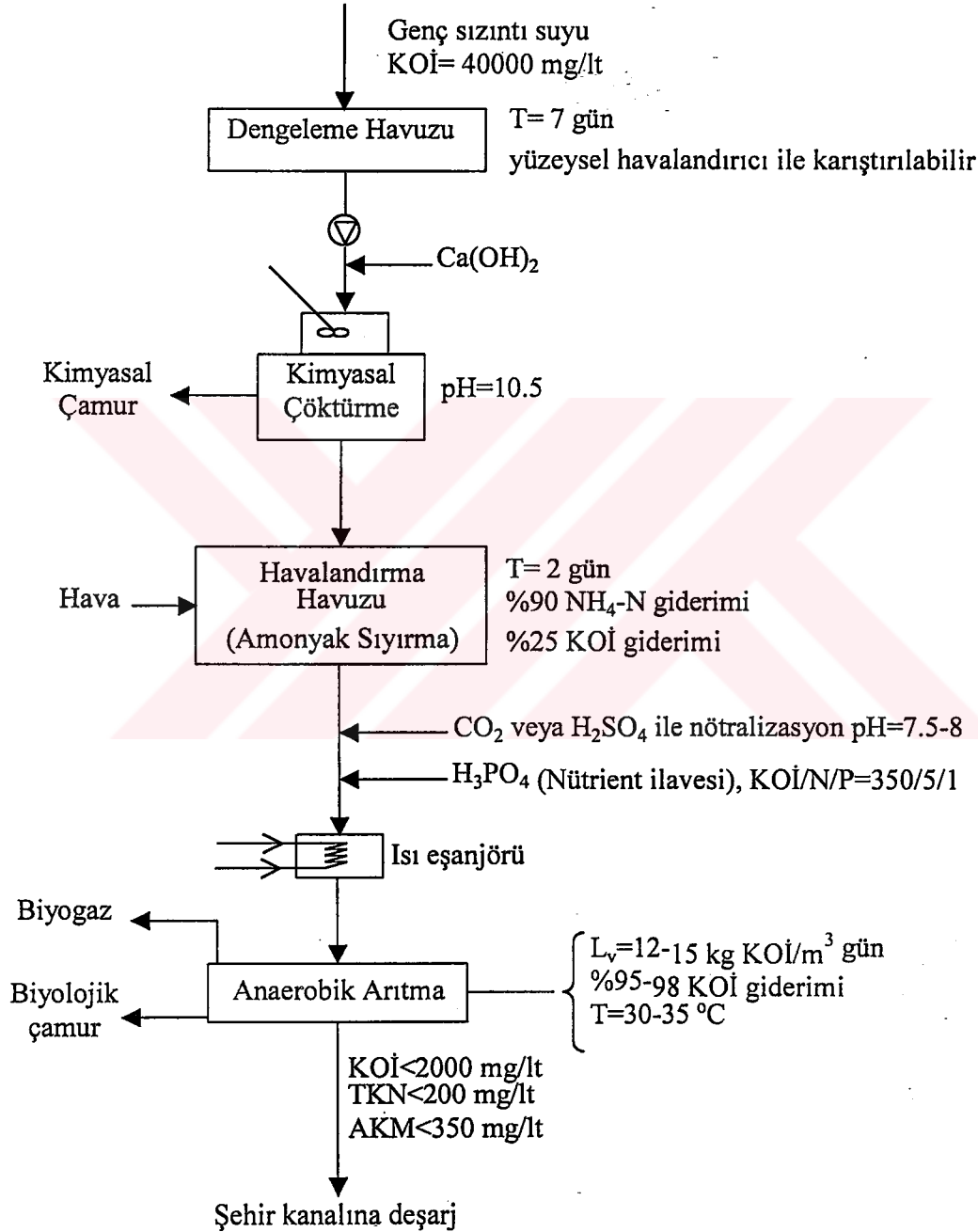
Şekil 5.3 Sızıntı sularının arıtımı için aerobik arıtma sistemi

Genç depo sızıntı sularında Şekil 5.3'de verilen bir ön arıtma sonunda $KOI < 2000$ mg/l, $BOI_5 < 250$ mg/l, $TKN < 250$ mg/l değerlerine ulaşılacaktır. Böyle bir ön arıtmayla İSKİ kanalizasyona deşarj standartlarını sağlanması mümkün değildir.

Anaerobik Biyolojik Arıtma

Anaerobik arıtma; hidroliz, asit oluşumu ve gaz oluşumu olmak üzere üç kademede meydana gelir. Hidroliz kademesinde, çözünemeyen yüksek molekülü organik maddeler (polisakkaritler, lipitler, proteinler), çözünebilir enerji ve karbon kaynağı organik maddelere (monosakkaritler, şekerler, aminoasitler ve serbest yağ asitleri) dönüştürür. Asit oluşumu kademesinde; hidroliz kademesinde oluşan ürünler düşük molekülü ara ürünlere, asetik aside, CO_2 ve H_2 'e dönüştür.

Metan oluşumu kademesinde ise asit oluşumu safhasında oluşan ürünler CH_4 ve CO_2 'e dönüşür. Yüksek miktarda organik madde ihtiva eden suların arıtılmasında etkili olan bu yöntemde havalandırmaya ihtiyaç olmadığı gibi tesis komple kapalı olduğu için koku problemi de yoktur. Ayrıca ekonomik değeri olan metan gazının üretilmesi de yöntemin avantajlarından. Anaerobik arıtma esnasında giderilen kg KOİ başına $0.35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ üretilebilmektedir. Oluşan biyogazdaki CH_4 oranı %75-80 aralığında kalmaktadır.



Şekil 5.4 Sızıntı sularının arıtımı için anaerobik arıtma sistemi

5.3.3 Fiziksel / Kimyasal Arıtma

Fiziksel/kimyasal arıtma prosesleri; biyolojik arıtmadan önce bir ön kademe olarak biyolojik arıtmayı inhibe eden ağır metalleri önemli miktarlarda gidermede ve yaşlı depo yeri sızıntı sularının arıtımında etkili olarak kullanılmaktadır. Fiziksel/kimyasal arıtma proseslerinden filtrasyon, adsorbsiyon, iyon değiştirme, ters osmoz vb. tekniklerin kimyasal çöktürme ya da biyolojik arıtma çıkışlarında denemesiyle uygun sonuçlar elde edilmiştir. Çeşitli kimyasal maddelerin kullanıldığı pıhtılaştırma-yumaklaştırma deneylerinde organik maddelerin yeterince giderilmediği fakat metallerin çok iyi giderildiği görülmüştür. Fiziksel/kimyasal arıtma sonucu çıkan çamurlar zararlı atık olarak uzaklaştırılmalıdır.

5.3.4 Sızıntı sularının alıcı ortam deşarjına uygun seviyede arıtımı

Sızıntı sularının yüzeysel sulara deşarj edebilecek seviyede arıtımı için, daha önce verildiği üzere, kimyasal ve biyolojik arıtmaya ilave olarak,

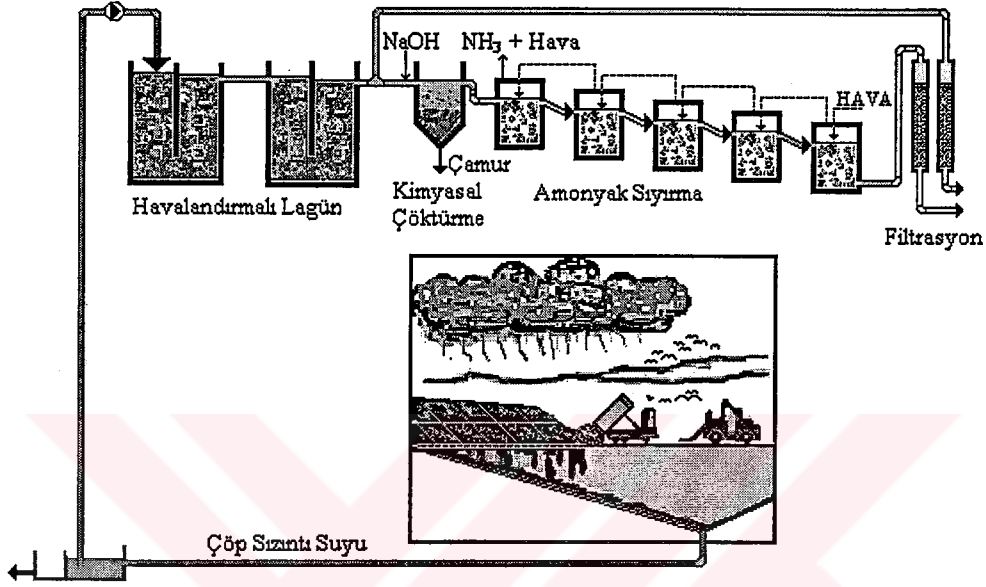
- Stabilizasyon havuzları + klorlama
- Ultra (veya Nano) Filtrasyon + Ters Osmoz
- Stabilizasyon havuzları + sulak alanda arıtma

dizilerinden birinin kullanılması gerekmektedir. Bu dizilerden hangisinin kullanılacağı, deşarj standartları, yerel şartlar, mali imkanlar ve kalifiye işletme personeli temini gibi faktörlere bağlı olarak kararlaştırılmalıdır.

Son yıllarda, kimyasal ön arıtmayı müteakip membran sistem uygulaması da giderek yaygınlaşmaktadır. Genellikle nano filtrasyon + ters osmoz olarak uygulanan söz konusu arıtma teknolojisinde, arıtma sonucunda oluşan konsantre kısım ekseri düzenli depolama tesisine geri devrettirilmektedir. Ancak bazı ülkelerde, bu atığın zararlı atık olarak tanımlanması sebebiyle zararlı atık yakma tesislerinde yakılması gerekmekte ve arıtma maliyeti önemli oranda artmaktadır. Buna rağmen özellikle başta Almanya olmak üzere çoğu zengin ülkelerde, organik atıkların ayrı toplanması dolayısıyla sızıntı suyu organik kirliliğinin büyük oranda azalması ve arazi temin zorluğunun da etkisiyle, membran sistemler hızla yaygınlaşmaktadır.

İkinci kademe biyolojik ön arıtmadan geçen düşük kirlilikteki sızıntı sularının ilave arıtımında doğal veya suni sulak alan arıtması da çoğu yerde başarı ile uygulanmaktadır. Bu şekilde bilhassa azot ve metal kirliliği yüksek verimlerle giderilebilmektedir. Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde de sulak alanlarda ileri arıtma bakımından önemli imkanlar bulunmaktadır.

Havalandırılmalı lagünler, sızıntı suyu arıtımında en çok kullanılan biyolojik arıtma sistemleridir. Hidrolik bekletme süreleri 7-135 gün arsında değişen kurulu tesislerde elde edilen BO_5 ve $KO_İ$ giderme verimleri sırasıyla %70-99 ve %70-95' tir. Bu arada organik madde giderimi yanında %92-99 oranında Fe giderimi de sağlanmaktadır. Şekil 5.5' de, $KO_İ$ ve NH_3 gideriminin yaklaşık %90 olarak gerçekleştirildiği havalandırılmalı lagün sonrası çok kademeli hava sıyırma ile sızıntı suyu arıtımı akım şeması görülmektedir (Ehrig, 1998).



Şekil 5.5 Çok kademeli hava sıyırma ile sızıntı suyu arıtımı (Ehrig, 1998)

Sızıntı Sularının Membran Teknolojisi İle Arıtımı

Membran proseslerin düzenli depo alanlarında sızıntı sularının arıtılmasında kullanılmasının birçok avantajları vardır. Membran prosesler yüksek basınç uygulanarak çalıştırılmaktadır. Bu da yüksek oranda enerji kullanımını gerektirmektedir. Kullanılacak olan enerji, düzenli depo alanlarında toplanan gaz, elektrik enerjisine dönüştürülerek temin edilebilir. Bununla beraber, oluşan konsantre akımın uzaklaştırılması problem teşkil etmektedir. Oluşan bu konsantre akımı, düzenli depo alanına geri devrettirerek, uzaklaştırma problemi ortadan kalkmaktadır.

Sızıntı sularının arıtımında en çok kullanılan metod, ters osmoz membranlarıdır. Yüksek oranda giderme verimlerinden dolayı, elde edilen süzüntü suyunun kalitesi oldukça iyidir. Ham sızıntı suyunda yer alan katı kolloidal partiküller ve demir hidroksitlerin varlığından kaynaklanan tıkanmadan dolayı ters osmoz ünitesinin biyolojik arıtım, aktif karbon veya iyon değiştirme proseslerinden sonra kullanılması daha uygun olmaktadır. Çizelge 5.6'da, ham sızıntı suyu ve biyolojik arıtma işleminden geçirilmiş sızıntı suyunun ters osmoz ünitesinden sonraki $KO_İ$ giderim verimi görülmektedir.

Çizelge 5.6. Sızıntı suyu arıtımında ters osmoz ünitesinin KOİ giderimine etkisi

Sızıntı suyu cinsi	pH	Çıkış KOİ, mg/l	KOİ giderimi, %
Ham sızıntı suyu	5.5	13000-18500	85-98
Ham sızıntı suyu	5.5	13000-18500	98-99
HL*	8.8	214	95
AK*	8.8	48	86
ID*	5.5	119-143	94-97

* HL: Havalandırılmalı lagün çıkışı, AK: Aktif karbon çıkışı, ID: İyon değiştirme çıkışı

Sızıntı sularının arıtımında ters osmoz membranlarının yanında nano filtrasyon membranları da kullanılmaktadır. Nano filtrasyon membranları, düşük giderme verimlerinden dolayı, ters osmoz membranlarına göre daha az kullanılmaktadır. Nano filtrasyon ile daha çok 2 değerlikli iyonların giderilmesinde yüksek verim elde edilmektedir. Nano filtrasyon membranında, ters osmoz membranına göre çok daha düşük basınç uygulandığı için enerji ihtiyacı çok düşüktür. Ayrıca sızıntı sularının arıtılmasında nano filtrasyon ile desteklenmiş ters osmoz uygulamaları ile biyolojik ön arıtmadan sonra ters osmoz uygulamaları da günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır (Koyuncu,1999).

Membran teknolojisinin bir başka uygulaması, membran biyoreaktörlerdir. Biyolojik arıtmadan sonra, çöktürme havuzu yerine ultra filtrasyon veya mikro filtrasyon membranları kullanılarak ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Biyolojik olarak ayrışabilen maddeler uzaklaştırılabildiği gibi ayırma işlemi yapan ultra filtrasyon veya mikro filtrasyon membranları ile bazı mineraller de (NH_3 , fosfor vb.) yüksek oranda giderilmektedir. Membran biyoreaktörlerin en önemli özelliği, yüksek organik yükleme oranlarını karşılayabilmesidir (10 kg KOİ/m^3 gün'e kadar). Membranın tipine bağlı olarak, havalandırma havuzunda biyokütle miktarı, 40000 mg/l mertebesine çıkabilmektedir. Bundan dolayı havalandırma havuzunun hacmi çok azalmaktadır.

6. ODAYERİ DÜZENLİ DEPO SAHASINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

6.1 Çalışma Sahası Hakkında Bilgiler

İstanbul'da 1995 Ocak ayından itibaren iki adet Düzenli Depolama Sahası işletmeye açılmış ve çöpler buralarda hücreleme metoduyla sıhhi bir şekilde depolanmaya başlamıştır. Biri Rumeli yakası Eyüp/Odayeri mevkiinde, diğeri ise Anadolu yakası Şile/Kömürcüoda mevkiinde bulunan bu tesislerin proje ihaleleri ise 1992 Haziranında yapılmıştır. Her iki depolama sahası yeri de buralardaki, yüzey yapısı tahrip edilmiş, kısmen veya tamamen terkedilmiş eski maden ocağı alanlarından seçilmiştir. Bu sebeple söz konusu sahalarda aynı zamanda topografik mimaride yeni bir düzenleme de meydana getirilecektir.

Çalışmanın yapıldığı Rumeli yakasındaki saha (Odayeri Düzenli Depolama Sahası) hafif eğimli bir vadide kurulmuş olup yer yer kil, kum, çakıl ve kömür içeren tabakalarla kaplıdır. Anadolu yakasındaki saha da (Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası) topoğrafik ve jeolojik açıdan Rumeli yakasındaki sahaya benzemektedir.

Her iki saha da 25 yıllık çöp kapasitesini karşılayacak şekilde planlanmıştır. Odayeri Düzenli Depolama Sahası için Orman Bakanlığı'ndan 59 ha'lık bir alan kiralanmış olup halihazırda 25 ha'lık kısmı kullanılmaktadır. İstanbul'daki düzenli depolama sahaları, ilgili yönetmeliklerde belirtilen kriterler dikkate alınarak kademe kademe inşa edilmektedir.

İnşa sahasının öncelikle nebati toprağı temizlenip yeraltı suyu (varsa) drenajı sağlanmaktadır. Bu drenaj kanalları aynı zamanda kontrol amaçlı kullanılmaktadır. Çevre sularının girmemesi için gerekli tedbirler alınıp (hendek, dren, şev teşkili, vb.) uygun eğime (taban \geq %2, kenarlar \leq 1/3) getirilen tabii zemin üzerine, iki ayrı kademe serilip sıkıştırılmış permeabilitesi 8-10 m/sn'den küçük veya eşit olan 60 cm. kil tabakası serilmektedir. Kil tabakası üzerine bir dren tabakası serilmektedir (kum vb.). Bu dren tabakasından sonra saha 2 mm kalınlığında HDPE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen) folye ile kaplanmaktadır. Folye üzerine koruyucu bir tabaka (kum vb.) serildikten sonra sızıntı suyu drenaj tabakası oluşturulmaktadır. Drenaj tabakası, kalker oranı ve çapı uygun çakıl ve dren borularından oluşmaktadır. Burada kullanılan dren boruları HDPE olup özel et kalınlığına (ovalleşme tahkikine uygun) sahiptir.

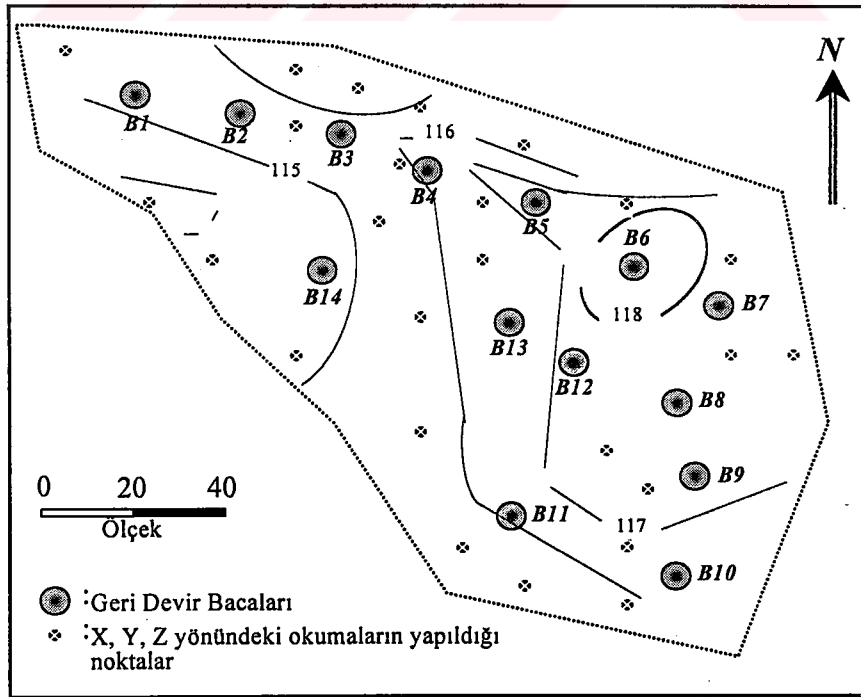
Oluşturulan geçirimsizlik tabakasından sonra sahaya dikey olarak etkili yarıçapı 25-50 m olan gaz bacaları yerleştirilmektedir. Bu gaz bacaları 150 mm HDPE delikli borulardan oluşturulmuştur. Gaz bacalarının çevresinde, drenaj malzemesi ile doldurulmuş ve çelik ızgarayla (80 cm çapında) çevrilmiş filtre tabakası mevcuttur.

Hazır sahaya serilen ilk çöp tabakası takriben 1,5-2 m kalınlığında ve içerisinde geçirimsizlik tabakasına hasar verecek malzeme bulunmayan çöpten teşkil edilmektedir. Depolama sahalarında çöpler hücreleme metoduyla depolanmaktadır. Sahaya getirilen çöpler dozerlerle 1/3 eğimde teşkil edilen hücre yüzeyine 50-60 cm kalınlıkta serilerek kompaktörlerle sıkıştırılmaktadır. Oluşturulan hücrenin tabaka kalınlığı ise ortalama 5 m'dir.

Sahalarda günlük olarak toz, koku, haşare, kuş vb. kontrolü için hücre yüzeyi ortalama 15 cm kalınlığında toprak örtüyle örtülmektedir. Doldurulmuş çöp tabakalarında ise yağmur suyu kontrolü ve diğer kontroller amacıyla 30 cm kalınlığında toprak ara örtü kullanılmaktadır. Çöp doldurma ömrünü tamamlamış kademelerin (yan eğimler $\leq 1/4$ ve üst eğimler %5-15) üzeri nihai örtüyle kapatılıp gaz tahlieleri yapılmakta ve yeşil alana çevrilmektedir.

6.2 Sızıntı Suyu Geri Devir Uygulamaları

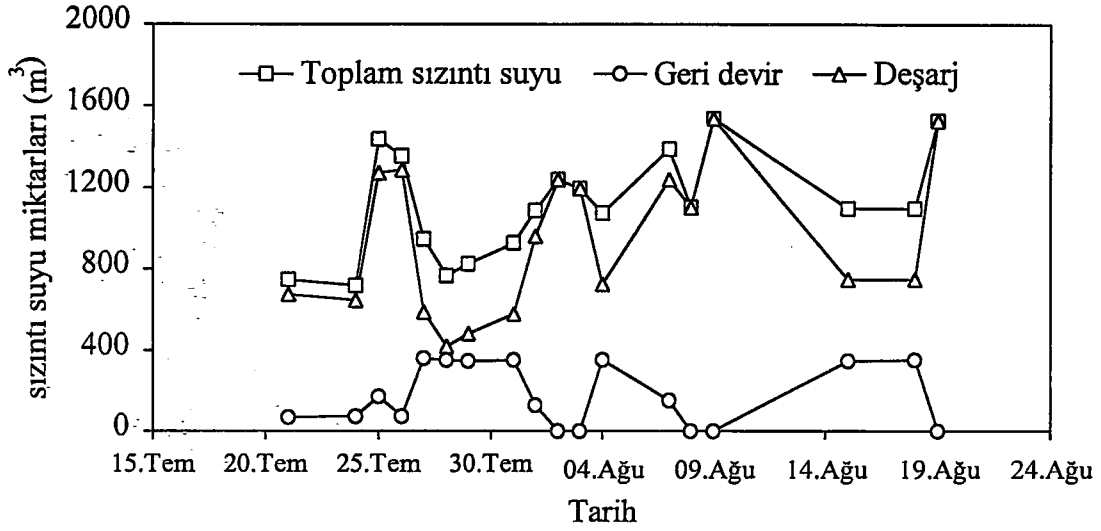
Odayeri Düzenli Depo sahasında sızıntı suyu geri devrinin atık stabilizasyonuna etkisini belirlemek amacıyla yapılan tam ölçekli çalışmada, geri devirli ve geri devirsiz bölgelerde metan oluşumu, çalışma sahasının muhtelif yerlerinde topografya değişimi ve sızıntı suyu analizlerinin değişimi olmak üzere üç parametre dikkate alınmıştır. Geri devir işlemi için 25 hektarlık alanın yaklaşık 1,5 hektarlık kısmı test alanı olarak belirlenmiş ve 14 noktada 18 m. derinliğinde, 400 mm. çapında sondaj kuyuları açılarak bu kuyulara sızıntı suyu geri devrettirilmiştir. Şekil 6.1'de 1.5 hektarlık test alanında geri devir bacaları ve X,Y,Z yönünde topografik okumaların yapıldığı noktalar verilmiştir.



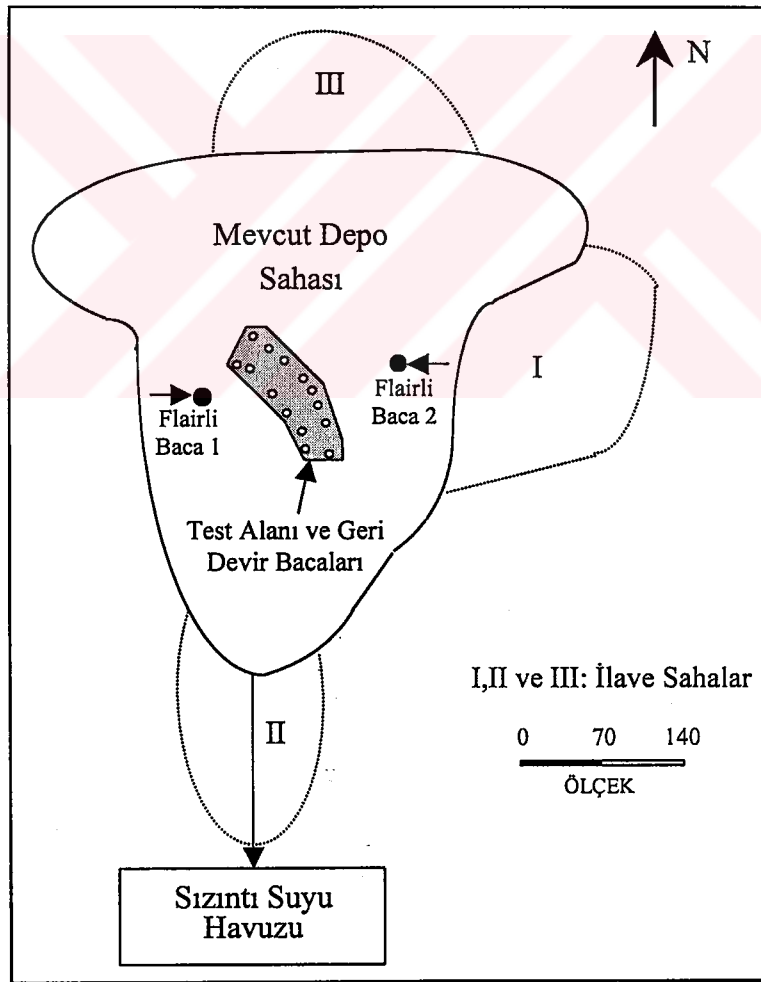
Şekil 6.1 Sızıntı sularının geri devrettirildiği test bölgesi

Sızıntı sularının depo üzerine geri verilmesinde çukur metodu, düşey enjeksiyon kuyularına verme, yatay borularla dağıtım çukurlarına verme ve depo yüzeyinden sızdırma yöntemi uygulanabilir. Çukur metodunda sızıntı suyu kazılan çukura sabit bir yüksekliğe ulaşana kadar doldurularak atık kütlesi içerisinden sızması sağlanır. Bu yöntemin ilk maliyeti düşük olmasına rağmen çevre sağlığı ve estetik açıdan olumsuzlukları vardır. Düşey enjeksiyon kuyularına verme metodunda ise sızıntı suları açılan düşey kuyulara belirli aralıklarla geri devrettirilir. İlk maliyeti yüksek olan yöntem çevre sağlığı ve estetik sebeplerden dolayı tercih edilir. Odayeri Düzenli Depo sahasında yapılan çalışmada da bu yöntem tercih edilmiştir. İlk maliyet fiyatı çok yüksek olmasına rağmen geri devir için iyi bir alternatif olan yatay dağıtım borularıyla çukurlara verme metodunda, sızıntı sularının açılan çukurlara yerleştirilen delikli borularla sızması sağlanır (Warzinski, 2000 ve Reinhart,1996). Toplanan sızıntı suları, katı atık dolgu alanının her kademesinde doyma kapasitesine ulaşınca kadar sirküle edilmelidir. Sızıntı suyu geri devir sistemi karmaşık bir sistem olup istenen sonuçları verebilmesi için uygun şekilde projelendirilip işletilmesi gereklidir. Geri devir sisteminin debisi, depo yüzeyinde göllenme olmayacak şekilde kontrol edilmelidir. Bununla beraber bu sistemlerde karşılaşılabilecek tipik problemler; dağıtım sisteminin tıkanması, sızıntının tabana doğru bir kanal oluşturarak kısa devre yapması, fazla yük binmesi dolayısıyla dağıtım sisteminin çökmesi ya da hasara uğraması, atığın ayrışması nedeniyle bölgesel oturmaların ve çökmelerin meydana gelmesidir (Mimko, 1995).

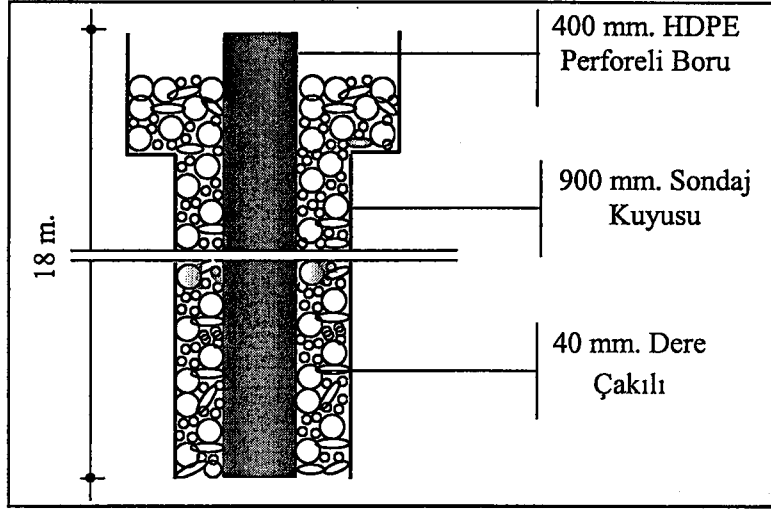
Şekil 6.3'de verilen 1995 yılı itibariyle depolamanın yapıldığı yaklaşık 25 hektarlık mevcut sahanın 1,5 hektarlık kısmında Temmuz ve Ağustos ayları arasında toplam 3000 m³ sızıntı suyu Şekil 6.4'de kesiti verilen toplam 14 adet kuyuya belirli aralıklarla geri devrettirilmiştir. Özellikle işletmeye yeni açılmış düzenli katı atık depo sahalarında oluşan sızıntı sularının depo sahası üzerine ilk 5-10 yıl geri devrettirilmesi işletme açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Ancak ileriki yıllarda sızıntı suyu miktarının artmasıyla birlikte harici bir arıtma sistemine de gerek duyulmaktadır. Deney süresince saha üzerine geri devrettirilecek sızıntı suyu miktarının oluşan toplam sızıntı suyunun %15'lik bir kısmı kadar olacağı tespit edilmiştir. Deney süresi boyunca oluşan toplam sızıntı suyu miktarı yaklaşık 20000 m³ olup bu miktarın 3000 m³ lük bir kısmı saha üzerine geri devrettirilmiştir. Gaz ölçümleri test alanı içerisinde seçilen 3 bacada ve bu alanın dışında kalan flairli bacalarda (Şekil 6.5) 5 ay boyunca günlük olarak izlenmiştir. Şekil 6.2'de geri devir süresi boyunca oluşan toplam sızıntı suyu, geri devrettirilen miktar ve deşarj edilen sızıntı suyu miktarları verilmiştir.



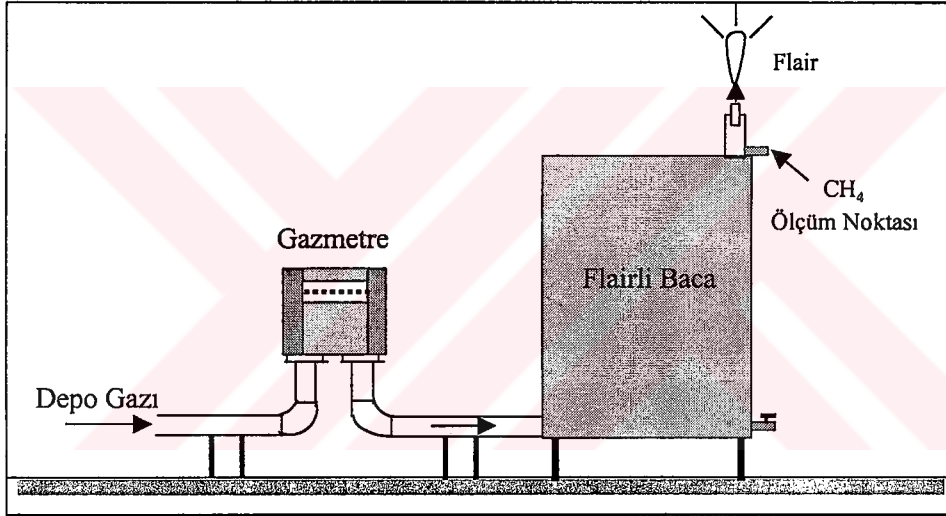
Şekil 6.2 Deney süresi boyunca oluşan toplam sızıntı suyu ve saha üzerine yapılan geri devir miktarları



Şekil 6.3 1995 yılı itibariyle depolamanın yapıldığı mevcut depo sahası ve geri devir test alanı



Şekil 6.4 Geri devir bacalarında boykesit



Şekil 6.5 Flairli bacalarda depo gazı miktar ve bileşenlerinin ölçüm noktası

6.2.1 Sızıntı suyu kimyasal analiz metodları

Odayeri Katı Atık Düzenli Depo Sahasından 15 günde bir alınan sızıntı suyu numunelerinde yapılan analizler APHA (1995)'deki standart metodlar kullanılarak yapılmıştır. Bazı parametrelerin analiz metodları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ): APHA (1995) 5220-D bölümünde belirtilen kapalı reflux, kolorimetrik yöntemle tesbit edilmiştir. $K_2Cr_2O_7$ çözeltisi, 10.216 g $K_2Cr_2O_7$ 2 saat süreyle $103\text{ }^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuş, 167 ml konsantre H_2SO_4 ve 33.3 gr $HgSO_4$ 500 ml saf suda çözülerek soğutulduktan sonra 1 lt'ye tamamlanarak hazırlanmıştır. Hach Reflux tüplerine 2.5 ml numune, 1.5 ml parçalama reaktifi ve 3.5 ml sülfirik asit reaktifi ilave ettikten sonra sıkıca

kapatılarak karıştırılmıştır. Karışım bir termoreaktörde (Velp Scientifica ECO 16) 2 saat süreyle 150 °C'de ısıtılmıştır. Tüpler soğuduktan sonra Jenway UV/VIS spektrofotometrede (Model 6105) 600 nm dalga boyunda absorbansı okunup KOİ değeri hesaplanmıştır. Teorik KOİ'si 1.176 mg O₂/lt olan potasyum hidrojen ftalat (KHP) kullanılarak 20-900 mg/lt konsantrasyonlarında standart çözeltiler kullanılarak kalibrasyon eğrisi hazırlanmıştır.

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ): Numuneler seyreltilerek aşılı ilave ettikten sonra ilk gün çözülmüş oksijeni tayin edilen numuneler, 20 °C'de 5 gün süreyle inkübe edildikten sonra tüketilen çözülmüş oksijen miktarı tesbit edilerek belirlenmiştir. Çözülmüş oksijen alkali-azid-iyodür metoduna göre iyodometrik yöntemle yapılmıştır. BOİ şişeleri içerisindeki çözülmüş oksijen, alkali ortamda MnSO₄ ile MnO₂ şeklinde bağlandıktan sonra alkali azid iyodür çözeltisiyle asidik ortamda MnO₂'e eşdeğer iyot oluşmaktadır. Açığa çıkan iyot nişasta indikatörü kullanılarak Na₂S₂O₃ ile titre edilmiş ve eşdeğer çözülmüş oksijen belirlenmiştir.

Toplam Kjeldahl Azotu (TKN): Makro-Kjeldahl ve titrimetrik yöntem kullanılarak tesbit edilmiştir. Kjeldahl yönteminde kuvvetli oksitleyici koşullarda organik bileşikteki azot, NH₄⁺ haline dönüştürülür. NH₄⁺ haline dönüştürülen azot, daha sonra kuvvetli bazik ortamda distilasyon yapılarak borik asit içerisinde toplanır. Daha sonra asit titrasyonu ile bağlanan amonyak miktarı tesbit edilir. Çalışma süresince, 100 ml veya 100 ml'ye seyreltilmiş numune içerisine 50 ml parçalama reaktifi konularak yüksek sıcaklıkta, organik bağlı azotun NH₄⁺'e çevrilmesi sağlandıktan sonra, numune soğutulurak 50 ml sodyum hidroksit-tiosülfat ile distilasyon yapılmıştır. 50 ml borik asit içerisinde toplanan distilat daha sonra 0.02 N H₂SO₄ ile titre edilerek TKN miktarı tesbit edilmiştir.

Amonyak Azotu (NH₃-N): pH'sı tamponlanarak 9,6 üzerine getirilen numunedeki NH₃, distilasyon yöntemi kullanılarak borik asit içerisinde tutulmuş, daha sonra asit ile titrasyon yapılarak NH₄⁺ miktarı tesbit edilmiştir.

NH₃-N bazı numunelerde nesslerizasyon metoduyla tesbit edilmiştir. Jenway UV/VIS ya da Pharmacia LKB-Nowaspec-II spektrofotometrede 425 nm dalga boyunda analiz edilmiştir. Kalibrasyon 0-6 mg/lt NH₃-N konsantrasyonlarında 10 adet standartla yapılmıştır. Sızıntı suyunun NH₃-N konsantrasyonu 2000 mg/lt'nin üzerinde olması sebebiyle 1/1000 civarındaki seyrelme girişim yapabilecek çözülmüş ve kolloidal maddelerin etkisini bertaraf ettiğinden girişim engelleyici çözelti kullanılmamıştır.

Toplam Fosfor (TP): Toplam fosfor tayini, asit parçalaması sonucu organik fosfatların ortofosfat şekline dönüştürülmesi prensibine dayanır. TP tayini için çalışma süresince,

numunedeki fosfor miktarına uygun olarak numune alınmış ve 1 ml H₂SO₄ ile 5 ml HNO₃ ilave edilerek asit parçalaması sağlanmıştır. Daha sonra, nötralizasyonu yapılan numunedeki ortofosfat tayini yapılmıştır.

Ortofosfat tayini için kolorimetrik yöntem kullanılmıştır. Metot, numuneye (NH₄)₂MoO₄'ın ilave edilmesiyle oluşan (NH₄)₃PO₄.12MoO₃ kompleksinin SnCl₂ kullanılarak indirgenmesi ile oluşan mavi rengin şiddetinin kolorimetrik ölçümüne dayanır. 100 ml'ye seyreltilmiş numuneye 4 ml (NH₄)₂MoO₄ ve 0.5 ml SnCl₂ ilave edilerek oluşan mavi rengin şiddeti 690 nm'de Pharmacia LKB-Nowaspec-II (1 cm ışık yollou küvet) ya da Jenway 6105 UV/VIS (2 cm ışık yollu küvet) spektrofotometre ile okunmuştur.

Ağır Metaller: Ağır metaller asitlendirilmiş numunelerde atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile yanma gazı olarak hava/asetilen (2/1) karışımı kullanılarak tesbit edilmiştir.

6.2.2 Sızıntı suyu analiz sonuçları

Yukarıda sözü edilen metodlarla yapılan sızıntı suyu analiz sonuçları Çizelge 6.1'de diğer kuruluşlar tarafından yapılan analizlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

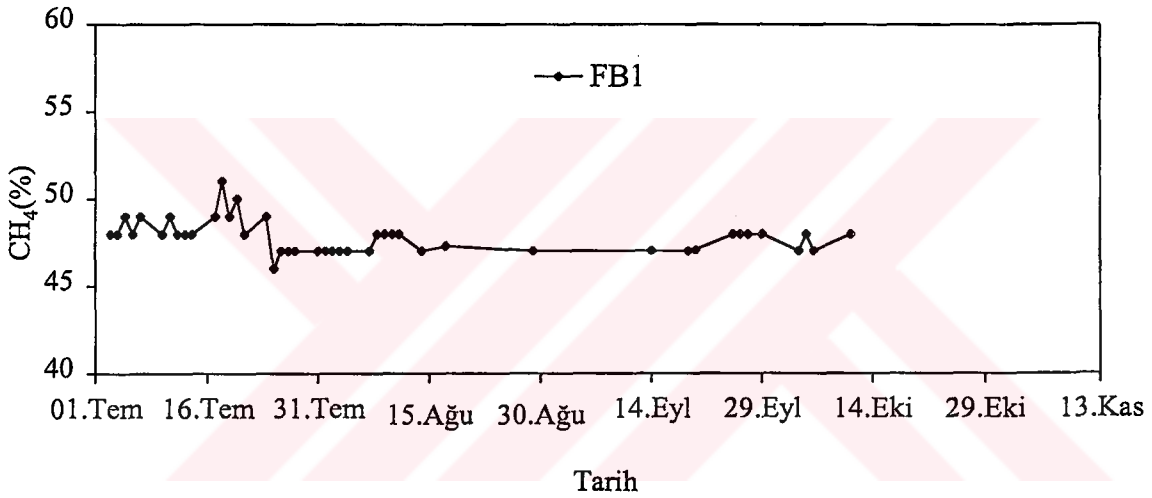
Çizelge 6.1 Odayeri düzenli depo sahası sızıntı suyu özellikleri

PARAMETRE	İTÜ,1995	İSKİ,1995	İTÜ-1999	YTÜ, 2000
pH	5.6-6.5	6.0	7.2-7.3	7.8-8
KOI (mg/l)	50000-40000	70000	21000-31600	13000-16000
BOİ ₅	25000-21000	31000	15000-19000	9000
TKN	410-325	1630	1345-2033	2800-2950
NH ₃ -N	150-170	-	630-2010	2500-2700
Org-N	260-205	-	-	300
Toplam P	5-6	2	21-45	20-30
Alkalinite, mg/L	-	-	-	8500-9700
Krom (Cr)	2.2-1.3	-	-	2.3
Bakır (Cu)	<0.5	0.2	-	0.01
Demir (Fe)	130-100	-	-	45
Çinko (Zn)	0.7	0.8	-	0.125
Nikel (Ni)	1.3-09	-	-	0.8
Kadmiyum (Cd)	<0.2	-	-	0.025

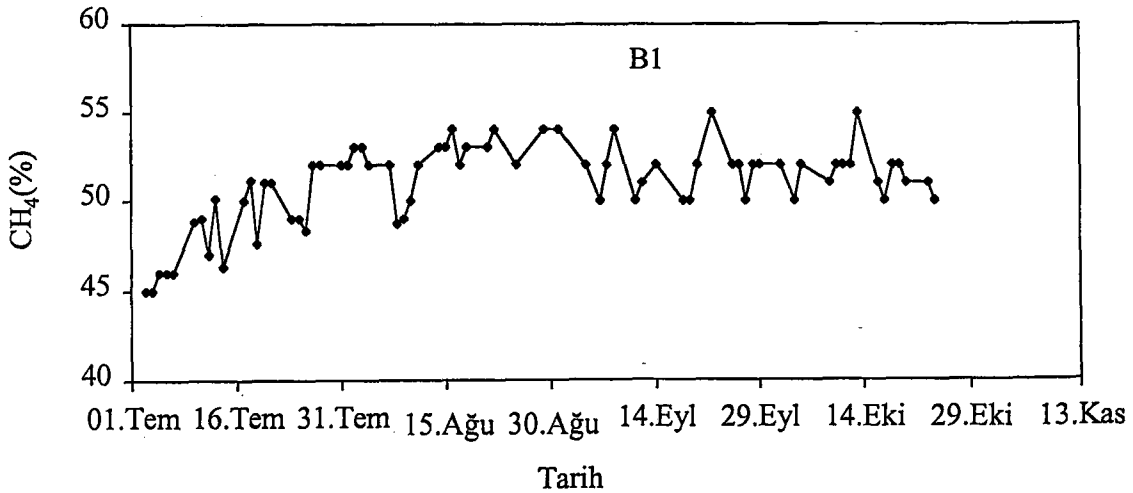
6.2.3 Depo gazı miktar ve bileşenlerinin değişimi

Geri devir işlemine 15 Temmuz 2000 tarihinde başlanmış ve test alanındaki 3 adet bacada ve bu alanın dışında bulunan 2 adet flairli bacada günlük olarak gerçekleştirilen CH_4 gazı ölçümleri, depo sahalarında gaz ölçümlerinin izlenmesi amacıyla özel olarak dizayn edilmiş Landsurveyor 2 aletiyle gerçekleştirilmiştir. Dakikada 1 litre gaz çekme kapasitesine sahip bir pompadan oluşan alet, CO_2 ve CH_4 %'lerini infrared ölçme tekniği ile O_2 'ni ise elektrokimyasal sensörlerle tesbit etme özelliğine sahiptir. Depo gazının miktarının belirlenmesi amacıyla 2 adet flairli bacada 0.1-16 m^3 /saat lik gaz ölçme kapasitesine sahip SACOFGAS (Tip:E10/280, Seri:E, $m_{ağırlık}=20$ kg) aleti kullanılmıştır.

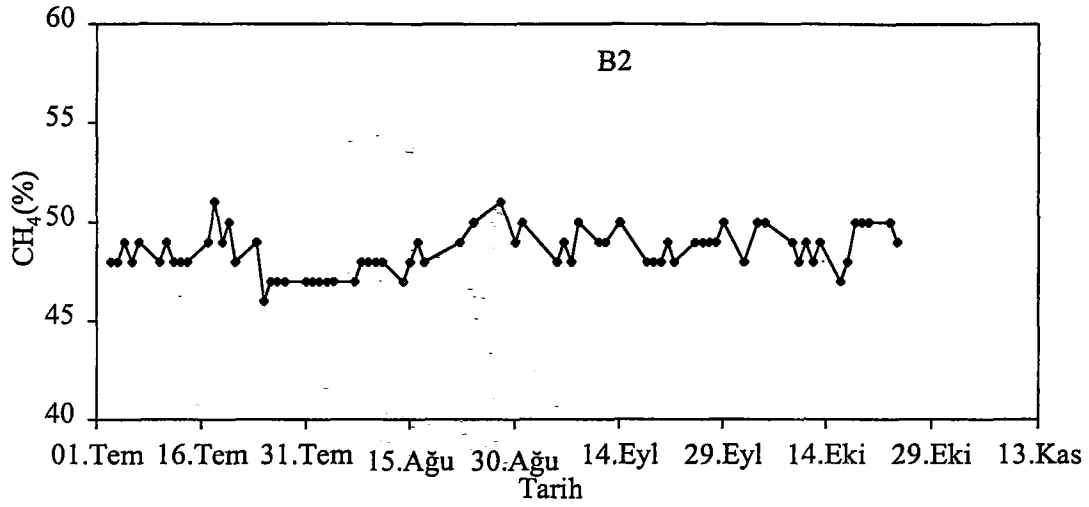
FB1: Flairli baca 1,FB2: Flairli baca 2, B1: Geri devir bacası 1, B2: Geri devir bacası 2, B3: Geri devir bacası 3



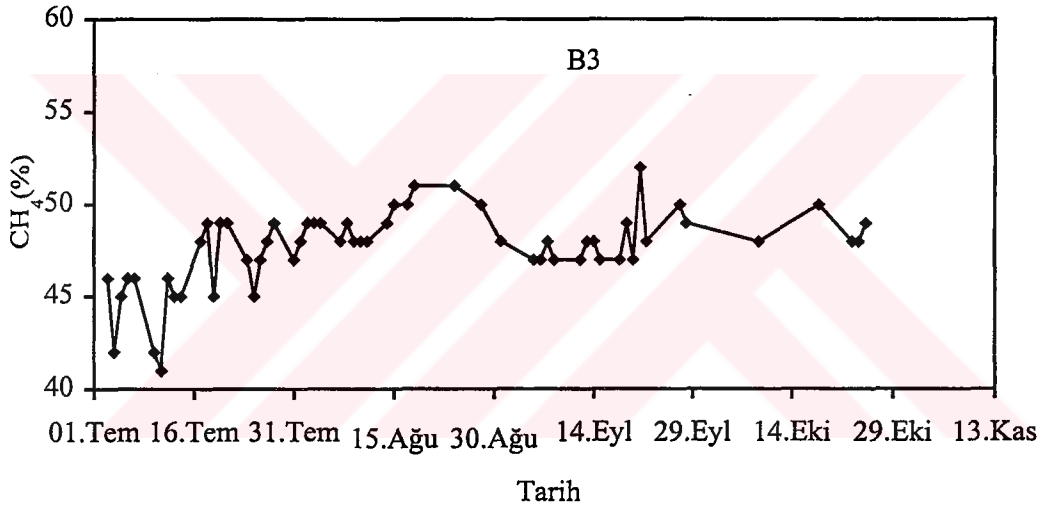
Şekil 6.6. Flairli Baca 1 (FB1) de CH_4 (Metan) gazı ölçüm sonuçları



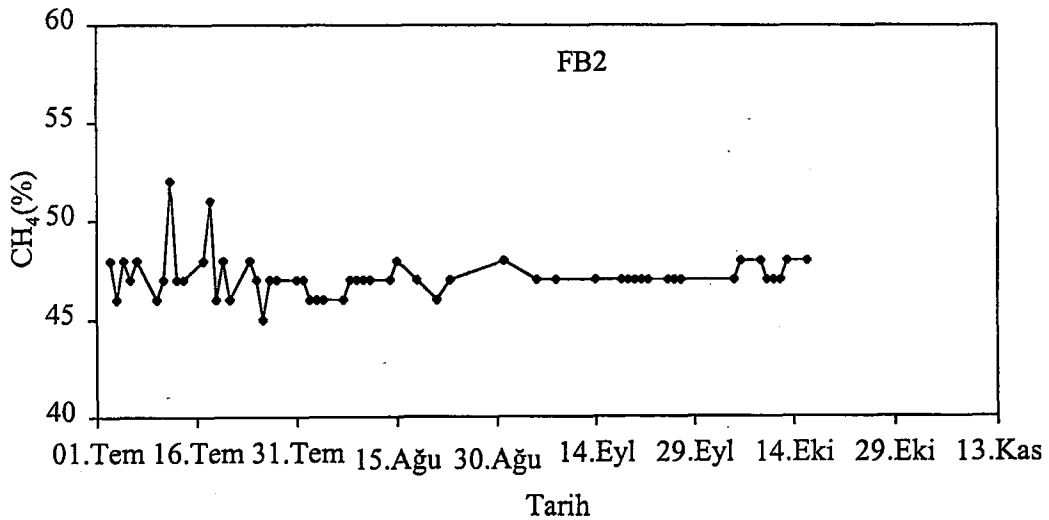
Şekil 6.7 Geri Devir Bacası 1 (B1) de CH_4 gazı ölçüm sonuçları



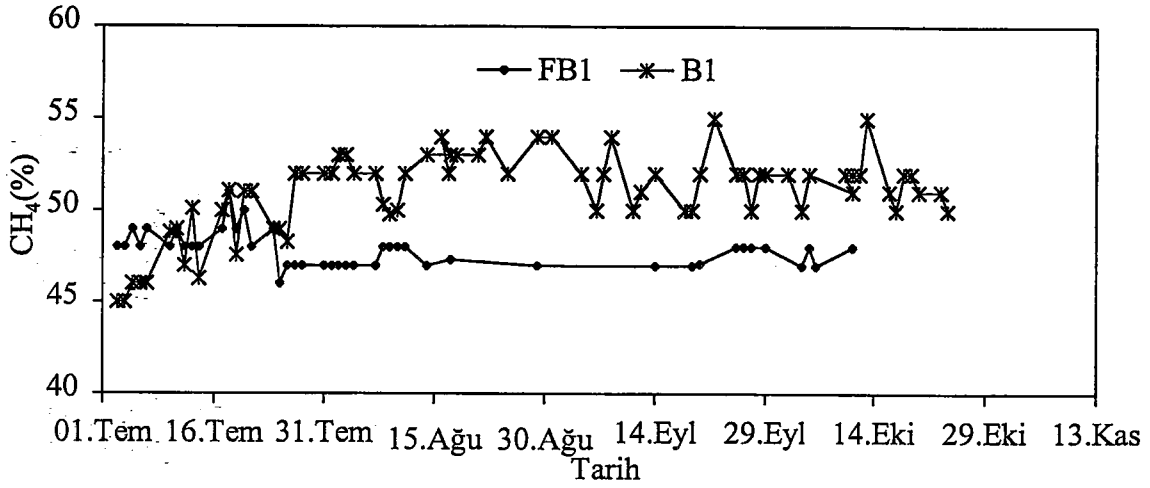
Şekil 6.8 Geri Devir Bacası 2 (B2) de CH₄ gazı ölçüm sonuçları



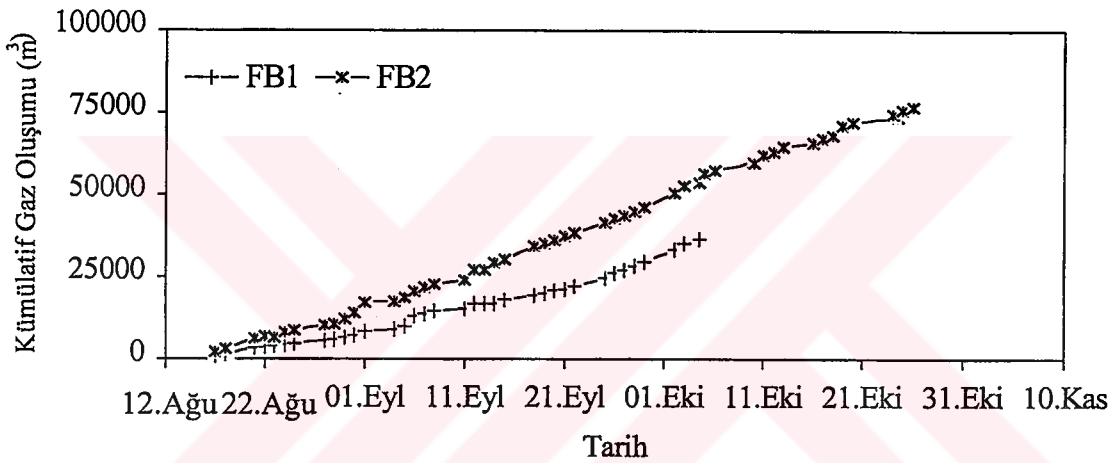
Şekil 6.9. Geri Devir Bacası 3 (B3) de CH₄ gazı ölçüm sonuçları



Şekil 6.10 Flairli Baca 1 (FB1) de CH₄ (Metan) gazı ölçüm sonuçları



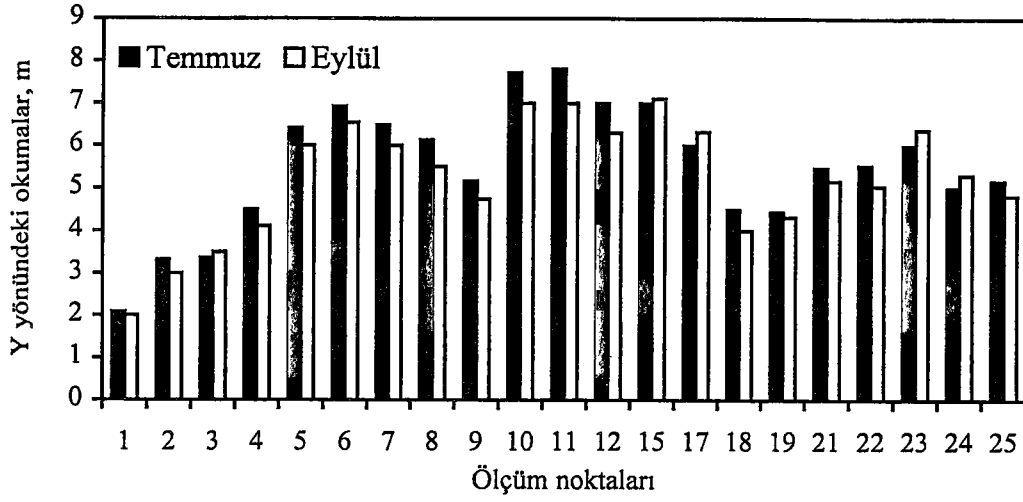
Şekil 6.11. Geri devirli (B1) ve geri devirsiz (FB1) bacalarında gaz ölçüm sonuçları



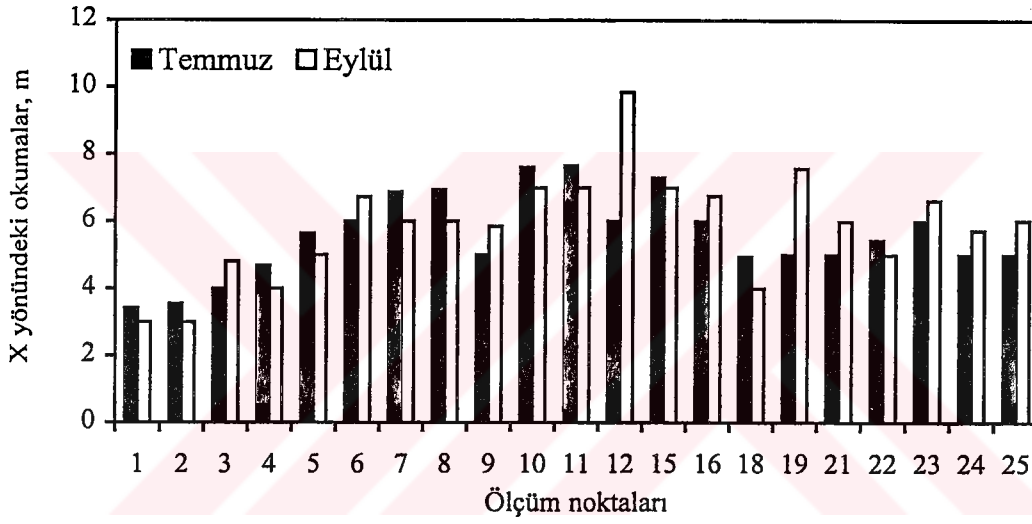
Şekil 6.12. Flairli bacalarda kümülatif gaz oluşumu

6.2.4 Topografya değişimi

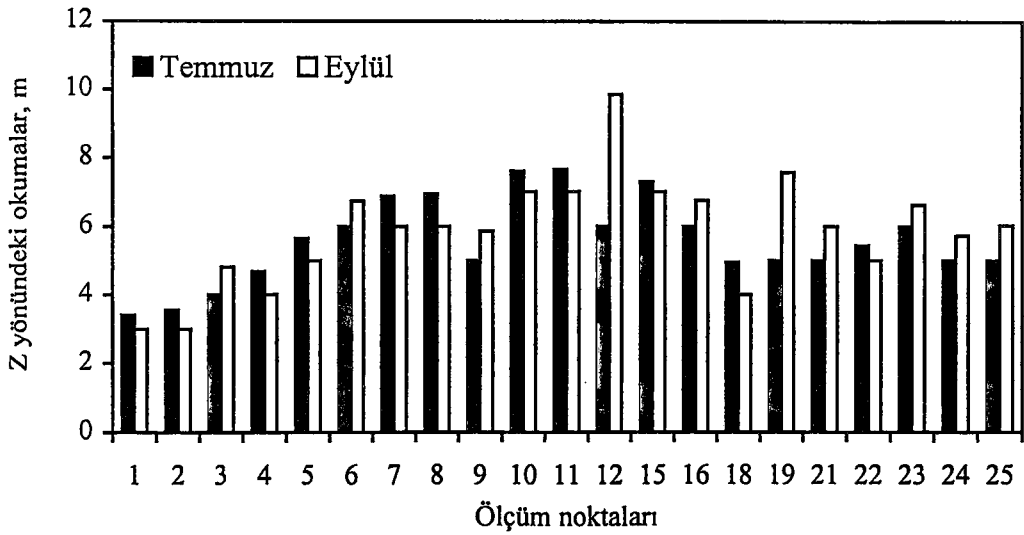
Sahada meydana gelen çökme ve kaymaların belirlenmesi için geri devir öncesi ve sonrasında yaklaşık 25 noktada topografik ölçümler yapılmıştır. Sahada geri devir işlemi ile oluşan kayma ve atıkların stabilizasyonu sonucu meydana gelen çökmelerin belirlenmesi amacıyla geri devrin başladığı Temmuz ayı ve Eylül ayında yapılan topografik ölçüm sonuçları Ek2'de verilmiş ve bu ölçümler Şekil 6.13, Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 6.13 Geri devir öncesi ve sonrası Y eksenindeki okumalar



Şekil 6.14. Geri devir öncesi ve sonrası X eksenindeki okumalar

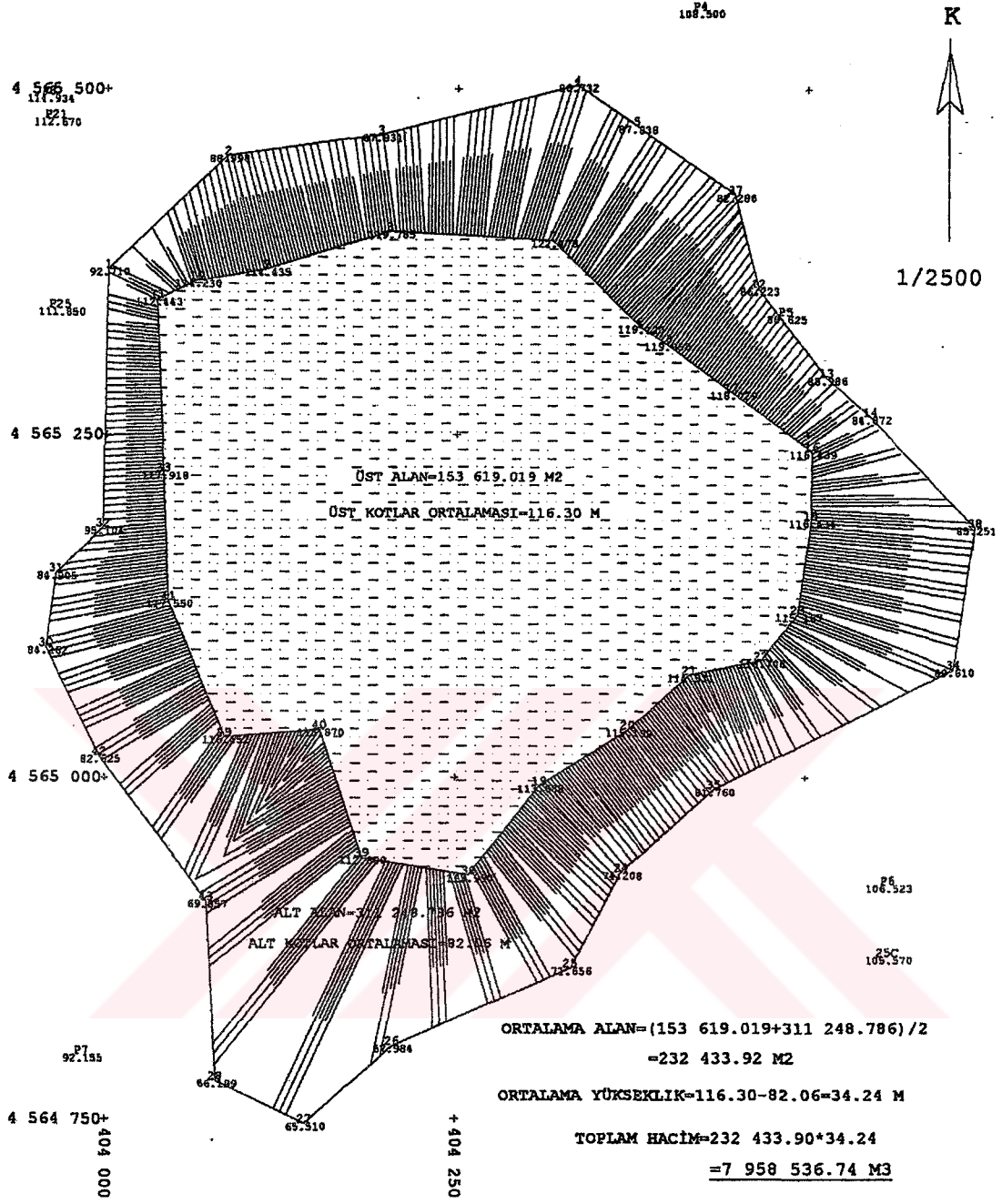


Şekil 6.15. Geri devir öncesi ve sonrası Z eksenindeki okumalar

7. ODAYERİ DÜZENLİ DEPO SAHASINDA ORTAYA ÇIKAN SIZINTI SUYU MİKTARINI VEREN BİLGİSAYAR PROGRAMI İÇİN BAŞLANGIÇ DEĞERLERİ

7.1 Depo Sahasının Fiziki Durumu İçin Kabul Edilen Değerler

Türkiye'nin en büyük atık depolama kapasitesine sahip olan İstanbul Avrupa yakası katı atıklarının bertaraf edildiği Odayeri katı atık depolama sahası Eyüp ilçesi Kemerburgaz beldesinde Kalyoncu sırtı batısındaki vadide yer almaktadır. Vadinin boyu 2500 m., eni sırttan sırtta maksimum 800m. dir. Odayeri depo sahası yaklaşık 125 ha'lık izdüşüm alanı ile 1995'ten bu yana İstanbul Avrupa yakası katı atıklarının bir kısmının, 2000 yılı itibariyle de tamamının bertaraf edildiği bir saha konumuna ulaşmıştır. 1995'de faaliyete giren depo sahasının işletme süresi 25 yıl olarak belirlenmiştir. Şekil 7.1'de 5 yıllık bir süre içerisinde depolamanın yapıldığı yer ve ilave sahalar verilmiştir. 5 yıl içerisinde yaklaşık 25 hektarlık bir alanda depolama işlemi yapılmış, 25 yılın sonunda ise depo sahasının son örtü ile kapatılacağı planlanmıştır. Depo sahaları kapatıldıktan birkaç yıl sonra da kimyasal ve biyolojik aktivite devam etmektedir. Bu sebeple sızıntı suyu oluşumunun tahmini için 30 yıllık bir süre ele alınmıştır. Şekil 7.1'de verilen ve 5 yıldır İstanbul Avrupa yakası katı atıklarının düzenli depolama metodu ile depolandığı Odayeri Katı Atık Düzenli Depo Sahasında depolama yapılan ortalama alan ve ortalama çöp yüksekliği verilmiştir. Buradan hareketle geliştirilen bilgisayar programında yıllık ortalama çöp yüksekliği 10 m ve yıllık depolama yapılan alan 5 hektar olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.1. Odayeri düzenli depo sahasında 1995-2000 yılları arasında depolama yapılan alan

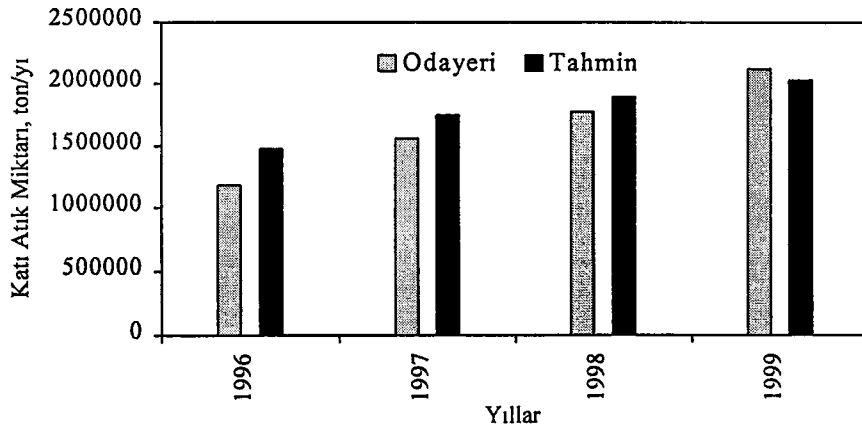
7.2 Katı Atık Miktarları İle İlgili Değerler

Depo sahasında ilk on yıllık planlama için İstanbul katı atık miktarı 10000 ton/gün olarak kabul edilmiş ve bunun 3000 tonunun Asya yakasından geri kalan 7000 tonunun da Avrupa yakasından kaynaklanacağı kabul edilmiştir (Öztürk, İ. ve Demir, A. 1995).

Katı atık miktarları, İstanbul Avrupa yakası nüfusu Devlet İstatistik Enstitüsü Bölge Müdürlüğünden alınan nüfus verileri kullanılarak tahmin edilen 25 yıllık nüfus ile, kişi başına düşen katı atık miktarı kullanılarak bulunmuştur. İstanbul için kişi başına üretilen katı atık miktarı "kg katı atık/nüfus-gün" olarak, 1981 yılında 0,72 ; 1992 yılında ise 0,65 kg/nüfus-gün (≈ 0.25 ton/nüfus yıl) (Öztürk, İ. ve Demir, A. 1995) olarak belirlenmiştir. Çizelge 7.1'de 1995-2000 yılları arasında Odayeri düzenli depo sahasına gelen katı atık miktarları ton/ay olarak verilmiştir. Bu miktarlar ile bu yıllar arasında tahmin edilen katı atık miktarları Şekil 7.2.'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7.1. Odayeri düzenli depo sahasına 1995-2000 yılları arasında gelen aylık katı atık miktarları

Yıl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1996	85687	72150	82433	78987	83849	75683	100778	103713	109902	115195	107508	111158
1997	116025	99003	122146	125075	123754	126516	135117	127409	133241	139866	135264	138125
1998	138741	129941	139074	135443	135994	146103	154373	153165	155279	155905	153713	178252
1999	176741	181610	195806	179886	182633	197267	195158	174804	182428	181979	183215	188698
2000	176096	184231	202591	185432	189322	195239	179619	176249	183556			



Şekil 7.2 1995-2000 yılları arasında Odayeri düzenli depo sahasına gelen yıllık katı atık miktarları ve bilgisayar programı ile tahmin edilen katı atık verileri

7.3 Katı Atık Su Muhtevası İle İlgili Değerler

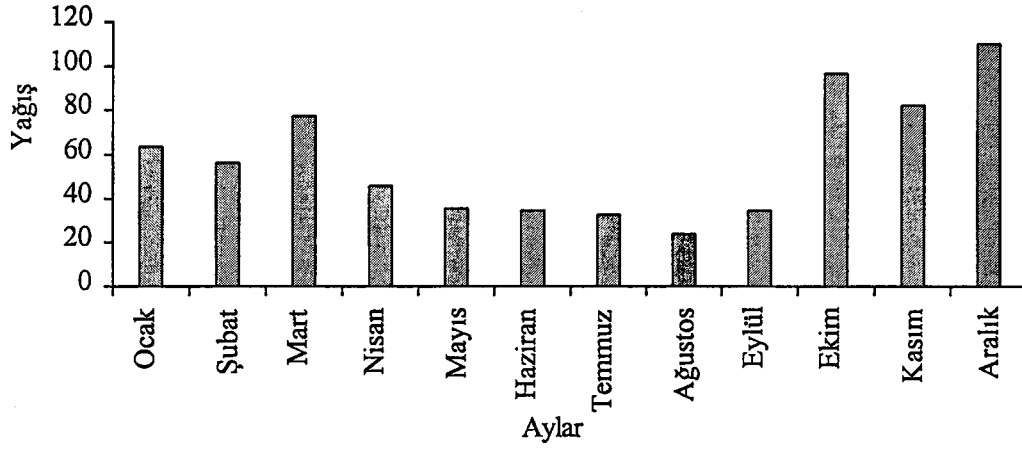
Geliştirilen bilgisayar programında tahmin edilen 25 yıllık katı atık miktarlarına göre atığın neminden kaynaklanan sızıntı suyu miktarları, atığın ilçelere göre nisan ve eylül ayları için ağırlıklı nem muhtevası ve doyma kapasitesi arasındaki ilişkiden yararlanılarak bulunmuştur. Gaziosmanpaşa, Fatih, Şişli ve Ataköy ilçelerinden gelen çöpün nisan ve eylül ayları için katı atık nem muhtevaları ve toplam katı atık miktarının ilçelere göre ağırlıklı (%)'leri Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2 İlçelere göre nisan ve eylül ayları için ağırlıklı nem muhtevaları
(Öztürk, İ. ve Demir, A. 1995)

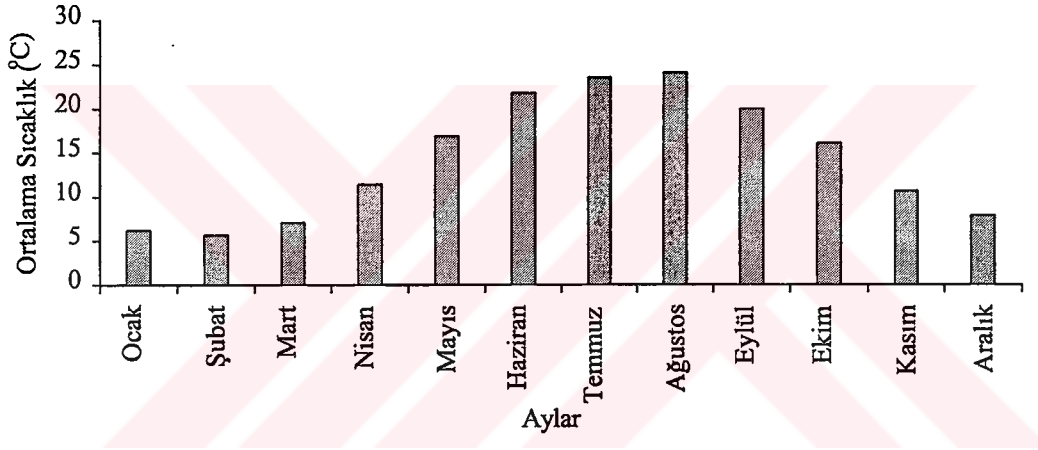
İlçeler	Ağırlıklı Çöp (%)'si	Nem muhtevası (%)		Ağırlıklı nem muhtevası (%)	
		Nisan	Eylül	Nisan	Eylül
Ataköy	20	68	50,7		
Gaziosmanpaşa	30	49	43	57,7	42,44
Şişli	20	69	54		
Fatih	30	52	62		

7.4 İklimsel Değerler

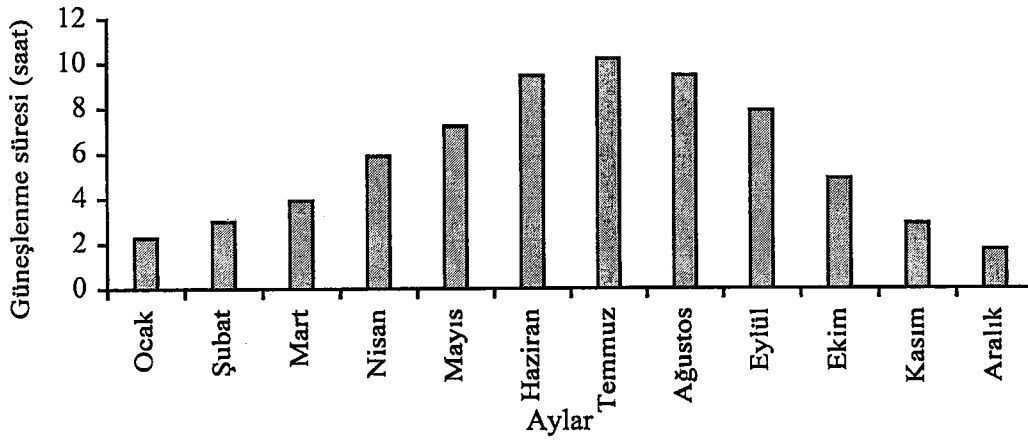
Yağış miktarı, ortalama sıcaklık, güneşlenme süreleri gibi iklimsel veriler çalışma sahasına en yakın olan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Florya İstasyonundan alınmıştır. 1992-1999 yılları arasındaki bu veriler bilgisayar programına aylık ortalama yağış, aylık ortalama güneşlenme süresi ve aylık ortalama sıcaklık olarak girilmiştir. Çizelge 7.3'te Florya İstasyonundan elde edilen aylık ortalama yağış miktarları, sıcaklık ve güneşlenme süreleri verilmiştir. Yağış dolayısıyla oluşan, akışa geçen ve buharlaşma ile kaybolan su miktarı Bölüm 4'de verilen su dengesi metoduna göre değerlendirilmiştir. Yüzeysel akış miktarı akış katsayısı 0.6 alınarak bulunmuştur. Şekil 7.3'de aylık ortalama yağış, Şekil 7.4 ve Şekil 7.5.'de ise aylık ortalama sıcaklık değerleri ve aylık ortalama güneşlenme süreleri verilmiştir.



Şekil 7.3. Florya istasyonu aylık ortalama yağış miktarları



Şekil 7.4. Florya istasyonu aylık ortalama sıcaklık değerleri



Şekil 7.5. Florya istasyonu aylık ortalama güneşlenme süreleri

Çizelge 7.3. Florya istasyonu aylık ortalama yağış miktarları, sıcaklık ve güneşlenme süreleri

Aylar	Sıcaklık (°C)	Yağış (mm)	Güneşlenme süresi (saat)
Ocak	6.17	63.4	2.27
Şubat	5.63	56.57	2.99
Mart	7.11	77.63	3.93
Nisan	11.4	45.54	5.9
Mayıs	16.86	35.31	7.23
Haziran	21.74	34.27	9.49
Temmuz	23.59	32.67	10.24
Ağustos	24.07	23.63	9.5
Eylül	20.04	34.3	7.94
Ekim	16.07	96.91	4.9
Kasım	10.69	82.23	2.9
Aralık	7.84	110.06	1.74
Toplam	-	692.52	-

Depo sahasında zemin nemi ve gerçek evapotranspirasyon hesabı için, aylık yağışlar ve Thorntwaite formülüne göre hesaplanmış aylık buharlaşma ve terleme potansiyelleri Çizelge 7.4'de verilmiştir. Sahanın üst örtü toprak kalınlığı 35 cm ve arazi kapasitesi %23 kabul edilmiştir. Arazinin maksimum zemin nemi $(35) \times (0,23) \approx 8 \text{ cm} = 80 \text{ mm}$ 'dir. Su bilançosuna, yağışların ilk defa buharlaşmayı geçtiği, yani P-PE farkının pozitif olduğu Ekim ayından başlanmış ve Eylül ayı sonunda, (Kasım başlangıcında) zemin nemi sıfır kabul edilmiştir. Kasım sonuna kadar yağış fazlası zemin nemini 77.14 mm' ye yükseltmektedir. Aralık ayında yağışın buharlaşmadan fazlası 93.06 mm olduğundan bunun 2.86 mm' si zemin nemini arazi kapasitesine tamamlamaya harcanmış, geri kalan $(93.06 - 2.86) = 90.2 \text{ mm}$ ' si akış haline geçmiştir. Ocak, Şubat ve Mart aylarında zemin neminde bir değişme olmamış ve buharlaşmadan fazla olan yağışın tamamı akışa geçmiştir. Yıl sonunda toplam akış, 208.8 mm olarak bulunmuştur.

Çizelge 7.4 Zemin neminin ve gerçek buharlaşma ve terleme kayıplarının hesabı

Aylar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
PE(mm)	70	32	17	20	22	37	68	106	155	180	169	124
P(mm)	96,91	82,23	110,06	63,4	56,57	77,63	45,54	35,31	34,27	32,67	23,63	34,3
P-PE	26,91	50,23	93,06	43,4	34,57	40,63	-22,46	-70,69	-120,73	-147,33	-145,37	-89,7
ZND(mm)	26,91	50,23	2,86	0	0	0	-22,46	-57,54	0	0	0	0
ASZN(mm)	26,91	77,14	80	80	80	80	57,54	0	0	0	0	0
GE(mm)	70	32	17	20	22	37	68	92,85	34,27	32,67	23,63	34,3
Akış(mm)	0	0	90,2	43,4	34,57	40,63	0	0	0	0	0	0
PE: Potansiyel evapotranspirasyon, P: Yağış, ZND: Zemin nemindeki değişme, ASZN: Ay sonundaki zemin nemi, GE:Gerçek evapotranspirasyon TOPLAM AKIŞ: 208.8 mm												

Katı Atık Düzenli Depo Sahası Basic (KADDS.BAS) programında Odayeri Düzenli depo sahasının 25 yıllık aktif işletme süresi boyunca suyun zemin yüzeyinden buharlaşması sonucu meydana gelen kayıplar 4. Bölümde verilen Penman eşitliği kullanılarak bulunmuş ve elde edilen buharlaşma değerleri Çizelge 7.5.'de verilmiştir. 25 yılın sonunda 5 yıllık terleme kayıpları son örtünün bitkilendirilmesi de gözönünde bulundurularak sıcaklık ve güneşlenme süresi verilerine göre 4.10 Eşitliği ile verilen Thorntwaite formülü kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 7.5 Penman formülüne göre hesaplanan aylık buharlaşma değerleri

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
T(oC)	6.17	5.63	7.11	11.4	16.86	21.74	23.59	24.07	20.04	16.07	10.69	7.84
A	0.1	0.07	0.13	0.36	0.56	0.77	0.85	0.87	0.62	0.52	0.36	0.20
B	12	11.88	12.2	13.1	14.27	15.3	15.7	15.8	14.94	14.1	12.96	12.35
e_w	7.54	7.3	7.97	10.3	14.27	19.1	21.3	21.94	17.25	13.61	9.87	8.33
$r^{(1)}$	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
R	6	8.3	11	13.9	15.9	16.7	16.3	14.8	12.2	9.3	6.7	5.5
$R_{nem}^{(2)}$	0.79	0.75	0.77	0.72	0.78	0.68	0.67	0.74	0.43	0.84	0.83	0.82
$e_a^{(3)}$	5.96	5.48	6.14	7.42	11.13	13	14.27	16.24	7.42	11.43	8.2	6.83
$W_2^{(4)}$	1.04	1.25	1.46	0.94	1.04	1.09	1.4	1.56	1.14	0.94	1.46	1.77
S	0.19	0.25	0.33	0.49	0.60	0.79	0.85	0.79	0.66	0.41	0.24	0.15
E	0.87	1.08	1.15	1.53	1.73	3.41	4.36	3.71	5.60	1.16	1.05	1.04
H	-3.26	-2.78	-1.87	-0.53	0.11	1.21	1.5	1.25	-3.01	-1.60	-2.90	-3.25
U ⁽⁵⁾	1.52	1.43	1.38	0.96	0.64	1.78	2.19	1.83	3.80	1.45	2.11	1.98

(1): Çizelge 7.4' de hesaplanan zemin nemine göre, Çizelge 4.6'dan alınmıştır.

(2): Relatif nem (DMİ Genel Müdürlüğü verileri)

(3): e_a = Relatif nem x e_w

(4): 2 m yükseklikteki rüzgar hızı (DMİ Genel Müdürlüğü'nün h=12m için belirlenen rüzgar hızı verilerinden dönüştürülmüştür Çizelge 4.5)

(5): U_{toplam} = 20.07 cm/yıl (yıllık buharlaşma miktarı)

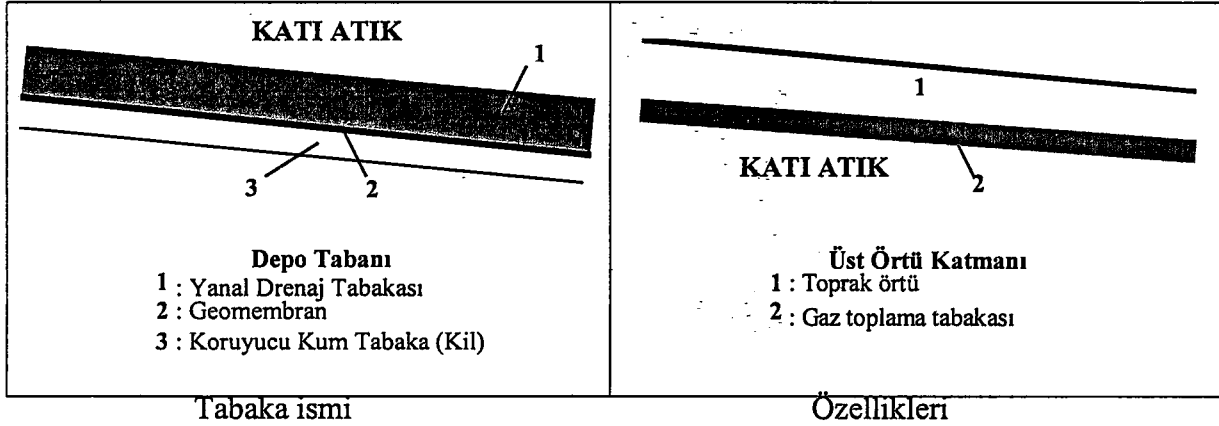
Çizelgedeki değerler 4. Bölümde verilen 4.4, 4.5 ve 4.6 eşitlikleri yardımı ile hesaplanmıştır.

7.5 Depo Tabanı, Örtü Katmanı ve Katı Atıkların Su Tutma Kapasiteleri ve Özellikleri İle İlgili Değerler

Çöplerin düzenli depolanması genel olarak; alan metodu, hendek metodu ve çukur metodu olmak üzere üç şekilde yapılmaktadır. Alan metodu, arazinin hendek kazılmasına müsait olmadığı veya buna ihtiyaç bulunmadığı hallerde uygulanır. Alan metoduna elverişli görülen Odayeri depo sahasına, kamyonlarla getirilen çöp döküldükten sonra uzun-dar ve kalınlığı 40 ila 80 cm olan bir şerit halinde toprağa yayılır. Onun üzerine 2. ,3. vs. şeritler yayılıp her kademe kompaktörle sıkıştırılarak günlük döküm kalınlığı 2-3 metreye ulaşır ve günün sonunda üzerine 15 cm kalınlığında bir toprak tabakası yayılarak o günkü iş tamamlanır. Günlük dolgu miktarı bir hücre meydana getirir. Bu hücrelerin yüksekliğine lift veya kalınlık denir. KADDS.BAS programında kullanılan üst örtü, katı atık ve diğer tabakaların kalınlığı, porozitesi arazi kapasitesi, solma noktası ve hidrolik iletkenliği Çizelge 7.6'da verilmiştir.

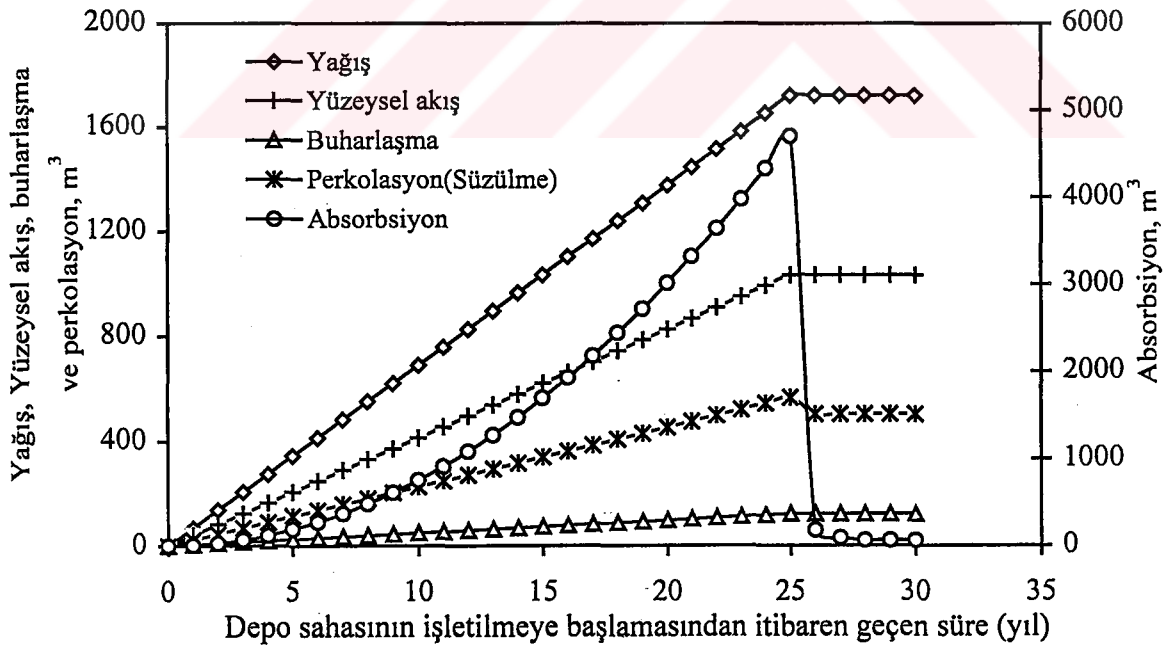


Çizelge 7.6 Düzenli depo sahası taban ve üst örtü katmanları ve özellikleri
(Murphy ve Garwell, 1998)

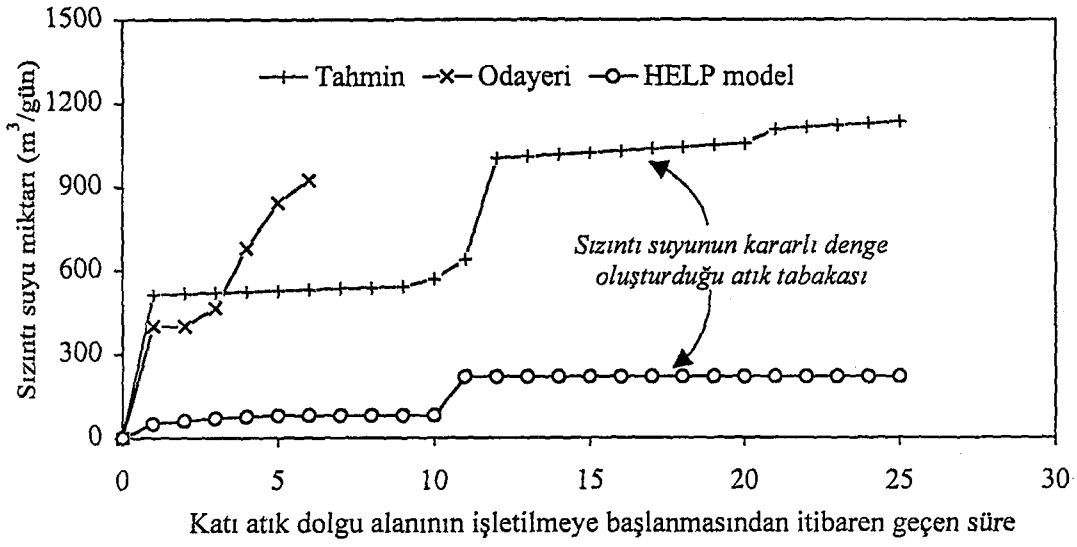


7.6 KADDS.BAS Programı Sonuçları

Düzenli depo sahalarında su dengesi metodu ile sızıntı suyu miktarının belirlenmesi amacıyla Q-Basic programı ile yazılımı gerçekleştirilen KADDS.BAS (Katı Atık Düzenli Depo Sahası . BAS) programında, İstanbul Avrupa yakası katı atıklarının bertaraf edildiği Odayeri Düzenli Depo Sahasının aktif işletme süresi boyunca ve depo üst örtü tabakası kapatıldıktan beş yıl sonra oluşacak sızıntı suyu miktarı tahmin edilmiştir. Yıllık depolama yapılan alan ve çöp yüksekliğinin sırasıyla 5 hektar, 10m. olarak alındığı programda bu alana düşen yağış, yüzeysel akış ve buharlaşma miktarları ile atık kütlesi ve diğer katmanların arazi kapasitesi ve solma noktasının farkı alınarak bulunan toplam absorpsiyon miktarı Şekil 7.6. ve Ek-3'de verilmiştir. Atıkların sıkıştırılması sonucu akışa geçen miktar da göz önünde bulundurularak elde edilen perkolasyon (süzülme) değerleri ile yıllık sızıntı suyu miktarı tahmin edilmiştir. Şekil 7.7.'de bu programla elde edilen tahmin sonuçları ile hem Odayeri düzenli depo sahasında 1995-2000 yılları arasında oluşan sızıntı suyu miktarı hem de CH2M-Hill Antel tarafından İstanbul Anakenti için hazırlanan katı atık yönetim etüdünde bu saha için uygulanan HELP (Hydrological Evaluation Landfill Performance,1988) model ile belirlenen miktarlar mukayeseli olarak verilmiştir.



Şekil 7.6. Odayeri düzenli depo sahasındaki sızıntı suyu miktarının tahmininde KADDS.BAS programı ile belirlenen su dengesi bileşenlerinin yıllara göre değişimi



Şekil 7.7 Odayeri katı atık düzenli depo sahasında KADDS.BAS programı ile yıllara göre tahmin edilen ve Odayeri depo sahasında 1995-2000 yılları arasında oluşan günlük ortalama sızıntı suyu miktarları

8. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Düzenli depo sahalarında sızıntı sularının çöp sahası üzerine geri devrettirilmesi, organik maddelerin biyolojik stabilizasyonunu önemli ölçüde hızlandırmakta ve sızıntı suyunun kirletici madde konsantrasyonunu da önemli miktarda azalmaktadır. Gerek pilot, gerekse tam ölçekli çalışmalarda, depo sahalarında sızıntı sularının geri devrettirilmesiyle sızıntı suyu kirletici bileşenlerinin azaldığı ve organik maddelerin stabilizasyonunun hızlandığı literatürde mevcuttur. Yüksek su muhtevasının, anaerobik ortamın gelişmesi, ısı transferi ve substrat difüzyonu üzerinde olumlu katkıları vardır. Depo sahalarında metan (CH_4) üretiminin optimize edilebilmesi için atıkların doygun olması gerekir. Diğer taraftan depo sahasının yüzeyden beslenmesi, CH_4 üreten bakterilerin aktivitelerini artırmaktadır.

Türkiye'de ilk defa tam ölçekli depo sahasında oluşan sızıntı sularının saha üzerine geri devrettirildiği bu çalışmayı iki bölümde değerlendirmek mümkündür. Bunlardan ilki Odayeri Katı Atık Düzenli Depo Sahasında oluşan sızıntı sularının saha üzerine geri devrinin atık stabilizasyonu üzerine etkisini belirlemek amacıyla, gaz bileşenleri, sızıntı suyu bileşenleri ve yerel çökmelerin takip edilmesi, ikincisi ise depo sahalarında oluşan sızıntı suyu miktarının belirlenmesi amacıyla; yağış, yüzeysel akış, buharlaşma ve terleme kayıpları gibi hidrolojik denge bileşenleri ve Odayeri Katı Atık Düzenli Depo Sahasının fiziki durumu da dikkate alınarak bu sahadan oluşabilecek sızıntı suyu miktarını belirleyen bir bilgisayar programının çalıştırılmasıdır.

1) Odayeri Katı Atık Düzenli Depo Sahasında Yapılan Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

Avrupa yakası katı atıklarının bertaraf edildiği Odayeri Katı Atık Düzenli Depo sahasında yapılan geri devir uygulamasında deney süresince saha üzerine geri devrettirilecek sızıntı suyu miktarının oluşan toplam sızıntı suyunun %15'lik bir kısmı kadar olacağı tespit edilmiş ve geri devrin yapıldığı deney süresi boyunca oluşan toplam sızıntı suyu miktarı yaklaşık 20000 m³ olup bu miktarın 3000 m³ lük bir kısmı saha üzerine geri devrettirilmiştir. Gaz ölçümleri test alanı içerisinde seçilen 3 bacada ve bu alanın dışında kalan flairli bacalarda 5 ay boyunca günlük olarak izlenmiştir. Sızıntı suyunun katı atık depo sahası üzerine geri devrinin atık stabilizasyonu üzerine etkisini belirlemek amacıyla Odayeri Katı Atık Düzenli Depo Sahasında, gaz bileşenleri, sızıntı suyu bileşenleri ve yerel çökmelerin takip edildiği ölçüm sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir.

a) Biyogaz ölçüm sonuçları

Geri devrin yapıldığı üç bacada ve bu alanın dışında kalan 2 adet Flairli bacada, gaz bileşenlerinden organik maddelerin ayrışma ürünü olan metan (CH_4) gazı ölçüm sonuçları şu şekilde değerlendirilmiştir.

- *Flairli Baca-1 (FB1)* : Bu baca, geri devrin yapıldığı bölgedeki atıkların ayrışması sonucu oluşan biyogazın metan fraksiyonu ile geri devirsiz bölgedeki metan fraksiyonunu mukayese edebilmek amacıyla geri devir test alanının dışında kalan ve 5 yıldır depolamanın yapıldığı kısımdan gelen gazların yakıldığı bacadır. Bu bacada deney süresi boyunca oluşan gaz miktarı ve biyogazın metan bileşeni günlük olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarının %45-47 seviyesinde sabit kaldığı ve günde yaklaşık 500 m^3 gaz oluştuğu tesbit edilmiştir.
- *Flairli Baca-2 (FB2)* : Bu baca da FB1 gibi geri devir test alanının dışında olup günlük metan gazı ölçüm sonuçları %45-48 arasında seyretmiştir. Oluşan gaz miktarı 1000 m^3 olarak tesbit edilmiştir.
- *Geri Devir Bacası-1 (B1)* : Sızıntı sularının geri devrettirildiği test alanındaki bacalardan biri olan bu bacadaki gaz ölçümlerine göre, biyogazın metan oranının başlangıç değeri %43 civarında iken depo gövdesinin nemlendirilmesiyle atıklar doygun hale getirilmiş dolayısıyla metan oranının %55 seviyelerine çıktığı görülmüştür.
- *Geri Devir Bacası-2 (B2)* : B1 bacasında olduğu gibi bu bacada da deponun nemlendirilmesiyle metanojenik aktivite artmış ve biyogazın metan oranının %42'lerden %55 seviyelerine çıktığı görülmüştür.
- *Geri Devir Bacası-3 (B3)* : Diğer bacalarda olduğu gibi bu bacada da metan oranı %42'lerden %55 seviyelerine çıkmıştır.

Gaz bileşenlerinden, organik maddelerin ayrışma ürünü olan metan (CH_4) gazı ölçüm sonuçlarının genel bir değerlendirilmesi yapılacak olursa; geri devir sonrası geri devrin yapıldığı bölgelerdeki bacalarda biyogazın CH_4 bileşeninin arttığı, ölçüm yapılan bütün bacalarda özellikle B2 geri devir bacasında bu artışın daha fazla olduğu tesbit edilmiştir. Geri devir işleminden sonra biyogazın CH_4 fraksiyonunda %10 civarında bir artış belirlenmiş ve geri devir yapılmadan önce biyogazın CH_4 bileşeni %45 civarında iken, bu oranın deponun nemlendirilmesiyle metanojenik aktivitenin artması sonucu %55'lere çıktığı tesbit edilmiştir. Bu ise geri devir sonrası atık stabilizasyonunun hızlandığının bir göstergesidir. Geri devirsiz bölgelerde bulunan FB1 ve FB2 bacalarında yapılan ölçümlerde CH_4 oranının sabit kaldığı görülmüştür.

b) Topografik ölçüm sonuçları

Atıkların stabilize olması sebebiyle geri devir bölgesinde meydana gelebilecek çökmelerin tesbiti için sızıntı sularının sahaya geri devrettirilmesinden önce ve sonra gerçekleştirilen topografik ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, Z eksenini yönünde oturmaların meydana geldiği görülmektedir. Bu ise atıkların stabilizasyonu sonucu meydana gelen kütle azalmasının bir göstergesidir. Bu yöndeki çökmenin ortalama 0.5m civarında olduğu tesbit edilmiştir. Bu çökme miktarı 1.5 hektarlık test alanında $15000 \times 0.5 = 7500 \text{ m}^3$ lük ilave bir saha oluşturmuştur. Bu durum atıkların depolanması için ek bir saha meydana getirdiğinden geri devir işleminin bir başka avantajı olarak görülebilir. X ve Y yönündeki ölçüm sonuçları ise sızıntı suyu geri devri esnasında bu suların atık kütlesi içerisinde homojen şekilde dağılmadığını ve geri devrin yapıldığı bölgede kaymaların olduğunu göstermektedir. X ve Y yönündeki değişimler sırasıyla 0.6m ve 0.45m olarak tesbit edilmiştir.

c) Sızıntı suyu kimyasal analiz sonuçları

Odayeri Katı Atık Düzenli Depo Sahasından 15 günde bir alınan sızıntı suyu numunelerinde yapılan analizler APHA (1995)'deki standart metodlar kullanılarak yapılmıştır. Depolamanın henüz başladığı 1995 yılından 1997 yılına kadar sızıntı sularının kirletici parametreleri oldukça yüksek konsantrasyonlarda iken 1999 yılında tedrici bir azalma olduğu görülmektedir. Sızıntı sularının depo sahasına geri devrinden sonra özellikle organik madde konsantrasyonu önemli miktarda azalmıştır. Depo sahasının sızıntı suları ile nemlendirilmesi metanojenik aktiviteyi arttırmış ve sızıntı suyunun KOİ'si azalmıştır. Metanojenik aktivitenin artmasına paralel olarak sızıntı suyunun uçucu yağ asidi konsantrasyonundaki azalma neticesinde pH ve alkalinite yükselmiş ve sırasıyla 8 ve 10000-15000 mg/L CaCO_3 değerlerine çıkmıştır. Biyolojik artılabilirliğin göstergesi olan BOİ₅/KOİ oranının sızıntı suyu geri devrinden sonra 0.75 seviyelerinden 0.6'ya kadar düştüğü belirlenmiştir. Yüksek pH'da metallerin çözünürlüğü azaldığından sızıntı suyunun Fe, Zn, Cr, konsantrasyonlarında düşme olmuştur.

2) KADDS.BAS Programı İle Elde Edilen Sonuçlar

İstanbul Avrupa yakası katı atıklarının 1995'ten bu yana düzenli depolama yöntemi ile bertaraf edildiği Odayeri Katı Atık Düzenli Depo Sahasının 5 yıllık fiziki durumu dikkate alınarak yıllık atık yüksekliğinin 10 m., depolama yapılan alanın 5 hektar olarak belirlendiği atık kütlesi üzerinde, hidrolojik denge bileşenleri (yağış, yüzeysel akış, buharlaşma vs.) uygulanmış ve atıkların sıkıştırılması sonucu serbest hale gelen su miktarı da dikkate alınarak

bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu programda ilçelere göre nisan ayı ağırlıklı su muhtevası %42, eylül ayı ağırlıklı su muhtevası %55, atıkların doygunluk kapasitesi %40 alınmış ve gerek atık tabakası gerekse diğer katmanların absorblayacağı su miktarı arazi kapasiteleri ve solma noktaları arasındaki ilişkiler gözönünde tutularak ortalama günlük sızıntı suyu miktarları elde edilmiştir.

Hazırlanan KADDS.BAS programına göre deponun aktif işletme süresi boyunca, depolamanın başladığı andan itibaren ilk 10 yıl, atık tabakasının nem içeriği arazi kapasitesinin altında olduğundan oluşacak sızıntı suyu miktarı ortalama 500-650 m³/gün olarak elde edilmiştir. Bundan sonraki yıllarda, atık tabakasının nemi ulaşabileceği maksimum miktarın üzerine çıktığından oluşacak sızıntı suyu miktarı ortalama 1000 m³/gün değerine ulaşmıştır. Depo sahasının aktif işletme süresi sonunda, son örtü kapatıldıktan sonra 5 yıl sızıntı suyu oluşumu devam etmiş ve bu miktar yaklaşık 500 m³/gün değerinden başlayarak tedrici olarak azalmıştır.

Odayeri, Katı Atık Düzenli Depo Sahasında yapılan sızıntı suyu miktarı ölçümlerine göre mevsimsel değişimler de dikkate alındığında bu miktarın ortalama 1000 m³/gün olduğu ve yapılan bilgisayar programının çalıştırılması ile elde edilen sızıntı suyu miktarları ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Depo sahalarında önemli bir problem olan sızıntı suları için bertaraf metodlarının tesbitinde bu program emniyetle kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Abraham Michael, (1998), "Sanitary landfill" Public Works Journal Corporation, East Stroudsburg; February

Amalendu Bagchi, (1989), "Design, Construction, And Monitoring of Sanitary Landfill" Wisconsin Department of Natural Resources, August, (3):(21)

Baştürk, A, (1988), "Türkiye'de Katı Atık Özellikleri ve Uygun Bertaraf Teknolojileri Üzerine Bir Araştırma" Takdim Tezi, Yıldız Üniversitesi Müh. Fak., İstanbul

Boduroğlu, A., (1993), "Recirculation As A Management Option" Master Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

CH2M Hill-Antel, (1992) "İstanbul Anakenti İçin Hazırlanan Katı Atık Yönetim Etüdü", İstanbul

Christensen, T.H., Cossu, R. (1998), "Basic Processes in Landfills" Proceedings of the International Training Seminar on Management and Treatment of MSW Landfill Leachate, CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre, 2-4 December 1998, Cagliari, Italy

Debra R Reinhart, (1996), "Full scale experiences with leachate recirculating landfills: Case studies" Waste Management & Research (14):(347):(365)

Debra R Reinhart, A. Basel Al-Yousfi, (1996), "The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics" Waste Management & Research (14):(337):(346)

Demir, İ, Altınbaş, M, Arıkan, O, (1999), "Katı Atıklar İçin Entegre Yönetim Yaklaşımları", Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, Ed. Öztürk, İ., Demir, A.ve Alp, K., 17-19 Şubat 1999, İstanbul

Ehrig, H.J. , (1998), "Physcal Chemical Processes-Stripping Precipitation Flocculation" Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre, 4-8 October, Cagliari, Italy

Farquar, G.J. J.F. Sykes, (1980), " Landfill Leachate Migration in soil" Proceedings of Leachate Management Seminar, Toronto-Ontario, 20-21 November, pp.157-195

Gujer, W., and Zehnder, A. J. B., (1983), "Conversion processes in anaerobik digestion", Water Science and Technology, Vol. 15, No. 8/9, pp. 127-167.

Hamle İnşaat, (1998), "Odayeri Sihhi Çöp Depolama Alanı Tevsi Uygulama Projesi" İstanbul

Hartz, K.E., Klink, R.E., Ham, R.K., (1982), "Temperature Effects: Methane Generation From Landfill Samples", Journal of Environmental Engineering Division, August no4, (108):(629):(638)

Hjelmar, O., Johannessen, L.M. ,Ehrig, H.J. , (1995) "Composition and Management of Leachate from landfills" Env, Int Landfill Sym. Sardinia Vol:1 pp:243-262

Jay Warzinski, B.Todd Watermolen, et all, (2000) Leachate Management: A Superior Approach to Recirculation" Waste Age, April

Knox K., De Rome, L., Caine, M and Blakey, N.C., (1999), "Observations From Afeview Of The Brogborough And Landfill 2000 Test Cells Data", Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre, 4-8 October, Cagliari Italy,(1):(45)

Koliopoulos T. C. Fleming G and Skordilis A , (1999), "Evaluation of the Long Term Behaviour of Three Different Landfills in the UK and in Greece" Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre, 4-8 October, Cagliari, Italy

Kotze, J.P., Thiel, P.G. and Hattingh, W.H.J., (1969) "Anaerobic Digestion II. The Characterization and Control of Anaerobic Digestion", Water Research, Vol.(3):(459):(494)

Koyuncu, İ., Topacık, D, (1999), "Sızıntı Sularının Membran Teknolojisi İle Arıtımı" Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, Ed. Öztürk, İ., Demir, A.ve Alp, K., 17-19 Şubat 1999, İstanbul

Kuajara, O., Sanchez, J.C.D., Ballestrin, R.A. and Teixeira, E.C., (1997), "Environmental monitoring of the North Porto Alegre Landfill, Brazil", Water Environment Research, No. 6 (69):(1170):(1177).

Küçükgül, O., (1999), "Katı Atık Düzenli Depolama Sahaları Sızıntı Suyu Özelliklerinin Değişimini İfade Eden Bir Matematiksel Model" İTÜ Fen Bilimleri Ens., Doktora tezi

Landsurveyor 2 Handbook, Instruction Manual, Gas Measurement İnş. Ltd. ,(1996) Scotland

Lin, C.Y., (1991), "Anaerobic-Digestion of Landfill Leachate", Water SA, No:4, (17):(301):(306).

Lisk, D.J., (1991), "Environmental Effects of Landfills", The Science of the Total Environment, (100):(415):(468).

McBean E. A., Rovers F. A. and Farquhar G. J., (1995) "Solid Waste Landfill Engineering and Design" Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA.

MİMKO, (1995), "Odayeri Sıhhi Depolama Alanı Atıksu Arıtma Tesisi Avan Projesi" İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme San ve Tic Aş, İstanbul

Muslu, Y., (1993)" Hidroloji ve Meskun Bölge Drenajı" İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü

Mutasem El-Fadel, Angelos N Findikakis, James O Leckie, (1997), "Environmental impacts of solid waste Landfilling" Journal of Environmental Management (50):(1):(25)

Nick C. Blakey WRc plc, Henley Road, Medmenham, Marlow, Bucks UK, (1998) "Model Prediction of Landfill Leachate Volume" Proceedings of the International Training Seminar on Management and Treatment of MSW Landfill Leachate, CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre, 2-4 December 1998, Cagliari, Italy

Öztürk, İ, (1999), "Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları" İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Öztürk, İ, Demir, A., Demir,İ., Arıkan, O.A., (1997) "İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı İstanbul Evsel Katı Atıklarında Havasız Ortamda Kompostlaşabilirlik ve Biyoenerji Geri Kazanımı ile Mevcut Düzenli Depo Alanları Sızıntı Suyu Arıtımı Araştırma Projesi", İstanbul

Pohland, F.G., Harper,S.B. and Roeder M.L., (1992) "Biological Waste Treatment In A Global Perspective Proceedings Of 1 st Int Control On Biological Waste Treatment" Biowaste 92, Herring. Denmark

Quasim, S.R., (1994), "Sanitary Landfill Leachate: Generation, Control and Treatment" Technomic Publishing Company, USA

R. Cossu, Favaretti, Nobile M and Andrea (1998) "Hydraulic Properties and Behaviour of Landfilled waste" Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre, 4-8 October, Cagliari, Italy

R. Lee Peyton and Paul R. Schroeder, Members, ASCE, (1988), "Field Verification of HELP model for Landfills" Journal of Environmental Engineering, (114):(247), April

Radehaus, P.M., (1998), "Microbiologically Mediated Reactions in Aquatic Systems", In: Macalady D. L. Ed., Perspectives in Environmental Chemistry, Oxford University Press, Inc: New York.

Robert J. Murphy and Eric Garwell., (1998) "Infiltration Rates Through Landfill Liner" Project Report, State University System of Florida

Robinson, H.D. and Maris, P.J., (1985), "The Treatment of Leachates From Domestic Waste In Landfill Sites" J Water Pollution Control Fed.(57):(30)

S. Eric, (1995) "Microbiology Of Landfill Sites" Ph.D., Waste-Tech Professor of Waste Tehnology International Centre For Waste Technology (Africa), University Of Natal Pietermaritzburg Of South Africa.

Samuel T.S. Yuen, (1999) " Bioreactor Landfills Promoted by Leachate Recirculation: A full scale study, March,1999 Universty of Melbourne PhD Thesis

Samuel T.S. Yuen, QJ Wang, JR Styles, TA McMahan , (1997), "The Role Of Water In Landfills: A Full-Scale Hydrological Study" Dept of Civil & Environmental Engineering Uni of Melbourne, AWWA 17th Federal Convention-Water in the balance March

Schroeder, P.R., McEnroe, B.M., Peyton, R.L. and Sjostrom, J.W., (1988), " The Hydrological Evaluation Landfill Performance (HELP) Model" US Envr. Prrotection Agency, Washington

Speece, R.E., (1996), "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters", Archae Press, Nashville, Tennessee, USA, sh 40.

Stegmann, R., Spendlin, H.H., (1986), "Research Activities On Enhancement Of Biochemical Processes In Sanitary Landfill", Water Pollut. Res. J. Can., No 4, (21):(572):(591).

Steyer, E., Hiligsmann, S., Radu, J.P., Charlier, R., Destain, J., Drion, R. and Thonart, P., (1999), "A Biological Pluridisciplinary Model to Predict Municipal Landfill Lifa", Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre, 4-8 October, Cagliari, Italy

Thomas H. Christensen, Raffaello Cossu ,(1998), "Basic Proses In Landfill" Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre, 4-8 October, Cagliari, Italy

TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, (1995) "Katı Atık Yönetimi", Ankara

EKLER

- Ek 1 Odayeri Düzendi Depo Sahası gaz ölçüm sonuçları
- Ek 2 Odayeri Düzendi Depo Sahası geri devir öncesi ve sonrası topografik ölçümler
- Ek 3 KADDS.BAS programı
- Ek 4 KADDS.BAS programı çıkış dataları



EK 1 Odayeri Düzenli Depo Sahası gaz ölçüm sonuçları

	BACA NO	GAZ DEBİSİ(m ³ /gün)	CH ₄ (%)	H ₂ S(ppm)	O ₂
13.Tem					
	FB1		47		0,2
	FB2		48		0,1
	FB3				
	B1		45		0,2
	B2		42		0,2
	B3		46		0,1
14.Tem					
	FB1		48		0,1
	FB2		46		0,2
	FB3				
	B1		45		0,2
	B2		47		0,2
	B3		42		0,2
17.Tem					
	FB1		49		0,1
	FB2		48		0,1
	FB3				
	B1		46		0,2
	B2		48		0,2
	B3		45		0,2
18.Tem					
	FB1		48		0,2
	FB2		47		0,2
	FB3				
	B1		46		0,2
	B2		47		0,2
	B3		46		0,2
19.Tem					
	FB1		49		0,1
	FB2		48		0,2
	FB3				
	B1		46		0,2
	B2		45		0,1
	B3		46		0,2
20.Tem					
saat:11:30	FB1		48	182	0,2
	FB2		46	170	0,2
	FB3				
	B1		50	123	0,2
	B2		40	56	
	B3		42	98	
21.Tem					
saat:10:30	FB1		49	165	0,2
	FB2		47	159	0,2
	FB3				
	B1		33	48	
	B2		43	55	
	B3		41	92	

	BACA NO	GAZ DEBİSİ(m ³ /gün)	CH ₄ (%)	H ₂ S(ppm)	O ₂
24.Tem		GERİ DEVİR BAŞLANGIÇ			
saat:10:40	FB1		48	163	0,2
	FB2		52	126	0,2
	FB3				
	B1		47	50	0,2
	B2		49	85	0,1
	B3		46	144	0,2
25.Tem					
saat:9:30	FB1		48		0,2
	FB2		47	165	0,1
	FB3				
	B1		52	95	0,2
	B2		50	146	0,3
	B3		45	130	
26.Tem					
saat:9:50	FB1		48		0,2
	FB2		47	192	0,1
	FB3				
	B1		46	120	0,1
	B2		45		0,1
	B3		45	95	0,2
27.Tem					
saat:11:15	FB1		49		0,2
	FB2		48	192	0,2
	FB3				
	B1		50	100	0,1
	B2		50	92	0,2
	B4		48	27	0,1
28.Tem					
saat:9:50	FB1		51		0
	FB2		51	164	0,1
	FB3				
	B1		54	69	0,1
	B2		51	146	0,1
	B3		49		0,2
31.Tem					
saat:9:50	FB1		49		0
	FB2		46	164	0,1
	FB3				
	B1		47	69	0,1
	B2		46	146	0,1
	B3		45		0,2
01.Agu					
saat:10:00	FB1		50	0,1	
	FB2		48	0,1	
	FB3				
	B1		51	0,2	
	B2			0,1	
	B3		49	0,3	

	BACA NO	GAZ DEBİSİ(m ³ /gün)	CH ₄ (%)	H ₂ S(ppm)	O ₂
02.Ağu					
saat:10:30	FB1		48	0,1	
	FB2		46	0,2	
	FB3				
	B1		51	0,2	
	B2		49	0,3	
	B3		49	0,2	
03.Ağu					
saat:9:45	FB1		49	0,2	
	FB2		48	0,2	
	FB3				
	B1		49	0,2	
	B2		48	0,3	
	B3		47	0,2	
04.Ağu					
10:15	FB1		46	0,2	
	FB2		47	0,3	
	FB3				
	B1		49	0,3	
	B2		46	0,2	
	B3		45	0,2	
07.Ağu					
10:15	FB1		47	0,1	
	FB2		45	0,3	
	FB3			0,2	
	B1		48	0,5	
	B2		46	0,2	
	B3		47	1	
08.Ağu		gaz ölçümlerine başlandı			
10:30	FB1	1055	47	0,2	
	FB2	2226	47	0,2	
	FB3				
	B1		52	0,2	
	B2				
	B3				
09.Ağu					
saat:10:00	FB1	1449			
	FB2	3166			
	FB3				
	B1				
	B2				
	B3				
10.Ağu					
saat:10:30	FB1	1796	47		0,2
	FB2	3697	47	145	0,2
	FB3				
	B1		52	24	0,2
	B2		49	84	0,1
	B3		49		0,2

	BACA NO	GAZ DEBİSİ(m ³ /gün)	CH ₄ (%)	H ₂ S(ppm)	O ₂
14.Ağu					
	FB1	3297			
	FB2	6190			
	FB3				
	B1		52		
	B2		50		
	B3		47		
15.Ağu					
	FB1	3648	47		0,2
	FB2	6745			
	FB3				
	B1				
	B2		50	91	0,1
	B3				
16.Ağu					
	FB1	3952	47		0,1
	FB2	6548	46		0,2
	FB3				
	B1		53		0,2
	B2		51		0,1
	B3		48		0,2
17.Ağu					
	FB1	4289	47		0,2
	FB2	8081			
	FB3				
	B1				
	B2		50	105	0,2
	B3				
18.Ağu					
	FB1	4618	47		0,2
	FB2	8772			
	FB3				
	B1				
	B2		51	131	0,1
	B3				
21.Ağu					
	FB1	5663			
	FB2	10362			
	FB3				
	B1				
	B2				
	B3				
22.Ağu					
	FB1	6052			
	FB2	10750			
	FB3				
	B1				
	B2				
	B3				

	BACA NO	GAZ DEBİSİ(m ³ /gün)	CH ₄ (%)	H ₂ S(ppm)	O ₂
23.Ağu					
	FB1	6052			
	FB2	10775			
	FB3				
	B1				
	B2		51	92	0,1
	B3				
24.Ağu					
	FB1	6562	48	0,2	
	FB2	12286			
	FB3				
	B1		48	44	0,2
	B2		48	115	0,1
	B3				
25.Ağu					
	FB1	7241	48		0,1
	FB2	14092	47		0,2
	FB3				
	B1		49		0,1
	B2		48		0,2
	B3				
28.Ağu					
	FB1	8460	48		0,2
	FB2	17139	47		0,2
	FB3				
	B1		50	50	0,1
	B2		48	160	0,1
	B3		48		0,2
29.Ağu					
	FB1	8912	48		0,2
	FB2	17562			
	FB3				
	B1		52		0,1
	B2		50	148	0,2
	B3		48		0,1
31.Ağu					
	FB1	9884	47		0,2
	FB2	18797			
	FB3				
	B1		53		0,1
	B2		50	59	0,1
	B3		48	157	0,2
01.Eyl					
	FB1		48		0,1
	FB2		47		0,2
	FB3				
	B1		53		0,2
	B2		50		0,1
	B3		49		0,1

	BACA NO	GAZ DEBİSİ(m ³ /gün)	CH ₄ (%)	H ₂ S(ppm)	O ₂
04.Eyl					
	FB1				
	FB2				
	FB3				
	B1				
	B2				
	B3				
05.Eyl					
	FB1	13067			
	FB2	20726	47	160	0,2
	FB3				
	B1		48	69	0,2
	B2		47		0,1
	B3				
06.Eyl					
	FB1	13765			
	FB2	21765			
	FB3				
	B1		50	69	0,1
	B2		49		0,1
	B3				
07.Eyl					
	FB1	14548			
	FB2	22888			
	FB3				
	B1		52	82	0
	B2		48		0,1
	B3		47		0,2
08.Eyl					
	FB1	15324			
	FB2	24053	47		0,2
	FB3				
	B1		54	85	0
	B2		50		0,1
	B3		47		0,2
11.Eyl					
	FB1	16975			
	FB2	27284			
	FB3				
	B1		50	67	0,1
	B2		49	183	0,1
	B3		44		0,2
12.Eyl					
	FB1	16975			
	FB2	27284			
	FB3				
	B1		50	67	0,1
	B2		49	183	0,1
	B3		44		0,2

	BACA NO	GAZ DEBİSİ(m ³ /gün)	CH ₄ (%)	H ₂ S(ppm)	O ₂
13.Eyl					
	FB1	17015			
	FB2	29333			
	FB3				
	B1				
	B2				
	B3				
14.Eyl					
	FB1	17016	47		0,1
	FB2	30313	47		0,2
	FB3				
	B1		52	65	0,1
	B2		50		0,1
	B3		48		0,1
18.Eyl					
	FB1	19513			
	FB2	34321	47		0,3
	FB3				
	B1		50	71	0,2
	B2		48		0,1
	B3		47		0,2
19.Eyl					
	FB1	20068	47		0,2
	FB2	35258	47		0,2
	FB3				
	B1		49		0,2
	B2		48		0,1
	B3		47		0,2
20.Eyl					
	FB1	20961	48		0,1
	FB2	36267	47		0,2
	FB3				
	B1		52		0,1
	B2		48		0,1
	B3		47		0,1
21.Eyl					
	FB1	21202			
	FB2	37404			
	FB3				
	B1				
	B2				
	B3				
22.Eyl					
	FB1	22089			
	FB2	38521	47		0,2
	FB3				
	B1		54	73	0,1
	B2		49		0,2
	B3				

	BACA NO	GAZ DEBİSİ(m ³ /gün)	CH ₄ (%)	H ₂ S(ppm)	O ₂
25.Eyl					
	FB1	24749	48		0,1
	FB2	41701	47		0,2
	FB3				
	B1		52		0,1
	B2		48		0,1
	B3		47		0,1
26.Eyl					
	FB1	26099	48		0,2
	FB2	42856	47		0,2
	FB3				
	B1		52		0,1
	B2		49		0,3
	B3		52		0,2
27.Eyl					
	FB1	27113	48		0,2
	FB2	43898	47		0,2
	FB3				
	B1		50		0,1
	B2		49		0,3
	B3		47		0,2
28.Eyl					
	FB1	28380			
	FB2	45102			
	FB3				
	B1		52	53	0,1
	B2		49		0,2
	B3				
29.Eyl					
	FB1	29705	48		0,3
	FB2	46389			
	FB3				
	B1		52	45	0,1
	B2		50	128	0,1
	B3				
02.Eki					
	FB1				
	FB2				
	FB3				
	B1		52	54	0,1
	B2		48		0,1
	B3				
03.Eki					
	FB1	33443			
	FB2	50773			
	FB3				
	B1				
	B2				
	B3				

	BACA NO	GAZ DEBİSİ(m ³ /gün)	CH ₄ (%)	H ₂ S(ppm)	O ₂
05.Eki					
	FB1	35334	48		0,2
	FB2	52776	47		0,2
	FB3				
	B1		52		0,1
	B2		50		0,1
	B3				
06.Eki					
	FB1	36563	47		0,2
	FB2	53734	48		0,2
	FB3				
	B1		46		0,3
	B2		42		0,1
	B3				
09.Eki					
	FB1		48		0,2
	FB2	56567			
	FB3				
	B1		51		0,2
	B2		49		0,1
	B3		48		0,3
10.Eki					
	FB1				
	FB2	57465	47		0,2
	FB3				
	B1		52	63	0,1
	B2		48		0,1
	B3				
11.Eki					
	FB1				
	FB2	58572	47		0,2
	FB3				
	B1		52		0,1
	B2		49		0,1
	B3				
12.Eki					
	FB1				
	FB2	59649	47		0,1
	FB3				
	B1		52	54	0,2
	B2		48		0,2
	B3				
13.Eki					
	FB1				
	FB2	62259	48		0,1
	FB3				
	B1		54		0,2
	B2		49		0,2
	B3				

	BACA NO	GAZ DEBİSİ(m ³ /gün)	CH ₄ (%)	H ₂ S(ppm)	O ₂
16.Eki					
	FB1				
	FB2	63110	48		0,1
	FB3				
	B1		51	61	0,1
	B2		47		0,3
	B3				
17.Eki					
	FB1				
	FB2	64759			
	FB3				
	B1		50		0,1
	B2		48		0,2
	B3				
18.Eki					
	FB1				
	FB2	65965			
	FB3				
	B1		52	51	0,1
	B2		50		0,2
	B3				
19.Eki					
	FB1				
	FB2	67093			
	FB3				
	B1		52	53	0,1
	B2		50		0,2
	B3				
20.Eki					
	FB1				
	FB2	67980			
	FB3				
	B1				
	B2				
	B3				
23.Eki					
	FB1				
	FB2	71145			
	FB3				
	B1		51	53	0,1
	B2		50		0,1
	B3		48		0,2
24.Eki					
	FB1				
	FB2	72055			
	FB3				
	B1		52	65	0,1
	B2		50		0,1
	B3		48		0,2

	BACA NO	GAZ DEBİSİ(m ³ /gün)	CH ₄ (%)	H ₂ S(ppm)	O ₂
25.Eki					
	FB1				
	FB2	73705			
	FB3				
	B1		50		0,2
	B2		49		0,2
	B3				

TC YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

EK 2 Odayeri Düzenli Depo Sahası geri devir öncesi ve sonrası topografik ölçümler

Nokta No	Temmuz			Eylül		
	Y	X	Z	Y	X	Z
1	404137.110	456357.240	115.280	404137.012	4565356.826	115.204
2	404211.700	4565336.450	115.12	404211.376	4565335.897	115.054
3	404235.708	4565327.160	115.025	404235.850	4565327.970	115.250
4	404258.790	4565319.480	117.030	404258.420	4565318.799	116.858
5	404280.850	4565302.180	117.590	404280.436	456301.537	117.395
6	404299.957	4565286.336	118.092	404300.210	4565287.060	118.280
7	404288.330	4565230.270	117.800	404287.847	4565229.402	117.559
8	404284.880	4565205.350	116.330	404284.251	4565204.417	115.921
9	404262.530	4565212.510	116.464	404263.110	4565213.360	116850
10	404286.130	4565257.900	117.860	404285.416	4565257.297	117.717
11	404273.220	4565266.150	117.400	404272.419	4565265.497	117.269
13	404165.680	4565275.942	113.550	404172.350	4565279.790	114.420
15	404249.990	456203.270	115.440	404249.901	4565202.979	115.128
17	404317.052	4565280.963	117.900	404317.370	4565281.710	117.950
18	404304.790	4565299.510	117.770	404304.295	4565298.561	117.713
19	404284.115	4565313.534	115.476	404284.430	4565317.100	115.530
20	404261.155	4565330.845	114.992	404261.700	4565331.840	115.030
21	404242.600	4565338.860	114.290	404242.219	4565338.420	114.229
23	404237.864	4565318.440	114.810	404238.240	4565319.060	114.810
24	404250.547	4565312.326	115.487	404250.850	4565313.050	115.560
25	404282.867	4565196.621	115.275	404283.510	4565197.640	115.600

Ek 3 KADDS.BAS programı

```

*****
DIM NG(50), KAM(50), ET(50), SS(50), YY(50), YYM(50), ROAY(50), DELST(50)
INPUT "BİR ÖNCEKİ NÜFUS SAYIMI" ; NB
INPUT "SON NÜFUS SAYIMI" ; NS
INPUT "SAYIMIN YAPILDIĞI YIL" ; TB
INPUT "SON SAYIMIN YAPILDIĞI YIL" ; TS

FOR I= 1 TO 26
  TG = 1994 + I
  NG (I) = (LOG(NS) + ((LOG (NS)- LOG(NB))/ (TS-TB)
  NG (I) = 10 ^ NG (I)
  PRINT I + 1994; NG(I)
NEXT (I)

*****
KKA1 = 0.22
KKA2 = 0.24
KKA3 = 0.25
BHA = 0.35
INPUT " NİSAN AYI AĞIRLIKLI NEM MUHTEVASI " ; NM
INPUT " EYLÜL AYI AĞIRLIKLI NEM MUHTEVASI " ; EM

FOR K = 1 TO 11
  KAM (K) = KKA1 * NG(K) / BHA
  SS (K) = KAM (K) * ((NM + EM) / 2 - 0.40)
  PRINT K ; KAM(K)
  PRINT (K) ; SS(K)
NEXT K

*****
FOR I= 1 TO 12
  READ AY (I)
NEXT I
DATA
*****

```

```

FOR K = 1 TO 12
READ T (K)
NEXT K
DATA

```

```

*****

```

```

FOR J = 1 TO 12
READ NGU (J)
NEXT J
DATA 31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31

```

```

*****

```

```

FOR I = 1 TO 12
READ NST (I)
NEXT I
DATA

```

```

*****

```

```

FOR I = 2 TO 13
AY (I+1) = AY (I) + AY (I-1)
YY = AY (13)
PRINT I; "AYLIK YAĞIŞ" ; AY(I)
NEXT (I)
KA = 0.6

```

```

*****

```

```

*****
SSMG (I-1) = SSM (I-1) / 365
SSGA (I-1) = SSMG (I-1) / A(I-1)
PRINT I; "YILLIK YAĞIŞLAR=" ; YYM (I-1)
PRINT I; "YILLIK YÜZEYSEL AKIŞ=" ; ROY (I-1)
PRINT I; "ABSORBSİYON=" ; DELST (I-1)
PRINT I; "SIZINTI SUYU MİKTARI=" ; SSM(I-1)
PRINT I; "GÜNLÜK SIZINTI SUYU=" ; SSMG(I-1)
PRINT I; "PERKOLASYON=" ; PERC(I-1)
NEXT (I)

```

Ek 4 KADDS.BAS programı çıkış dataları

Yıllar	Yağış	Yüzeysel akış	Buharlaşma	Absorbsiyon	Perkolasyon(Süzülme)
1	68,94	41,37	4,91	7,99	22,67
2	137,89	82,73	9,82	30,97	45,34
3	206,83	124,10	14,73	68,96	68,00
4	275,77	165,46	19,64	121,94	90,67
5	344,72	206,83	24,55	189,93	113,34
6	413,66	248,20	29,46	272,92	136,01
7	482,60	289,56	34,37	370,90	158,68
8	551,55	330,93	39,28	483,89	181,34
9	620,41	372,29	44,19	611,87	204,01
10	689,43	13,66	49,10	754,86	226,68
11	758,38	455,03	54,00	912,85	249,35
12	827,32	496,39	58,91	1085,83	272,01
13	896,26	537,76	63,82	1273,82	294,68
14	965,21	579,12	68,73	1476,80	317,35
15	1034,15	620,49	73,64	1694,79	340,02
16	1103,09	661,86	78,55	1927,78	362,69
17	1172,04	703,22	83,46	2175,76	385,35
18	1240,98	744,59	88,37	2438,75	408,02
19	1309,93	785,95	93,28	2716,73	430,69
20	1378,87	827,32	98,19	3009,72	453,36
21	1447,81	868,69	103,10	3317,71	476,03
22	1516,76	910,05	108,01	3640,69	498,69
23	1585,70	951,42	112,92	3978,68	521,36
24	1654,64	992,78	117,83	4331,67	544,03
25	1722,59	1034,15	122,74	4699,65	566,70
26	1722,59	1034,15	122,74	61,35	504,34
27	1722,59	1034,15	122,74	61,35	504,34
28	1722,59	1034,15	122,74	61,35	504,34
29	1722,59	1034,15	122,74	61,35	504,34
30	1722,59	1034,15	122,74	61,35	504,34

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 02.03.1976

Doğum yeri Elazığ

Lise 1990-1993

Elazığ Mehmet Akif Ersoy Lisesi

Lisans 1994-1998

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fak.
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1999-2001

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı kurum

1999-Devam ediyor

YTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü
Araştırma Görevlisi