

KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALARI SIZINTI SUYU
ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİNİ İFADE EDEN BİR MATEMATİKSEL
MODEL

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Orhan KÜÇÜKGÜL

0188D023

100741

100741

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Eylül 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Nisan 1999

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Lütfi AKÇA

Diğer Juri Üyeleri Prof.Dr. Derin ORHON (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. İzzet ÖZTÜRK (İ.T.Ü.)

Doç.Dr. Talha GÖNÜLLÜ (Y.T.Ü.)

Doç.Dr. Ferhan ÇEÇEN (B.Ü.)

NİSAN 1999

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı yöneten ve tezin hazırlanması süresince her safhasında yakın ilgilerini gördüğüm hocam sayın Doç. Dr. Lütfi AKÇA' ya teşekkürlerimi sunarım.

Değerli fikirlerinden faydalandığım hocalarım Prof. Dr. Dinçer TOPACIK'a, Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK'e, Doç. Dr. Talha GÖNÜLLÜ'ye, Prof. Dr. Derin ORHON'a, Doç. Dr. Ferhan ÇEÇEN'e, Prof. Dr. Turgut ÖZİŞ'e, katkı ve yardımlarından dolayı Arş.Gör. Kemal ALTIPARMAK'a, Çevre Mühendisi Emel AYAZ'a, teşviklerinden, ilgilerinden ve gösterdikleri sonsuz sabırdan dolayı aileme, eşime ve oğlum Egemen'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmayı yürütebilmem için bana her türlü desteği sağlayan İzmir Büyükşehir Belediyesi'ne ve yardımlarından dolayı Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi personeline teşekkür ederim.

Nisan 1999

Orhan KÜÇÜKGÜL

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	V
ŞEKİL LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ	X
ÖZET	XII
SUMMARY	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel	1
1.2 Amaç ve Kapsam	2
2. KATI ATIKLARIN DÜZENLİ DEPOLAMA İLE GİDERİMİ	4
2.1. Düzenli Depolama	4
2.2. Katı Atıkların Depo Alanında Stabilizasyonu	7
2.3. Depo Alanı Stabilizasyonu Fazları	7
2.4. Stabilizasyon Fazlarını Belirleyici Parametreler	11
3. SIZINTI SUYU OLUŞUMU VE ÖZELLİKLERİ	16
3.1. Sızıntı Suyu Özellikleri	16
3.2. Sızıntı Suyunun Özelliklerini Etkileyen Faktörler	23
3.2.1. Atığın İçeriği	23
3.2.2. Atığın İşlenmesi	24
3.2.3. Depo Alanı İşletme Şeklinin Etkileri	25
3.2.4. Depo Alanının Yaşı	26
3.2.5. Fiziksel ve Kimyasal Reaksiyonlar	26
3.2.6. Sıcaklık	27
3.3. Sızıntı Suyu Oluşumu ve Depo Alanı Hidrolojisi	27
3.3.1. Sızıntı Suyu Oluşumu Miktarını Etkileyen Faktörler	27
3.3.2. Depo Alanı Hidrolojisi	29
4. SIZINTI SUYU MODELLEME ÇALIŞMALARI	39
4.1. Genel	39
4.2. Fiziksel Modelleme Çalışmaları	39
4.3. Matematik Modelleme Çalışmaları	51
5. MATEMATİK MODELLEME	61
5.1. Modelleme Yaklaşımı	61
5.2. Matematiksel Modellerin Geliştirilmesi	62
5.2.1. Sızıntı Suyunda Bulunan İnorganik Bileşenlerin Değişimi İçin Matematiksel Model	63
5.2.2. Sızıntı Suyunda Bulunan Organik Bileşenlerin Değişimi İçin Matematik Model	68
5.2.3. Sızıntı Suyu İçindeki Ağır Metallerin Değişimi ile İlgili Matematiksel Model	70

6. UYGULAMA ALANININ TANITIMI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	72
6.1. Uygulama Alanının Tanıtımı	72
6.2. Deneysel Çalışmalar	79
6.2.1. Depo Alanının Hazırlanması	79
6.2.2. Debi Ölçümü ve Debi Değişimi	81
6.2.3. Sızıntı Suyu Analizleri	85
7. GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELİN UYGULANMASI VE DENEY SONUÇLAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI	95
7.1. Genel	95
7.2. Geliştirilen Matematiksel Modellere Ait Parametrelerin Belirlenmesi	95
7.3. Kütle Transferi Hızının Belirlenmesi	97
7.4. Biyolojik Bozunma Kinetik Parametrelerinin Belirlenmesi	98
7.5. Geliştirilen Matematik Modellerin Uygulanması ve Deneysel Çalışmalarla Karşılaştırılması	99
7.5.1. İnorganik Bileşiklerin Değişimi ile İlgili Geliştirilen Matematiksel Modelin Uygulanması ve Deneysel Çalışmalarla Karşılaştırılması	99
7.5.2. Organik Bileşiklerin Değişimi ile İlgili Geliştirilen Matematiksel Modelin Uygulanması ve Deneysel Çalışmalarla Karşılaştırılması	100
7.5.3. Ağır Metallerin Değişimi ile İlgili Geliştirilen Matematiksel Modelin Uygulanması ve Deneysel Çalışmalarla Karşılaştırılması	113
7.6. İstatistiksel Değerlendirme	117
7.7. Hassasiyet Analizleri	118
7.8. Modelin Gerçeklenmesi	118
8. SONUÇLAR	128
KAYNAKLAR	131
EKLER	139
ÖZGEÇMİŞ	158

TABLÖLAR

No	Sayfa
Tablo 2-1 Çeşitli illerimize ait katı atık kompozisyonları	5
Tablo 2-2 Çeşitli ülkelere ait katı atık kompozisyonları	6
Tablo 3-1 Katı atık depo alanından çıkan sızıntı suyunun içerdiği parametreler	17
Tablo 3-2 Michigan katı atık depo alanındaki iki kısımdan alınan sızıntı suyu örneklerinin içeriği	18
Tablo 3-3 Bursa B.B. depo alanından kaynaklanan sızıntı suyu değerleri	18
Tablo 3-4 İstanbul Avrupa yakası depo alanı sızıntı suyu analizleri	19
Tablo 3-5 İstanbul Asya yakası depo alanı sızıntı suyu analizleri	20
Tablo 3-6 Asit ve metan faz aşamalarında konsantrasyonları değişen parametrelerin ortalama değerleri	21
Tablo 3-7 Farklı topografya, toprak ve yüzey örtüsüne sahip drenaj alanları için yüzeysel akış katsayılarının karşılaştırılması.....	33
Tablo 4-1 Lizimetreye konulan çöp ve kimyasal miktarları.....	44
Tablo 4-2 Lizimetrelerin toplam yüksekliği ve atık derinlikleri.....	46
Tablo 6-1 Basıncsız su deneyi sonucu	78
Tablo 6-2 Basıncılı su deneyi sonucu	78
Tablo 6-3 Toprak örnekleri deney sonuçları.....	78
Tablo 6-4 Katı atık örnekleri içinde belirlenen maddeler ve ağırlıkça yüzdeleri	81
Tablo 7-1 Kullanılan deney sahasının özellikleri	96
Tablo 7-2 Ölçülen parametrelere ait hesaplanan değerler	98
Tablo 7-3 Organik asitler için ölçülmüş ve sızıntı suyu için verilmiş anaerobik ayrışma kinetik parametreleri	98

Tablo 7-4 Matematik modelde kullanılan anaerobik ayrışma kinetik parametreleri.....	99
Tablo 7-5 Ağır metaller için hesaplanan sabit parametreler	113
Tablo 7-6 Korelasyon derecesi aralıkları ve anlamları.....	117
Tablo 7-7 Teorik değerler ile parametreler için hesaplanarak bulunan Değerlerin karşılaştırılması.....	117
Tablo 7-8 Hassasiyet analizi için kullanılan parametreler ve uygulanan değerler.....	118
Tablo 7-9 Bursa Büyükşehir Belediyesi depo sahasından kaynaklanan sızıntı suyu değerleri.....	125
Tablo 7-10 Bursa Belediyesine ait depolama sahası özellikleri.....	125
Tablo 7-11 Matematik model içinde kullanılmak için kabul edilen ve hesaplanarak bulunan değerler.....	126
Tablo 7-12 Bursa depo sahasına ait, depo kapatıldıktan hemen sonra yaklaşık 420 gün süre ile ölçülen değerler.....	126
Tablo A.1 Sızıntı suyu kirleticisi özelliklerindeki değişimlerin tespiti için yapılan deneysel çalışmaların sonuçları	140
Tablo B.1 Çiğli Askeri Meydan Meteoroloji Müdürlüğünden alınan deney dönemine ait yağış ve buharlaşma verileri	142
Tablo C.1 Geliştirilen matematik modeller ile hesaplanan sonuçlar	146

ŞEKİLLER

No	Sayfa
Şekil 2-1 Katı atık üretimi	4
Şekil 2-2 Stabilizasyon fazları ve belirleyici parametrelerdeki değişimler	13
Şekil 2-3 Bozunma reaksiyonları ve bunların sonucunda oluşan fazların besin ve bakteriyel gurupları	14
Şekil 3-1 Laboratuvar ölçekli çalışmaların sonucunda asetik fazın ilk yüz günü ve metan faz	22
Şekil 3-2 Tamamlanmamış depo alanındaki su dengesi	31
Şekil 4-1 Sızıntı suyundaki KOİ'nin zamana göre değişimi.....	45
Şekil 4-2 Sızıntı suyundaki KOİ'nin zamana göre değişimi.....	49
Şekil 4-3 Her bir lizimetredeki KOİ'nin zamana göre değişimi.....	50
Şekil 5-1 Tekli reaktör	63
Şekil 6-1 Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinin Genel Görünüşü	73
Şekil 6-2 Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinin ve Çalışma Sahasının Haritası Görünüşü	75
Şekil 6-3 Bölgenin kesiti.....	76
Şekil 6-4 Zemin sondajı kuyu kütüğü	77
Şekil 6-5 Depo sahasının hazırlanışı	79
Şekil 6-6 Katı atıkların depolanması	80
Şekil 6-7 Katı atıkların üzerinin killi toprak ile örtülmesi	80
Şekil 6-8 Sızıntı suyu toplama havuzu	82
Şekil 6-9 Yapılan ölçümler sonucu çıkan debi grafiği	86
Şekil 6-10 İnfiltrasyon sonrası katı atık su içeriğindeki değişimler	87
Şekil 6-11 (a) AKM konsantrasyonunun deneysel verilerinin zamanla değişimi grafiği	88
Şekil 6-11 (b) Sülfat konsantrasyonunun deneysel verilerinin zamanla değişimi grafiği	89

Şekil 6-11 (c) KOİ konsantrasyonunun deneysel verilerinin zamanla değişimi grafiği	90
Şekil 6-11 (d) Nikel konsantrasyonunun deneysel verilerinin zamanla değişimi grafiği	91
Şekil 6-11 (e) Kurşun konsantrasyonunun deneysel verilerinin zamanla değişimi grafiği	92
Şekil 6-11 (f) Kadmiyum konsantrasyonunun deneysel verilerinin zamanla değişimi grafiği	93
Şekil 6-11 (g) pH konsantrasyonunun deneysel verilerinin zamanla değişimi grafiği	94
Şekil 7-1 AKM konsantrasyonlarının tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin değişken R, hali için uygulaması	101
Şekil 7-2 AKM konsantrasyonlarının tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin sabit R, hali için uygulaması	102
Şekil 7-3 AKM konsantrasyonlarının Straub ve Lynch tarafından geliştirilen matematiksel modelin değişken R, hali için uygulaması	103
Şekil 7-4 Sülfat konsantrasyonlarının tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin değişken R, hali için uygulaması	104
Şekil 7-5 Sülfat konsantrasyonlarının tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin sabit R, hali için uygulaması	105
Şekil 7-6 Sülfat konsantrasyonlarının Straub ve Lynch tarafından geliştirilen matematiksel modelin değişken R, hali için uygulaması	106
Şekil 7-7 AKM konsantrasyonunun modelin analitik çözümü için uygulaması	107
Şekil 7-8 Sülfat konsantrasyonunun modelin analitik çözümü için uygulaması	108
Şekil 7-9 KOİ konsantrasyonlarının tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin değişken R, hali için uygulaması	109
Şekil 7-10 KOİ konsantrasyonunun tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin sabit R, hali için uygulanması	110
Şekil 7-11 KOİ konsantrasyonunun Straub- Lynch tarafından geliştirilmiş matematiksel modelin değişken R, hali için uygulanması.....	111

Şekil 7-12	KOİ konsantrasyonunun modelin analitik çözümü için uygulaması	112
Şekil 7-13	Nikel konsantrasyonlarının tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin sabit R, hali için uygulaması	114
Şekil 7-14	Kurşun konsantrasyonlarının tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin sabit R, hali için uygulaması	115
Şekil 7-15	Kadmiyum konsantrasyonlarının tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin sabit R, hali için uygulaması	116
Şekil 7-16	Sülfat parametresi üzerinde (k) kütle transferi hız katsayısına ait hassasiyet analizi	119
Şekil 7-17	KOİ parametresi üzerinde (k) kütle transferi hız katsayısına ait hassasiyet analizi	120
Şekil 7-18	Sülfat parametresi üzerinde Cmax'a ait hassasiyet analizi.....	121
Şekil 7-19	KOİ parametresi üzerinde Cmax'a ait hassasiyet analizi.....	122
Şekil 7-20	Sülfat parametresi üzerinde Co'a ait hassasiyet analizi.....	123
Şekil 7-21	KOİ parametresi üzerinde Co'a ait hassasiyet analizi.....	124
Şekil 7-22	KOİ değerleri için, geliştirilen matematik model ile Bursa depo sahası verilerinin karşılaştırılması.....	127

SEMBOLLER

P	: Yağış (L/T)
J	: Sızıntı suyu geri dönüşümü veya göçü
R	: Yüzeysel akış (L/T)
R*	: Dış araziden gelen akış (L/T)
ET	: Asıl direk buharlaşma (L/T)
Us	: Topraktaki su içeriğı (L/L)
Uw	: Çöpün su içeriğı (L/L)
S	: Atık çamurlarla gelen su
Is	: Doğal ortamdan gelen su (L ³)
Ig	: Doğal ortamdan gelen su (L ³)
L	: Toplam sızıntı suyu oluşumu
L1	: Doğal su kaynaklarına giden infiltrasyon
LR	: Toplama kanallarında toplanan sızıntı suyu
E	: Buharlaşma (L/T)
R	: Akış (L/T)
P	: Yağış (L/T)
c	: Deneysel sabit
fp	: İnfiltrasyon kapasitesi (L/T)
fc	: Sabit orandaki infiltrasyon kapasitesi (L/T)
fo	: Yağışın başladığı andaki maksimum yağış değeri (L/T)
t	: Yağmurun başladığı andan itibaren geçen zaman (T)
k	: Toprağın cinsine bağılı bir sabit
Q	: Direk akış (L/T)
P	: Toplam yağış (L/T)
S	: Maksimum nem tutabilme kapasitesi (L3)
K _B	: Toprağın geçirgenliğı (L/T)
S	: Akımın olduğu alan kısmı (L ²)
i	: Hidrolik eğim (%)
Q	: Kademe içindeki sızıntı suyu debisi (L ³)
C	: Karbon (M/L3)
t	: Zaman

a, b	: Sabit değerler
Co	: Başlangıçtaki konsantrasyon (M/L^3)
B	: ampirik bir sabit ($1/T$)
Ct	: t anındaki kirletici konsantrasyonu (M/L^3)
R	: Kirletici maddelerin katı atıktan suya geçiş hızı ($M/L^3/T$)
R'	: Substrat kullanım hızı ($M/L^3/T$)
R''	: Mikroorganizma çoğalma hızı ($M/L^3/T$)
Q	: Hacimsel rutubet muhtevası (L^3 / L^3)
D(Q)	: Toprak nemi difüzyon katsayısı (L^2 / T)
K(Q)	: Doymamış tabakada hidrolik iletkenlik (L / T)
x, z	: Yanal ve dikey mesafeler (L)
Ks	: Katı atığın doymuş haldeki hidrolik iletkenliği (L / T)
h	: Tabandaki kil üzerinde bulunan sızıntı suyu yüksekliği (L)
Kc	: Tabandaki kilin doymuş hidrolik iletkenliği (L / T)
d	: Tabandaki kilin kalınlığı (L)
ne	: Katı atıkların gözenekliliği
Ni	: Sızıntı suyu seviyesindeki gelişim (L / T)
R(t)	: Katıdan sıvıya geçen değişken kirlilik üretim hızı
S(t)	: t anındaki sızabilir kirletici kütlesi (M)
S _o	: Sızma başlamadan katı atık kütlesindeki sızabilir madde miktarı (M)
k	: Kütle transferi hız katsayısı ($1/T$)
C _{max}	: Sızıntı suyundaki en yüksek konsantrasyon (M/L^3)
C*	: Kararlı hal kirletici konsantrasyonu (M/L^3)
T	: Katı atık kütlesi içine giren suyun depoyu terk etme süresi (T)
h	: Çöp yüksekliği (L)
X	: Hücre konsantrasyonu (M/L^3)
μ_{max}	: Maksimum substrat kullanma hızı ($1/T$)
Ks	: μ_{max} 'ın yarasına karşılık gelen substrat konsantrasyonu (M/L^3)
Y	: Hücre çoğalma verim katsayısı (M/M)
k _d	: Hücre içsel solunum hızı ($1/T$)
A, B	: Ağır metallerin gösterdiği değişime göre belirlenen katsayılar
H ₂ / H ₁	: Büyük depo ile küçük deponun depo yükseklikleri oranı
T ₂ / T ₁	: Büyük depo ile küçük depo sızıntı suyu debisi değişim süresi oranı
M ₂ / M ₁	: Büyük depo ile küçük depo katı atık kütlelerinin oranı
$\Sigma Q_2 / \Sigma Q_1$	: Büyük depo ile küçük depo kümülatif toplam debi oranı

KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALARI SIZINTI SUYU ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİNİ İFADE EDEN BİR MATEMATİKSEL MODEL

ÖZET

Katı atıkların giderilmesi günümüzün en büyük çevre problemlerinden biridir. Katı atıkların oluşumu hammaddenin çıkartılması ile başlamakta ve üretime dönüştürme işlemlerinin her adımında meydana gelmektedir.

Katı atıkların giderilmesinde, günümüzde en çok kullanılan ve kısmen de olsa kullanılması zorunlu olan metod düzenli depolama metodudur. Düzenli depolama sahaları uzun vadede, çöpün bileşimi, mevsimsel değişim, işletim özellikleri, yöntemleri gibi pek çok olaydan etkilenmektedir. Bu etkilenme sonucu depolama alanı, çeşitli fazlardan oluşan stabilizasyona uğramaktadır. Bu fazların oluşumu ya da tamamlanma sürelerinin tahmininde, rutubet miktarı, organik madde oranı, nütrient kullanımı, inhibitörler ve alana özel daha pek çok faktörler etkin olmaktadır.

Depolama sırasında, gerek çeşitli kaynaklardan gerekse atığın içinde bulunan sular çözünmüş veya süspanse formda oldukça konsantre fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirlenici parametrelerle yüklü çöp sızıntı suyu olarak adlandırılan sular meydana gelmektedir. Bu sıvı, çözünemeyen veya çözünemeyen bileşiklerin çöplerden süzülmesi ve çöpte oluşan indirgenmelerle oluşur.

Düzenli depolama sahalarından kaynaklanan sızıntı sularının, miktarını ve karakterini belirlemek oldukça zordur. Sızıntı suyu miktarını etkileyen başlıca faktörler olarak, atığın bileşimi, depo alanının işletilme şekli, mevsimsel değişim, atığın nem tutma kapasitesi ve depo alanı özellikleri sayılabilir. Oluşan sızıntı suyunun miktarı ve niteliği öncelikle içinde mevcut olan nem içeriğine bağlıdır. Gelişmekte olan ülkelerde özellikle yaz aylarında bu nem oranı %60-80 mertebelerinde bulunmaktadır. Sızıntı suyu yapısını etkileyen faktörler ise atığın bileşimi, atığın işlenmesi, depo alanının yaşı, fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar ve sıcaklık yazılabilir.

Sızıntı suyunun içeriğinin tanımlanması, giderilmesi, taşınımı ve miktarının belirlenmesi üzerine matematiksel modelleme çalışmaları yapılmıştır. Sızıntı suyu üzerinde yapılan fiziksel, mikrobiyal ve kimyasal reaksiyonlara ait deneysel modelleme çalışmaları sonucunda genel olarak, sızıntı suyu oluşumunun geciktiği, ancak depodaki katı atıklar suya doyduktan sonra sızıntı olayının gözüktüğü, bundan sonra da depoya giren su ile çıkan su miktarının hemen hemen eşit olduğu tespit edilmiştir. Sızıntı sularında bulunan organik ve inorganik kirlenicilerin depo yaşı ile giderek azaldıkları, sızmanın başlangıcında pik yaptığı, mevsimlik yağış farklılıklarının konsantrasyonlarda değişikliğe sebep olduğu ve depo yüksekliği ile konsantrasyon değişiminin arttığı tespit edilmiştir.

Sızıntı suyu modellemesi katı fazdan sıvı faza geçişteki kütle değişimi ve kirlenici bozunmalarını anlama konusunda yardımcı olur. Modelden çıkan sonuçların, deneysel ölçümleri ile bir paralellik göstermesi gereklidir. Sızıntı suyu oluşumu ve transferinin matematiksel olarak asimilasyonunun yapılması oldukça yakın zamandaki çalışmalarla olmuştur.

Katı atıklarda mevcut olan inorganik ve organik kirlenicilerin farklı davranışta bulunacakları ve ayrıca, reaktör içinden geçen suya gerek çözünme ve gerekse taşıma yolu ile geçişlerinde farklı olacağı bilinmektedir. Örneğin; organik maddeler, inorganik maddelerden farklı olarak , mikrobiyolojik aktivitelerin etkisinde kalabilmektedir. Çözünürlükleri az olan ve su ile sürüklenebilecek forma dönüşmeleri zaman alan katı atık bileşenlerinin , belli bir hızla veya zamanla değişen bir hızla, depodan geçen suya geçecekleri kabul edilebilir.

Geçmişte yapılan tüm modelleme çalışmalarından elde edilen sonuçlar doğrultusunda, ülkemizde kurulabilecek katı atık düzenli depolama sahalarının dizaynına da yardımcı olacağı düşüncesi ve ayrıca ülkemiz yaşam koşulları sonucunda oluşan katı atıkların düzenli depolanması ile kaynaklanan sızıntı sularının karakterizasyonunun zamanla ne şekilde değiştiğinin, özellikle doğal koşullarda gerçek bir deponi sahasında ve fazla miktarda katı atık ile çalışılarak, bilinmesi açısından tarafımızdan bu modelleme çalışması yapılmıştır.

Yapılan modelleme çalışmasında deney düzeneği Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Sahası'nda kurulmuştur ve sadece evsel nitelikli katı atıklar alınmıştır. Haziran ve Temmuz ayları dönemine ait yaz katı atığının depolandığı alanda, depolama işlemi tamamlandıktan sonra, çöpün üzeri killi toprak ile sıkıştırılarak örtülmüştür. Bu arada sahaya dökülen çöplerin bileşiminin belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bunun için değişik semtlerden farklı saatlerde gelen araçlardan çöp ayırımı ve elek analizleri yapılmıştır. Elek analizinden geçen örnekler, aynı gün içinde su içeriği ve organik madde muhtevası açısından analiz edilmiştir.

Öncelikle depolama sahasından kaynaklanan sızıntı suyu miktarının belirlenmesi amacıyla, benzer özellikte fakat daha küçük ölçekte deponi sahası hazırlanmış ve yağışsız mevsimde sızıntı suları debisi ölçülmüştür. Elde edilen ölçümler, değerlendirilerek oluşabilecek sızıntı suyu miktarı matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$Q = Q_{max} \exp \left((t - 120)^2 / 16200 \right) \quad (1)$$

Deney sahamıza yağın yağışın sızıntı suyu üzerine etkisinin hesabı da, günlük ölçülen yağış ve buharlaşma değerleri kullanılarak, infiltrasyon denklemleri yardımıyla hesaplanmıştır.

Deponi sahasından kaynaklanan sızıntı suyu miktarı bu şekilde hesaplanırken, diğer taraftan yaklaşık 512 günlük süre içerisinde her hafta sızıntı suyundan örnekler alınarak laboratuvarda AKM, KOI, sülfat, kurşun, nikel, kadmiyum ve pH parametreleri ölçülmüştür.

Elde edilen deney sonuçlarının yorumlanması neticesinde aşağıdaki matematiksel ifadeler geliştirilmiştir:

$$dC / dt + (Q(t) / V\theta_r) C = R(t) \quad (2)$$

Konsantrasyon deęiřim eęrisinin karalı hal konsantrasyonu olarak ifade edilen bir konsantrasyona asimtotik olarak dūřtūęu kabul edilmiřtir. Dolayısı ile bizim çöp özelliklerimize ve kořullarımıza uygun denklemlerin üretilmesi gerekmektedir.

$R=0$, kabulü ile yukarıda verilen denge denklemleri, kümülatif sızıntı suyunun basit bir üstel fonksiyonu şeklinde özöllebilir.

$$C(t) = C_0 \exp \left(- \int_{t=0}^t (Q(t) / V\theta_f) dt \right) \quad (3)$$

$G(t)$, bozunma terimi olarak,

$$G(t) = \int_{t=0}^t (Q(t) / V\theta_f) dt \quad (4)$$

şeklinde ifade edilirse,

$$C(t) = C_0 \exp (- G(t)) \quad (5)$$

olur.

Bu homojen eşitlik depo alanına giren ve sızıntı suyu ile birlikte depoya girerek seyrelmeye sebep olan kirlenmemiş suyun karışımını tanımlar. Deney sonuçları, asimtotik sıfır olmayan konsantrasyonun, başlangıç durumundan sonra oluşan bozunmayı göstermektedir.

Sonuçta inorganik maddeler için konsantrasyon değişimi aşağıdaki eşitlik gibi kabul edilmiştir.

$$C(t) = C_0 \exp (-G(t)) - R_{(t)} V\theta_f / Q_{ort} \quad (6)$$

Organik bileşikler için de benzer mantık ile;

$$C(t) = C_0 \exp (-G(t)) - \sum (R+R'+R'')_{(t)} V\theta_f / Q_{ort} \quad (7)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

Ağır metaller depo alanı içinde asidik faz başladığında daha fazla görülmüştür. Asetik asit üretimini artırması ortamın pH'ını dūřürdüęü için çözünürlüğün artmasını sağlamaktadır. Ancak metan faz başlayıpta alkalinite arttığı ve pH yükselmeye başladığı zaman, katı atıktan sıvıya geçen metal miktarında dūřme görülmüştür.

$$C(t) = C_{max} \exp (- (t - B) / A)^2) + R t \quad (8)$$

Bu matematiksel yaklaşımların sonuçları üzerinde çalışılan Harmandalı Düzenli Depolama Sahasının yaz çöplerine ait deney verileri ile tam bir uyum göstermektedir.

Uygulanan matematik modellerin deneysel çalışma sonuçları ile arasındaki ilişkinin derecesini tespit etmek için belli anlam seviyelerine göre (r) korelasyon katsayıları testi ile uygunluk analizleri yapılmış ve istatistik analizler sonucunda

hesaplanan değerler teorik değerlerin oldukça üzerinde çıkmıştır. Bu da yapılan matematik model ile deney sonuçları arasında oldukça yakın bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Geliştirilen matematik modelin geçerliliği, Bursa Büyük şehir Belediyesi'ne ait düzenli depolama sahası hakkında alınan bilgiler doğrultusunda denenmiştir. Bursa katı atık düzenli depolama sahasından kaynaklanan sızıntı sularındaki kirletici parametrelerin zamanla değişimi belirlenmiştir. Depolama sahasına, katı atık kompozisyonuna ve miktarına ait bilgiler model içinde kullanılarak, deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve son derece uyumlu oldukları saptanmıştır.



A MATHEMATICAL MODEL WHICH DETERMINES VARIOUS LAECHATE CHARACTERIZATION IN SANITARY LANDFILLS

SUMMARY

Disposal of solid wastes is one of the most important environmental problem of today. Production of solid wastes begins with obtaining raw materials and they continue to be produced in every step of production processes.

The most widely used method for the disposal of solid wastes today is sanitary landfills. In long term, sanitary landfill areas are affected from the composition of the solid wastes, climate of the region, operational techniques and so forth. As a result of these effects, landfill area stabilizes in various phases. In the estimation of these phases and their completion periods, many factors like; humidity of the waste, its organic material content, nutrient usage, inhibitors and certain factors specific to that area, play important roles.

During this deposition, as a result of the waste characteristics, leachate has very concentrated physical, chemical and biological pollutants in suspended or dissolved forms.

This leachate is formed from decomposition of organic matters or dissolved ions which cause pollution of surface and groundwater.

It is rather difficult to determine the quantity and quality of the leachate produced in sanitary landfill areas. The main factors effecting leachate quantity are, composition of the waste, operation techniques of the landfill area, climate, humidity absorbing capacity of the waste and characteristics of the landfill area. The quantity and the quality of the leachate formed primarily depends on the humidity content of the waste. In developing countries, especially in summer this humidity is around 60-80%. As for the factors affecting the structure of the leachate; composition of the waste, handling of the waste, age of the landfill, physical and chemical reactions and climate may be stated.

In this study, mathematical models were used in order to determine leachate content and quantity, its treatment and its carry over. After making experimental modeling studies on the leachate for its microbiological, physical and chemical reactions, it was determined that the formation of leachate was delayed. In the landfill leachate was seen after the solid wastes were saturated by water and the quantity of water entering and existing the landfill become approximately the same. Also it was determined that, the quantity of organic and inorganic pollutants in the leachate decrease with respect to the landfill age. Seasonal variations in precipitation cause differences in concentration and with respect to the deposit height, variation in concentration increases.

Leachate modeling, helps us to understand the mass change in the transition from solid phase to the liquid phase and degradation of pollutants. The results

obtained from the model should be in parallel to experimental measurements. Mathematical assimilation of leachate formation and transfer was possible with the studies done in a relatively short time ago.

It is known that the organic and inorganic pollutants present in solid wastes act different and also their transition to the water, passing through the reactor by dissolution and carrying, will be different. For example; organic matters are effected by microbiological activities differently then by those of inorganic matters. It may be accepted that solid waste components having small solubility may transfer to the water passing through the reactor with a certain rate or with a rate changing with time.

By taking into consideration all the modeling studies done about this subject, this modeling study was prepared in order to provide some help to the design of sanitary landfills in our country. In this study variation of leachate characteristics was tried to be determined by making studies at an actual sanitary landfill area in Türkiye.

In this modeling study, experimental system was formed at Harmandalı Sanitary Landfill Area where only domestic solid wastes are deposited. On the landfill site where June and July solid wastes were deposited, top of the wastes were covered and compressed with clay. At the same time, studies were continued to determine the composition of the wastes disposed at this area. In order to do this, waste separation and sieve analysis of the wastes coming from different parts of the city were done. After sieve analysis, these wastes were analyzed for their water and organic matter contents.

At first, in order to determine the leachate quantity produced from the landfill area, a smaller landfill site with similar properties were prepared and leachate quantities at dry seasons were measured. By evaluating these measurements, the leachate quantity was expressed mathematically as below;

$$Q = Q_{\max} \exp \left(\left(t-120 \right)^2 / 16200 \right) \quad (1)$$

The effects of the precipitation falling on the experiment site were calculated by using daily measured precipitation and evaporation values and infiltration equations.

Together with these calculations, during 512 days, weekly leachate samples were taken and, in the laboratory SS, COD, sulfate, lead, nickel, cadmium and pH parameters were analyzed.

After evaluating these laboratory results, the mathematical expression given below was developed;

$$dC / dt + (Q(t) / V\theta_r) C = R(t) \quad (2)$$

It was assumed that the concentration variation curve approaches asimphthodically to steady state concentration. So, it is concluded that equations appropriate for our waste characteristics and our conditions, should be prepared.

By assuming $R=0$, the balance equation given above, can be solved simply as an exponential function of cumulative leachate,

$$C(t) = C_0 \exp \left(- \int_{t=0}^t (Q(t) / V\theta_f) dt \right) \quad (3)$$

$G(t)$, being a degradation term, can be expressed as,

$$G(t) = \int_{t=0}^t (Q(t) / V\theta_f) dt \quad (4)$$

and $C(t)$ becomes to the form below,

$$C(t) = C_0 \exp (-G(t)) \quad (5)$$

This homogeneous equation defines the unpolluted water that enters the landfill site together with leachate and lowers its pollutant concentration. The experimental results show the degradation of concentration, not zero asymptotically, after its initial condition.

As a result, the concentration variation for inorganic matters is accepted as the equation given below:

$$C(t) = C_0 \exp (-G(t)) - R_{(t)} V\theta_f / Q_{ort} \quad (6)$$

And, similar equation for organic matters;

$$C(t) = C_0 \exp (-G(t)) - \sum (R+R'+R'')_{(t)} V\theta_f / Q_{ort} \quad (7)$$

It can be expressed as.

Heavy metals were seen more in the landfill site when acidic phase began. Increase of acetic acid production lower the pH of the environment and causes an increase in solubility. But after the beginning of methane phase where pH and alkalinity increase, a decrease is seen in the metal quantity passing from solid wastes to the water. The concentration change of heavy metals passing to the leachate are found as below;

$$C(t) = C_{max} \exp (-0.5(t - B)^2 / A^2) + R t$$

Results of these mathematical approximations are in a complete harmony with the experimental data obtained from Harmandalı Sanitary Landfill in summer time.

In order to determine the relationship between the applied mathematical models and experimental results, certain analyzes are done by correlation coefficient tests. As it can be seen, statistically calculated values are high above the theoretical values. This shows a close relation between the mathematical model and experimental results.

Applicability of the mathematical model was tested with respect to parameters obtained from Bursa Metropolitan Municipality Sanitary Landfill. Variation of leachate pollution parameters in Bursa sanitary Landfill area, was tested in the

landfill site , solid waste composition and quantity were used in the model and the results obtained were compared with experimental results. From this study it was seen that the results of the model and the experiments were very close to each other.



1 . GİRİŞ

1.1. GENEL

Özellikle son yüzyılda ekolojik dengeyi sūratle bozarak çevre sorunları yaratan insan, bu sorunların kendine dönmesi ve saēlıēını olumsuz yōnde etkilemesi sonucu “çevre” kaygısına dūşmūştūr. Çevre sorunlarının oluşmasında temel neden; doğanın insan etkinlikleri ile ortaya çıkan atıkları kendiliēinden giderme yeteneēinin aşılmasıdır. Hava, su ve topraēa verilen; gaz, sıvı ve katı formlardaki çeşitli atıklar doğanın üç temel unsuru olan kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerini bozmaktadır.

Evlerden çıkan çōpler, ticari, endūstriyel ve tarım ile ilgili çalışmalar sonucu ortaya çıkan atıklar ve atık su arıtma tesislerinde oluşān arıtma çāmurları katı atık olarak tanımlanmaktadır. Hızlı ve çarpık kentleşmenin doğal bir sonucu olarak, özellikle büyük şehirlerde, katı atık sorunu hızla artmakta, bu nedenle de katı atıkların etkin ve düzenli bir şekilde zararsız hale getirilmesi zorunlu olmaktadır.

Ekonomik kaynakları sınırlı ve henūz gelişmekte olan ūlkemiz için en saēlıklı yöntemlerin başında dūzenli depolama yöntemi gelmektedir. Dūzenli depolama metodu, katı atıkların , çevreye zarar vermeyecek ve insan saēlıēını riske sokmayacak bir şekilde araziye boşaltılmasıdır. Diēer bertaraf ve imha sistemlerinden birinin uygulanması halinde bile yinede bir miktar atıēın mutlaka depolanması gerekmektedir. Başka bir deyişle, depolama yöntemine başvurmadan çōp ve katı atıkların bertarafı söz konusu olamaz.

Bu depolama sırasında, gerek çeşitli kaynaklardan gerekse atıēın kendinden gelen suların, katı atık yıēınları iēerisinde oluşması sonucunda, çōzūnmūş veya askıda formda oldukça konsantre fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirletici parametrelerle yüklū çōp sızıntı suyu olarak adlandırılan sular meydana gelmektedir.

Sızıntı suyu miktarı, çöpteki su içeriğine ve çöp sahası üzerine direk olarak düşen yağmur suyu miktarına bağlıdır. Kimyasal özellikleri ise biyolojik ayrışmaya, kimyasal oksidasyona , çöpteki organik ve inorganik maddelerin çözünmesine bağlı olarak değişmektedir.

1.2. AMAÇ VE KAPSAM

Sızıntı suyunun debi ve konsantrasyonlardaki değişim, yapılacak depo hücrelerinin boyutlarının, sızıntı suyu toplama sisteminin ve sızıntı suyu arıtma sisteminin tasarımında kullanılması açısından önemlidir. Bu bilginin, düzenli depolama alanının planlanması aşamasında elde edilmesi, tasarım açısından önemli bir husustur. Bu, daha önceki tecrübelerden elde edilebilir. Bu maksatla matematik modellerin kullanılması, daha hassas ve güvenilir sonuçlar vermesi nedeniyle, genellikle tercih edilmektedir.

Pek çok gelişmekte olan ülkede, Türkiye’de olduğu gibi sızıntı suyu oluşumu bir parça farklıdır. Burada, özellikle yaz aylarında meyve ve sebze tüketiminin etkisiyle sızıntı suyu üretimi, atıkların toplanmasından hemen sonra başlar. Diğer taraftan kış ayları boyunca sızıntı suyu üretiminde oldukça önemli miktarda azalma olur. Zira kış mevsiminde çöpteki atık küllerin oranı artar ve küller sıvının bir kısmının tutulmasına sebep olurlar. Diğer taraftan, kış aylarında yağışlar nedeniyle sızıntı suyu debisi artar, seyrelme daha fazla olduğu için sızıntı suyundan kaynaklanan problemler, (koku, sinek vs.) daha az görülür.

Geçmişte yapılan tüm modelleme çalışmalarından elde edilen sonuçlar doğrultusunda, ülkemizde kurulabilecek katı atık düzenli depolama sahalarının planlamasına yardımcı olacağı düşüncesi ve ayrıca ülkemiz koşullarında oluşan katı atıkların düzenli depolanması ile kaynaklanan sızıntı sularının özelliklerinin zamanla ne şekilde değiştiğinin, özellikle doğal koşullarda gerçek bir depo sahasında ve fazla miktarda katı atık ile çalışılarak, bilinmesi açısından tarafımızdan bu modelleme çalışması gerçek bir düzenli depolama alanından elde edilen verilerle yapılmıştır.

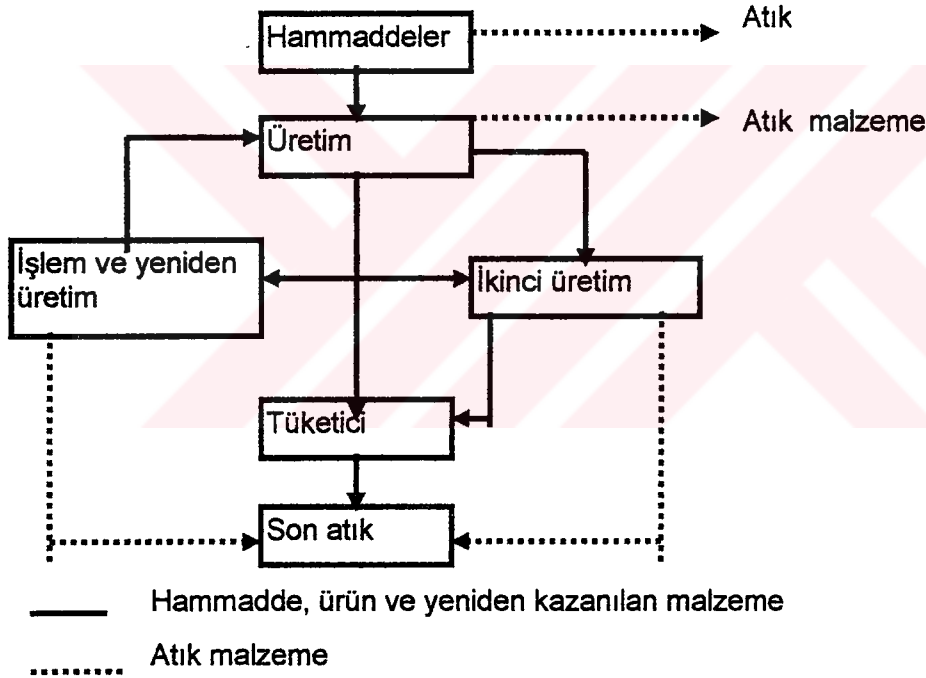
Çalışmada, katı atık düzenli depo alanları sızıntı suları özelliklerinin zamanla değişimini incelemeye yarayan bir matematik model geliştirilmiştir. Model, İzmir şehri katı atıklarının depolandığı, Harmandalı Düzenli Depolama Tesislerinde, doğal ortamda, özel olarak kurulan depo yerinden oluşan sızıntı sularının, organik, inorganik ve ağır metal kirletici maddeleri açısından izlenmesi suretiyle elde edilen veriler kullanılarak bu depo alanına uygulanmıştır. Ayrıca Bursa şehri düzenli depolama alanı sızıntı suyu verileri ile denenerek, başka depo alanlarına da uygulanabileceği gösterilmiştir.



2. KATI ATIKLARIN DÜZENLİ DEPOLAMA İLE GİDERİMİ

2.1. DÜZENLİ DEPOLAMA

Şekil 2-1'de görüldüğü gibi, katı atık üretim işlemi, hammaddenin çıkartılması ile başlamakta, üretime dönüştürülme işlemlerinin her etabında ve tüketim aşamasında devam etmektedir.



Şekil 2-1 Katı atık üretimi [1]

Katı atıkların özellikleri, katı atığın kaynağı, evsel katı atık içerisindeki endüstriyel katı atık oranı, mevsim, hayat standardı, toplumun tüketim alışkanlıkları gibi pek çok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Tablo 2-1'de bazı şehirlerimizdeki, Tablo 2-2'de çeşitli ülke şehirlerindeki katı atık özellikleri verilmektedir.

Tablo 2-1 Çeşitli illerimize ait katı atık kompozisyonları [2]

Kentler	Nüfus	Toplam EKA Ton/ay	Kişi başına çöp gr/gün	Yaş EKA		Kül cüruf		GKA	
				Miktar	%	Miktar	%	Miktar	%
Adana (yaz)	1010145	24459	865	18448	75,42	407	1,66	5604	22,91
Adana (kış)	1009586	13371	473	9376	70,12	2266	16,95	1723	12,93
Ankara(yaz)	2723867	46873	615	37731	80,50	1283	2,74	7859	16,77
Ankara (kış)	2752351	48939	635	22652	46,29	24204	49,46	2081	4,25
Bursa (yaz)	949190	15283	613	12569	77,16	543	3,33	3178	19,51
Bursa (kış)	948656	21074	793	7109	33,74	12214	57,94	1750	8,30
Gaziantep (yaz)	684256	4232	221	3525	83,30	7	0,17	700	16,53
Gaziantep (kış)	683769	3355	175	1332	39,71	1641	48,91	381	11,38
İstanbul (yaz)	7082028	109767	554	88394	80,53	1414	1,29	19958	18,18
İstanbul (kış)	7082847	102004	514	44461	43,59	48599	47,64	8943	8,77
İzmir (yaz)	1750499	35564	724	29794	84,01	401	1,13	5268	14,86
İzmir (kış)	1749990	23725	484	12302	51,85	8851	37,31	2571	10,84
Samsun yaz)	344268	5220	542	4349	83,32	83	1,68	783	15,00
Samsun kış)	344378	4341	450	2237	63,14	1205	27,66	399	9,20

EKA: Evsel Katı Atık
GKA: Geri Kazanılabılır Atık

Tablo 2-2 Çeşitli ülkelere ait katı atık kompozisyonu [2]

Madde Cinsi (%)	Brooklyn ABD	Londra İngiltere	Roma İtalya	Singapur	Hong Kong
Kağıt	35	37	18	43	32
Cam	9	8	4	1	10
Metal	13	8	3	3	2
Plastik	10	2	4	6	6
Deri	--	--	--	--	--
Tekstil	4	2	--	9	10
Ağaç, Kemik	4	--	--	--	--
Organik maddeler	26	38	71	37	40
Nem miktarı	22	28	58	40	31

Katı atıkların bertarafında, günümüzde dünyanın bir çok yerinde en fazla kullanılan metot düzenli depolama metodudur. Düzenli depolama metodu, katı atıkların çevreye zarar vermeyecek ve insan sağlığını riske sokmayacak bir şekilde araziye boşaltılmasıdır. Düzenli depolama sahalarının planlanması ve tasarımında bilimsel, mühendislik ve ekonomik ilkeler göz ardı edilmemelidir. Düzenli depolamada yapılması gereken başlıca faaliyetler şunlardır :

- _ Katı atıkların toprak örtüsü ile düzenli olarak kaplanması
- _ Sıkıştırma, meyil verme ve daha sonra bitki örtüsü kullanımı
- _ Yüzeyden akan suların drenajı
- _ Yeraltı ve yerüstü sularını korumak için kontrol sistemleri.

Düzenli depolama; arazi koşullarına, konumuna, jeolojik yapıya, iklime, arazi ıslahına ve bunun gibi faktörlere bağlı olarak büyük oranda değiştiğinden, her alanın yerel şartlara göre oluşturulması ve işletilmesi gerekmektedir. Düzenli depolama, hiç bir zaman ucuz bir çöp boşaltım metodu olarak değerlendirilmemelidir. Tesisin planlanması, yapımı ve işletilmesi için yeterli finansal ve teknik kaynakların tahsis edilmesi gereği bir çok kaynakta vurgulanmaktadır.

2.2. Katı Atıkların Depo Alanında Stabilizasyonu

Depo alanı ve katı atık özellikleri ile sızıntı suyu üretimi arasında bir bağ kurulmak istendiğinde, katı atığın stabilizasyonu ile biyolojik ayrışma fazları arasındaki ilişkinin tanımlanmasına ve değerlendirilmesine ihtiyaç vardır. Bu fazları tanımlayıcı olaylar, depo alanlarında değişik zamanlarda meydana gelebilir. Fazların sürelerinin tahmininde, rutubet miktarı, organik madde oranı, nütrient kullanımı, inhibitörler ve depo alanına özgü faktörler önemli rol oynar. Gerçekte, depo alanının her yeri aynı yaşta değildir. Farklı kısımlar yaş farklılığı nedeniyle farklı özelliklere sahiptir. Pohland [3] tarafından yapılan çalışmalar, katı atığın ayrışmasındaki fazların tanımlanmasını sağlamıştır. Depo alanının stabilizasyonu süresince sızıntı suyu ve gaz karakterindeki değişim, atığın stabilizasyon derecesini yansıtır.

2.3. Depo Alanı Stabilizasyon Fazları

Depo alanlarındaki biyolojik stabilizasyon, hemen hemen tamamen anaerobik ortamlarda gelişir. Bu nedenle stabilizasyon fazları, anaerobik ayrışma fazları ile incelenir. Bu fazlar katı atık depo alanı için , başlangıç, geçiş, asit, metan ve olgunlaşma fazları olarak tanımlanmaktadır. [4,5]

1. Başlangıç Fazı

Bu fazı etkileyen başlıca faktörler şunlardır.

- Atık yerleştirme hızı ve birincil rutubet tutumu.
- Depo alanının doldurulması ve kapatılması.
- Çevresel parametrelerde ki değişiklikler

Organik maddelerin havalı ortamda bozunması genellikle çöp sahası içerisinde mevcut oksijen miktarının yetersiz olmasına bağlı olarak ve atığın yüksek oksijen talebi nedeniyle sınırlı bir süredir. Çöp sahasının, kısmen havalı ortamda ayrışan tek bölümü üst katmandır. Burada oksijen, taze çöp arasında sıkışmış ya da yağmur suyu tarafından getirilmek sureti ile sağlanır. Bu evrede proteinlerin bozunarak amino asitlere, böylece organik maddenin karbondioksit,

su, nitrat ve sülfatlara dönüştüğü gözlenmektedir. Bu evrede biyolojik oksidasyonun dışarıya ısı vererek oluşması nedeni ile, yüksek sıcaklıklara ulaşabilir. Aerobik bozunma evresi genellikle kısadır ve bu evrede çöp suyu üretimi olmaz. [6]

2. Geçiş Fazı

Alan kapasitesine ulaşılmasının sonucunda, stabilizasyonun ikinci fazı olan geçiş fazı başlar. Bu fazda gözlenen en önemli olay sızıntı suyunun oluşmaya başlamasıdır. Aerobik şartlardan anaerobik şartlara geçilmesi sonucu, anaerobik ayrışmanın ilk kademesi olan hidroliz, bu fazda meydana gelir.

Geçiş fazı olarak tanımlanan ikinci fazda oksijen tükenir ve anaerobik şartlar oluşmaya başlar. Depo alanının anaerobik şartlara geçmesi ile biyolojik reaksiyonlar sonucu elektron alıcı olarak görev yapan nitrat ve sülfat, azot ve hidrojen sülfür gazlarına indirgenir. Anaerobik şartların başlaması oksidasyon, redüksiyon potansiyelinin ölçülmesi ile gözlenebilir. Potansiyelin 50-100 mV civarında olması halinde nitrat ve sülfatın indirgenmesi başlar. 150-300 mV aralığında olması halinde metan üretimi başlar. Oksidasyon redüksiyon potansiyeli azalmaya devam ettikçe organik maddeleri CH_4 ve CO_2 'ye çeviren mikroorganizmalar üç kademeli prosese başlarlar. İkinci fazda sızıntı suyunun pH'ı organik asitler ve CO_2 ' konsantrasyonunun artması neticesi düşer. Başlangıçtaki yüksek sülfat içeriği, redoks potansiyeli düştükçe yavaş yavaş azalabilir. Ortaya çıkan sülfidler, asit fermentasyonu ile çözünmüş olan demir, manganez ve ağır metalleri çökeltebilir. pH' daki azalmaya uçucu yağ asitlerinin yüksek konsantrasyonu ve yüksek CO_2 kısmi basıncı neden olur. Çöp kütlesi içerisinde mevcut kolayca çözünebilir malzemelerin çöp suyu haline dönüşmesi, ve yine kolayca bozunabilir organik maddelerin mevcut olması nedeni ile anyon ve katyonların konsantrasyonu yüksektir. Bu evrede oluşan çöp suyu yüksek BOI_5 değerleri (genellikle > 10.000 mg/litre), yüksek BOI_5/KOI oranları (genellikle >0.7) ve asidik pH değerleri (tipik olarak 5-6) ve amonyak (sıklıkla 500- 100 mg/litre) ile karakterize edilir. [6]

3. Asit Oluşumu Fazı

Bu fazda ikinci fazda başlayan mikrobiyolojik aktivite kullanılarak büyük ölçüde organik asitler ve daha küçük miktarda da hidrojen gazı üretilir. Üç

kademedeki anaerobik ayrışma prosesinin birinci kademesi yüksek moleküllü bileşiklerin enzim reaksiyonları ile mikroorganizmaların enerji ve karbon kaynağı olarak kullanabileceği boyutlara gelir. Bu kademeye hidroliz denir. Prosesin ikinci kademesinde; (asit kademesi) birinci kademedede oluşan bileşiklerin mikrobiyolojik dönüşüm ile daha basit yapıları ara bileşiklere dönüşür. Üçüncü fazda ortaya çıkan gazın büyük bir kısmı CO_2 dir. ve düşük oranda hidrojen gazı da üretilir. Bu dönüşümde rol alan mikroorganizmalar fakültatif ve mecburi anaerobik bakterilerdir. Bu mikroorganizmalar asit ojenler veya asit oluşturanlar olarak da adlandırılırlar. Sızıntı suyunun pH'ı organik asit ve CO_2 nedeniyle 5 'in altına düşer. Sızıntı suyunun BOL_5 , KOI ve iletkenlik değerleri bu fazda önemli ölçüde artar. Bu artışın nedeni sızıntı suyundaki organik asitlerin çözünmesidir. Ayrıca pH'ın düşük olması nedeniyle başta ağır metaller olmak üzere inorganik bileşenlerde çözünürler. Bu aşamada sızıntı suyu ile nütrientler de uzaklaştırılır , eğer sızıntı suyu geri devredilemez ise depo alanından nütrient kaybı olur. Eğer sızıntı suyu oluşmamış ise üçüncü fazda üretilen ayrışma ürünleri depo alanında tutunmuş bileşikler olarak ve katı atık tarafından tutulan suyun içinde kalırlar.[6] Asidik sızıntı suyu uçabilen yağ asitlerinin, kalsiyumun, demirin, ağır metallerin ve amonyanın büyük miktarlarda ortama karışmasını sağlar. Sonraki fazda yağ asitlerinin oluşumu düşerken metan gazı üretiminde artış görülür. Sülfat miktarı düşer.

4. Metan Fazı

- Ara ürünlerin (Asidik fazda oluşan) CH_4 ve CO_2 'e dönüşmesi.
- pH'ın yükselmesi.
- İndirgenme - yükseltgenme potansiyellerinin en düşük değerlere inmesi.

Bu fazda asit fazında oluşan asetik asit ve hidrojen , metan mikroorganizmaları tarafından CH_4 CO_2 ye çevrilir. Bazı durumlarda üçüncü fazın canlarında gelişmeye başlar. CH_4 mikroorganizmaları mecburi anaerobikdir. Dördüncü fazda metan ve asit oluşumunu aynı anda devam eder , fakat asit oluşum kısmı önemli ölçüde azalmıştır. Hidrojen ve asitlerin metan ve CO_2 ' ye dönüşmesi sonucu pH değeri genellikle nötr civarında olmak üzere 6-8 aralığında yükselir. Sızıntı suyunun pH 'ı yükselir , BOL_5 , KOI ve iletkenlik değerleri düşer. pH'ın

yükselmesine bağılı olarak inorganik maddelerin çözünmüş fazda olan kısmı da azalır ve sonuç olarak ağır metal konsantrasyonu düşer.

Dördüncü anaerobik bozunma evresi metanojenik bakterilerin sağladığı metanojenik fermantasyon ile karakterize edilir. Metanojenik bakterilere uygun olan pH aralığı son derece sınırlıdır ve 6 - 8 aralığında değişir. Çöp suyunun kompozisyonu neredeyse nötr sayılacak pH değerleri, uçucu yağ asitlerinin ve toplam çözünmüş katı maddelerin düşük konsantrasyonu ile karakterize edilirken, biyogaz genellikle % 50'den daha fazla metan içerir. Bu durum, organik komponentlerin büyük bölümünün çözünebilirliğinin, katı atık stabilizasyonu sürecinin yıllarca devam edecek olmasına karşın, depo sahasının işletiminin bu evresinde azalmış olduğunu onaylamaktadır. Bu evre esnasında üretilen sızıntı suyu nispeten düşük BOI_5 ve düşük BOI_5/KOI oranları ile karakterize edilir. [6]

Son aşamada metan bakterilerinin faaliyetleri artar ve metan üretimi başlar. Bu fazda iki cins metan bakteri grubu etkindir. Bunlardan asetofilik bakteriler asetik asitten elde edilen asetati kullanarak metan üretirken hidrojenfilik bakteriler metan üretimi için hidrojeni kullanırlar.[9]

5. Olgunlaşma Fazı

Bu fazın en önemli göstergeleri;

- Sızıntı suyu oluşumunda ve biyolojik stabilizasyonda bir duraklama oluşması,
- Nütrientlerin sınırlı hale gelmesi,
- Gaz oluşumunun kesilmesi,
- Az miktarda bulunan besinlerin yok olmasıdır.

Beşinci faz yani olgulaşma fazı kolay ayrışabilen organik maddelerin dördüncü fazda CH_4 ve CO_2 'ye dönüştürülmesinden sonra başlar. Rutubet atık içinde ilerledikçe daha önce çözünmemiş olan ayrışabilir maddeler çözünerek ayrıştırılırlar. Katı atık içindeki nütrientler daha önceki fazlarda sızıntı suyu ile uzaklaştırıldığından ve depo alanında kalan substratlar zor ayrıştığından beşinci fazda gaz oluşumu önemli ölçüde azalır. Bu fazda oluşan gaz esas olarak CH_4 ve CO_2 ihtiva eder. Depo alanı örtüsünün tipine bağılı olarak depo gazında küçük

miktarlarda azot ve oksijen bulunabilir. Olgunlaşma fazında meydana çıkan sızıntı suyu biyolojik olarak ayrışması zor olan fulvik ve humik asitler ihtiva eder. Yaşı ilerlemiş depo sahalarında, yalnızca daha refrakter olan organik karbon çöp katmanı arasında bulunduğu zaman, ikinci havalı (aerobik) evre çöp yığınının üst katmanında meydana gelir. Bu evrede metan oluşum oranı o kadar düşüktür ki hava atmosferden nüfuz eder, havalı bölge oluşmasına neden olur ve bu bölgelerin metan oluşturmak için redox potansiyelleri çok yüksektir. [6] Şekil 2-2'de bu fazlar ve indikatör parametrelerin zamanla değişimi görülebilir. [5]

2.4. Stabilizasyon Fazlarını Belirleyen Parametreler

Depo alanındaki fazların başlangıcını ve bitişini depo alanı içindeki organik maddelerin dağılımı, nutrient mevcudiyeti, atığın rutubet oranı ve depo alanı içindeki hareketi ve çöpün sıkıştırılması gibi faktörler belirler. Sızıntı suyu oluşumu başladığı zaman, bunların bazıları sızıntı suyu analizleri için kullanılırlar. Örnek olarak pH, indirgenme - yükseltgenme potansiyeli, BOI_5 ve KOI gibi parametreler verilebilir. Bunlar asit oluşumu ve metan fermantasyon fazlarının gelişiminde kritik rol oynarlar. Azot ve fosfor, nutrient ihtiyacı ve aerobik - anaerobik durumların tanımlanmasında önemlidir. Benzer şekilde tampon kapasitesi (alkalinite), ağır metaller, nitrat, sülfatlar ve iletkenlik de önemli belirleyici parametrelerdir. [5, 8]

Mikrobal bozunmada asıl olan anaerobik faz, temel olarak üç reaksiyon zincirine sahiptir. Karmaşık yapıları organiklerin enzim reaksiyonları ile alkol ve hidrojen oluşumu, asit forma geçiş ve metan faza geçiş (Şekil 2.3). Bu fazları gerçekleştiren mikroorganizmalar şunlardır: [9]

- 1) Fermantasyon bakterileri
- 2) Hidrojen üreten asit bakterileri
- 3) Hidrojen kullanan bakteriler
- 4) Karbondioksit indirgeyen bakteriler
- 5) Asetoklastik bakteriler
- 6) Metan bakterileri

Tüm bu bakteri gurupları içinde dış etkilere en hassas gurup metan bakterileridir. Rutubet, oksijen miktarı, hidrojen oranı, sülfat, nütrientler, inhibitörler, sıcaklık, pH ve alkalinite bu etkenlerin içinde en önemli olanlarıdır. Metan bakterileri mecburi anaerobik mikroorganizmalar gurubu içindedir. Bunun anlamı ortamda kesinlikle oksijen bulunmaması gerektiğidir. Az miktardaki oksijen bile bu bakteriler için toksiktir. Depo alanı ne kadar iyi kapatılırsa kapatılsın, atmosferden daima bir oksijen girişi söz konusu olacaktır. Ancak depo sahasının üst katmanlarında yer alan aerobik bakteriler bu oksijenin tüketilmesine yol açarlar ve alt kısımlarda anaerobik bir tabakanın oluşmasını sağlarlar.

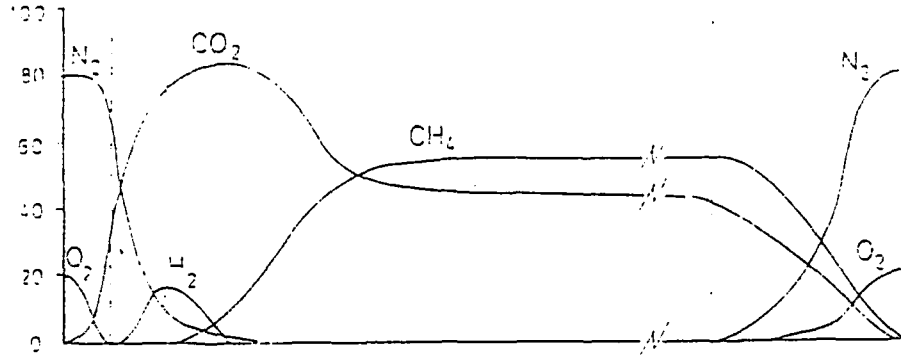
Ortamda bulunan hidrojenin mikroorganizmalar üzerine etkisi, sahip olduğu basıncın biyokimyasal reaksiyonları etkilemesidir. Hidrojen, ortama fermantatif ve asetojenik bakterilerin üretimi ile girer. Butirik asit ve propionik asit yüksek hidrojen basınçlarında meydana gelirken, hidrojen basıncının düşük olduğu ortamda asetik asit üretimi başlar.

Metan bakterileri oldukça dar bir pH aralığında aktiftirler ($\approx 6-8$) Şayet ortamda diğer abiotik etkiler dolayısıyla asetik asit üretimi inhibe olup, propionik ve bütirik asit oluşumu artarsa ortamda pH düşmesi ve metan oluşumunda azalma hatta durma gözlenir. Ortamda sülfat indirgeyen bakteriler varsa, organik maddelerin bozunması pH'nın beşin altına düşmesine veya dokuzun üzerine çıkmasına rağmen devam edebilir. Zira bu bakteri türü yaşayabilmek için metan bakterilerinden daha geniş bir pH aralığına sahiptir.

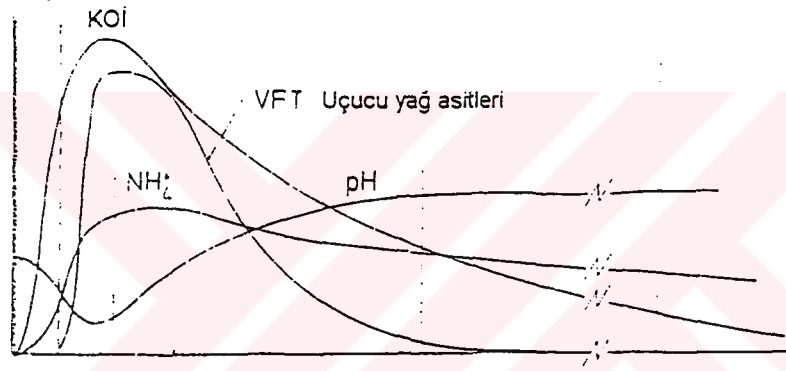
Ortamda sülfat bulunması saf kültür halinde bulunan metan bakterilerini etkilemez. Ancak eğer ortamda metan bakterileri haricinde sülfat indirgeyen bakteriler de varsa, bunlar dış etmenlere karşı metan bakterilerden daha az hassas oldukları için, daha aktif davranarak ortamdaki besin maddelerinin ve nütrientlerin tüketimini hızlandırıp metan bakterilerinin faaliyet hızını düşürürler.

Nütrientler, mikroorganizmalar için çok önemli olan maddelerdir. Bu maddeler genelde hücrelerin çoğalmaları için gerekli olan RNA ve DNA sentezi için gerekli olan bazı maddelerin üretiminde kullanılırlar. Depo sahalarında azot, fosfor, kalsiyum, demir, magnezyum, potasyum, çinko, molibden ve selenyum gibi gerekli nütrientlerin çoğu bol miktarda bulunur.

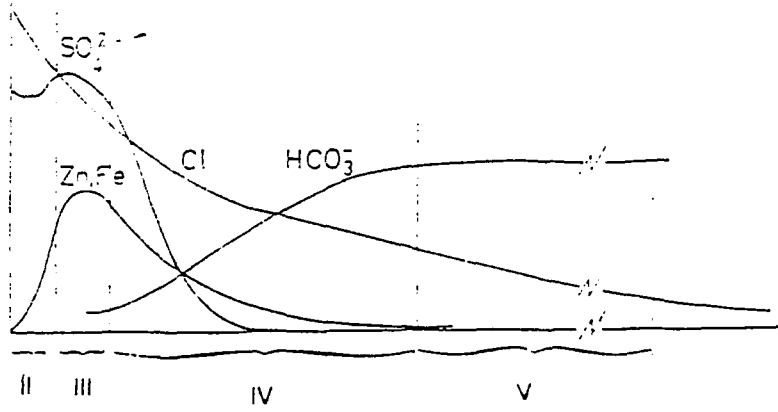
Gaz üretimi (%)



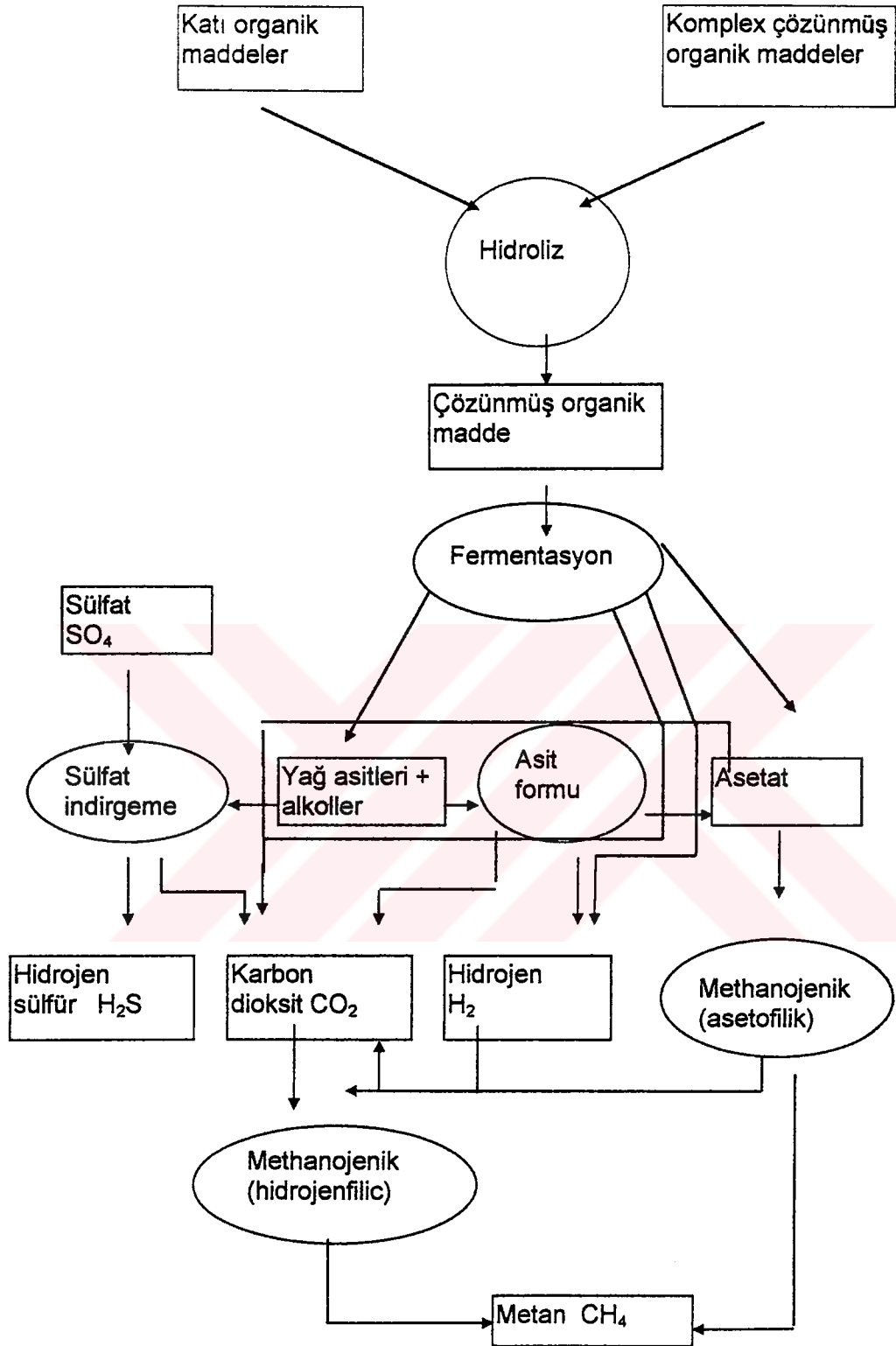
Sızıntı suyu



Sızıntı suyu



Şekil 2-2 Stabilizasyon fazları ve belirleyici parametrelerdeki değişimler



Şekil 2-3 Bozunma reaksiyonları ve bunların sonucunda oluşan fazların besin ve bakteriyel grupları

Diğer mikrobiyolojik faaliyetler gibi anaerobik ortamda atık indirgeme fazı da sıcaklıktan etkilenmektedir. Metan bakterileri takriben 37 derecede en verimli halde bulunurlar. Yavaş ve cılız su akışı olan çok derin depo sahalarında, depo içinde mikroorganizmaların faaliyeti sonucu oluşan ısı etrafa yayılmayabilir. Bu saha içinde sıcaklık yükselmesine yol açar. Bu sıcaklık ılıman iklim koşullarında 35-45 dereceye kadar yükselebilir. Metan üretiminin yüksek olduğu depo alanlarında sıcaklığın yüksek olması beklenir. [7, 10]



3. SIZINTI SUYU OLUŞUMU VE ÖZELLİKLERİ

3.1. SIZINTI SUYU ÖZELLİKLERİ

Katı atıkların düzenli depolandığı alanlarda biyolojik, fiziksel ve kimyasal olayların oluşmasıyla katı fazdan sıvı ve gaz faza madde geçişleri olur. Sızıntı suyu katı atıklardan gelen bir su akıntısıdır. Bu sıvı, çözünebilen veya çözünemeyen bileşiklerin çöplerden süzülmesi ve depoda meydana gelen reaksiyonlarla oluşur. Sızıntı sularında bulunan fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirlilik değerlerinin genel değişim aralığı ve tipik değerleri Tablo 3-1 'de verilmiştir [2,11]. Ancak çeşitli etmenlere bağlı olarak bu değerlerden daha düşük veya daha yüksek değerlerle karşılaşılabılır.[12] Ülkemizde bulunan depolama sahalarından kaynaklanan sızıntı suları üzerinde yapılan araştırmaların sonuçları Tablo 3-3 [13], Tablo 3-4 ve Tablo 3-5'de [14] verilmiştir.

Sızıntı suyunun miktarını ve karakterini belirlemek oldukça zordur. Çünkü, sızıntı suyunun debisi ve içeriği depolama alanı özelliklerine ve atığın özelliklerine göre çok fazla değişkenlik gösterir. Buna örnek olmak üzere Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Michigan katı atık depolama alanı içinde iki kısımda yapılan analizler sonucunda, Tablo 3-2'de kadmiyum birinci alanda 0.23 mg/l, ikinci alanda 0.94 mg/l, nikel birinci alanda 2.23 mg/l, ikinci alanda 6.20 mg/l, demir birinci alanda 2292 mg/l, ikinci alanda 722 mg/l, askıda katı madde birinci alanda 1692 mg/l, ikinci alanda 270 mg/l, olarak tespit edilmiştir. Görüldüğü gibi sızıntı suyu özellikleri aynı depolama sahası içindeki iki ayrı kısımda bile bazı parametrelerde farklılık gösterebilmektedir. Sızıntı suyu çok büyük seyrelmelere uğrasa bile yüzeysel ve yeraltı sularına karışmaları halinde, bu kaynak sularının arıtma tesisinden geçirilmesine rağmen tat ve koku problemleri görülür [15].

Tablo 3-1 Katı atık depo alanından çıkan sızıntı suyunun içerdği parametreler [1,9]

Parametreler	Birim	Aralık	Tipik Değerler
BOİ ₅	mg/l	2000 - 30000	10000
TOK	mg/l	1500 - 20000	6000
KOl	mg/l	3000 - 45000	18000
Toplam askıda katı madde	mg/l	200 - 1000	500
Organik azot	mg/l	10 - 600	200
Amonyak azotu	mg/l	10 - 800	200
Nitrat	mg/l	5 - 40	25
Toplam fosfor	mg/l	1 - 70	30
Orto fosfor	mg/l	1 - 50	20
Alkalinite (CaCO ₃)	mg/l	1000 - 10000	3000
p.H	—	5.3 - 8.5	6
Toplam sertlik	mg/l	300 - 10000	3500
Kalsiyum	mg/l	200 - 3000	1000
Magnezyum	mg/l	50 - 1500	250
Potasyum	mg/l	200 - 2000	300
Sodyum	mg/l	200 - 2000	500
Klor	mg/l	100 - 3000	500
Sülfat	mg/l	100 - 1500	300
Toplam demir	mg/l	50 - 600	60

Ayrıca; tarımsal ve endüstriyel amaçlı kullanımları da sınırlamakta ve suyun estetik görünümünü bozmaktadır. [16]

Tablo 3-2 Michigan katı atık depo alanındaki iki kısımdan alınan sızıntı suyu örneklerinin içeriği [11]

Parametreler	Birim	1. Alan	2. Alan
BOI ₅	mg/l	17080	14700
Çinko	mg/l	38.60	52.00
Kadmiyum	mg/l	0.23	0.94
Bakır	mg/l	0.23	0.15
Siyanür	mg/l	0.002	0.04
Nikel	mg/l	2.23	6.20
pH	–	5.80	5.70
Demir	mg/l	2292	722
Askıda katı madde	mg/l	1692	270
Kurşun	mg/l	0.50	0.57
Fosfor	mg/l	0.69	n/a

Tablo 3-3 Bursa B.B. Depo Alanından Kaynaklanan sızıntı suyu değerleri [13]

PARAMETRELER	MAKSİMUM	MİNİMUM	ORTALAMA
KOI	47909	11200	25230
SÜLFAT	1989	838	910
KURŞUN	77.1	0.1	1.55
Ph	8.68	6.45	--

Depolama sahasında oluşan değişimi ve buna bağlı olarak sızıntı suyu bileşimini yansıtan en önemli analitik parametreler BOI₅ ya da KOI gibi atık su kirlilik göstergeleridir. Şekil 3-1 laboratuvar ölçekli çalışmaların sonucunda, asidik fazın ilk 100 gününü ve metan fazı temsil etmektedir. Asidik fazda, BOI₅ / KOI oranı > 0.5, düşük pH, metan miktarı ve gaz üretiminin yüksek olduğu, metan faza geçiş ile metan üretimi ve pH'ın arttığı, fakat BOI, KOI ile BOI₅ / KOI oranının azaldığı görülmüştür. [5] Metan fazının sonlarına doğru, BOI₅'nin KOI'ye oranı 0.1'in altına düşer bu da organik maddelerin biyolojik bozunma hızının düşmesine sebep olur.

Tablo 3-4 İstanbul Avrupa Yakası Depo Alanı Sızıntı Suyu Analizleri [14]

Parametre (mg/l)	İTÜ (1995)	İSKİ (1995)
Ph	5.5-6.5	6
KOl	40000-50000	70000
BOİ ₅	21000-25000	31000
AKM	2630-3930	1950
UAKM	1860-2730	—
TÇM	17000-21000	—
TKN	375-410	1630
NH ₃ -N	150-170	—
Organik Azot	205-260	—
Toplam Fosfor	5-6	—
SO ₄	495-950	—
Cr	1.3-2.2	2
Cu	0.5	—
Fe	100-130	—
Cd	0.2	0.2
Zn	0.7	—
Hg	0.04-0.06	—
Pb	0.08	0.8
Ni	0.9-1.3	—
Fenol	6-7	—
Tuzluluk (%)	21	—

Tablo 3-5 İstanbul Asya Yakası Katı Atık Depo Sahası Sızıntı Suyu Analizleri [14]

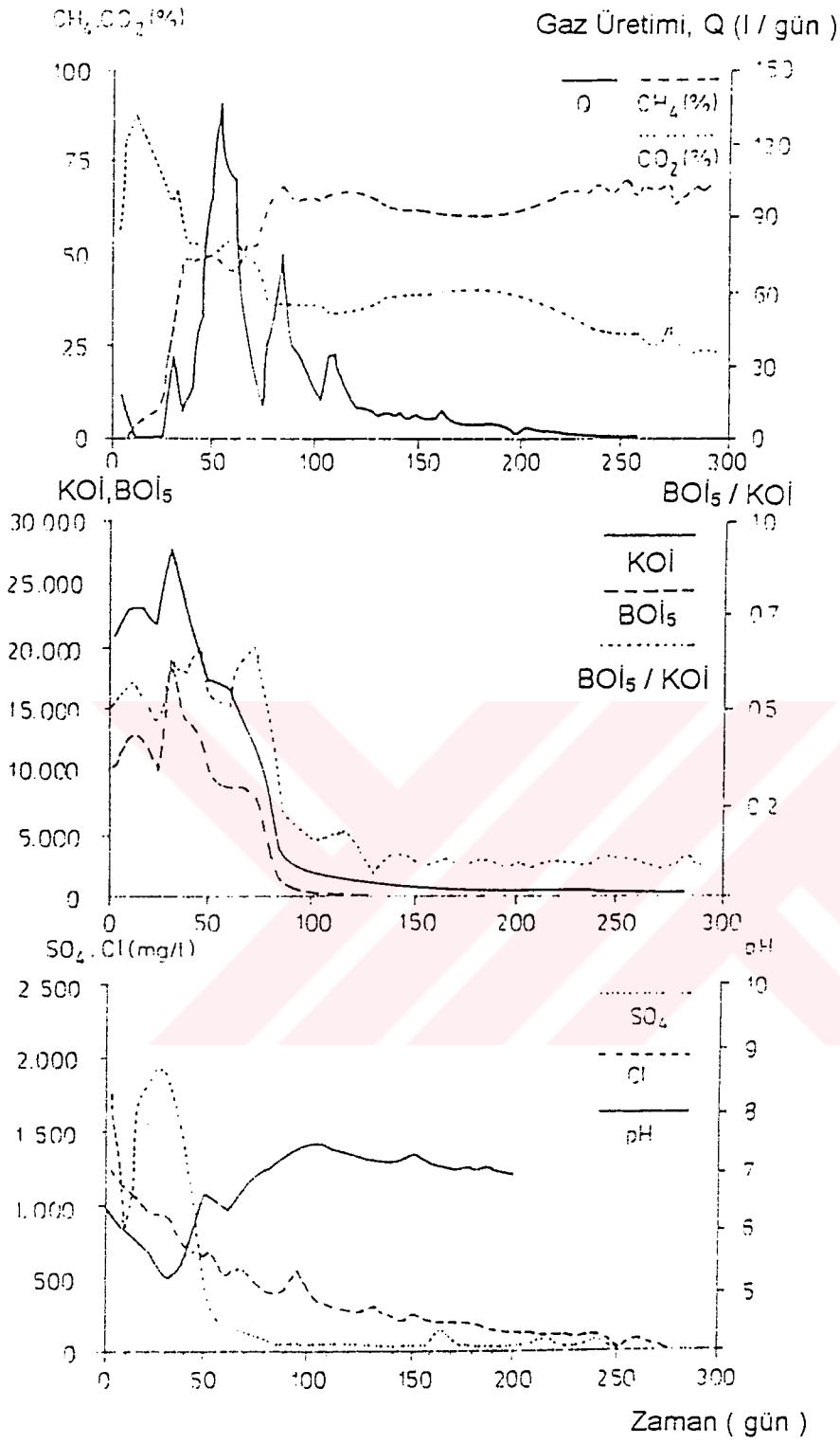
Parametre (mg/l)	Analiz Sonuçları
pH	7
AKM	305
UAKM	125
Toplam Çözünmüş Madde	35700
U. Top. Çöz. Madde	15870
Çökebilir Madde	0
Sülfat	2900
Klorür	5300
Alkalinite	18900
Kalsiyum	3210
Top. Sertlik CaCO ₃	12900
KOl	51060
Çöz. KOl	45700
BOI ₅	40000
Top. Azot	1900
Amonyak Azotu	1800
Top. Fosfor	8.8
Orto Fosfat	3.5
Fenol	6.8
Sodyum	3145
Potasyum	2400
Top. Demir	11
Krom	<0.5
Bakır	<0.5
Nikel	0.75
Kadmiyum	<0.5
Cıva	0.01

Mikrobiyolojik şartların değişmesinden, sülfat değerleri de etkilenmektedir. İşletmedeki depo alanlarında, asidik fazdaki yüksek organik asit, pH'ın düşmesine ve inorganik maddelerin çözünürlüğünün artmasına sebep olmaktadır. Tablo 3-6 asit ve metan fazlarında konsantrasyonları değişen parametrelerin ortalama

değerlerini ve aralıklarını vermektedir. [5] Sülfatlarda meydana gelen azalma çöp suyunda mevcut çeşitli ağır metallerin çökmesini sağlayabilir. Depo faaliyetinin ilk fazı esnasında yüksek düzeyde organik asit üretiminin neden olduğu düşük pH değerleri yüzünden yüksek düzeyde bir metal çözünürlüğü mevcut iken, depo sahasının yaşı ilerledikçe, pH ta meydana gelen artış, çözünürlüğe sebep olur. Organik bileşiklerin ayrışması eser miktarlarda bulunan metallerin çözünmesini teşvik eder. Azot, oksijen ve kükürt içeren organik bileşiklerin çoğu metaller ile çözünebilir kompleksler oluşturabilir ve böylece metal konsantrasyonlarını arttırabilirler. [6]

Tablo 3-6 Asit ve metan fazlarında konsantrasyonları değişen parametrelerin ortalama değerleri [5]

Parametreler	Ortalama değerler	Değer aralıkları
Asidik Faz		
pH	6.1	4.5-7.5
BOI ₅ (mg / l)	13000	4000-40000
KOI (mg / l)	22000	6000-60000
SO ₄ (mg / l)	500	70-1750
Metan Fazı		
pH	8	7.5-9
BOI ₅ (mg / l)	180	20-550
KOI (mg / l)	3000	500-4500
SO ₄ (mg / l)	80	10-420



Şekil 3-1 Laboratuvar ölçekli çalışmaların sonucunda, asetik fazın ilk 100 günü ve metan faz

3.2. SIZINTI SUYUNUN ÖZELLİKLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

3.2.1. Atığın İçeriği

Katı atıklardan sızıntı suyuna kütle transferinin mekanizması üç grupta incelenebilir:

- Katı atığın hidrolizi ve biyolojik bozunma
- Katı atıkta bulunan tuzların çözünmesi
- Belirli büyüklükteki partiküllerin uzaklaştırılması

İlk iki mekanizma çöp sızıntı suyunun kalitesi üzerinde büyük etkiye sahiptir. [6] Evsel atıkların önemli bir kısmını kağıt oluşturur. Bunun haricinde organik madde, cam, metaller, plastikler, tekstil, kül vb. maddeler bulunur. Evsel çöplerin içinde endüstriyel atıklar, arıtma sistemlerinden gelen çamurlar, kanalizasyon çamurları vb. bazı atıklar da bulunmaktadır. Bu içerik mevsime ve ekonomik duruma göre değişir. Örneğin son 20 yılda katı atıklarda bulunan kağıt ve plastik oranı oldukça artmıştır. [2,17]

EPA'nın 1988 verilerine göre belediye atıklarının %50'sini kağıt, kağıt ürünleri ve ahşap, %40'ını metaller, yiyecek ve plastikler, %10'unu deri, tekstil ve muhtelif inorganikler oluşturmaktadır. Ayrıca evlerden toplanan temizlik malzemeleri, tinerler veya pestisitler de depo alanlarına gelmektedir. Bunların %0.5 ile %1.0 oranındaki kısmını tehlikeli atıklar oluşturur. Kurşun-asit piller, solventler ve kuvvetli asitler veya alkali atıkların yaklaşık olarak %5 ile %16 sı yine belediye atıkları ile birlikte depolara boşaltılmaktadırlar. Sonuç olarak evsel atıkların %0.24'ünü tehlikeli atıklar oluşturur.[18, 19]

Organik atıkların yapısı atığın depo sahasında ayrışma hızını ve bu nedenle de çöp suyunun kalitesini önemli ölçüde etkiler. Bakteriler için toksik olan maddelerin varlığı biyolojik ayrışma süreçlerini yavaşlatır ya da engeller. Çöp sızıntı suyundaki organik ve diğer maddelerin miktarı, organik madde ile çöp suyu oluşturacak suyun temasına olduğu kadar pH ve katı-sıvı etkileşimindeki dengeye

de bağılıdır. Özellikle, metallerin büyük bir bölümü asidik koşullar altında çözünürler. [6]

Atık maddenin çöp suyuna kütle transferini oluşturan çökelme, çözünme, redoks, ve sorpsiyon gibi fiziksel ve kimyasal süreçler pH tarafından etkilenir. Genel olarak, katı atığın anaerobik (havasız) ayrışmasının ilk aşamasındaki asidik koşullar kimyasal çözünürlüğü artırır ve çöpün atık madde tutma kapasitesini düşürür. [6]

Atıklar fiziksel ve kimyasal yapılarına göre süzülebilme özeliğine sahiptirler. Farklı özelliklere sahip atıklar depolandıkları alan içinde temasta bulunduklarında birbirlerini etkileyebilirler. Örneğin atıkların içinde bulunan bir toksik madde solventi, bu toksik madde ile temasa geçtiğinde onu sıvı halde sızıntı suyu içine geçirebilir. [20]

3.2.2. Atığın İşlenmesi

Sızıntı suyu özelliklerini etkileyen işleme yöntemleri iki tanedir. [21, 22]

- i) **Parçalama:** Parçalara ayırarak küçültme, geçirgenliğin azaltılması, yoğunluğun artması, bozunma oranı ve sızıntı suyuyla olan temas yüzeyini etkiler. Fungaroli ve Steiner'in 1979'da yaptıkları çalışmalarda, özgül yüzey alanının ve buna bağlı olarak biyolojik ayrışma hızının artmasının, sızıntı suyundaki maddelerin konsantrasyonlarının artmasına sebep olduğu birim katı atık hacmi başına düşen kirletici miktarını artırdığı görülmüştür.
- ii) **Sıkıştırma :** Bu metodda birim hacme düşen kirletici kütlesi sıkıştırılmamış atıktan daha düşüktür. Sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış atıkların nem tutma kapasitesi, sıkıştırılmamışlardan daha az olduğu için dışarıdan gelen su ile fazla temasta bulunmazlar ve nispeten sızıntı suyunun miktarının artmasına yol açarlar. Fakat temasın azalması nedeniyle kirletici parametrelerin konsantrasyonu daha düşük olur.

3.2.3. Depo Alanı İşletme Şeklinin Etkileri [21]

Sızıntı suyu oluşumunu etkileyen işletme şartları şunlardır:

1. Depo alanına su eklenmesi,
2. Sızıntı suyunun geri devri,
3. Atıksu çamuru ile karışık depolama,
4. Kireç eklenmesi,
5. Kontrolsüz atık kompostlanması,
6. Atıkların sıkıştırılması,
7. Atık tabakalarının kalınlığı,
8. Depo dolma süresi.

Su veya kireç eklenmesi gibi işlemler sadece laboratuarlarda ve pilot ölçekteki deneylerde kullanılmıştır. Sonuçların diğer dezavantaj ve maliyet ile bir araya geldiğinde mükemmel olmadığı görülmüştür.

Atık çamuru ile beslenmesi, tamamen farklı sonuçlar getirmiştir. İsviçre'deki bir depoda kısa bir sürede organik madde miktarı düşmüştür. Buna rağmen, pilot ölçekta çamurun depo sahasına dağıtım şekline göre, sonuçlar iniş ve çıkış göstermiştir.

Sızıntı suyunun depo yüzeyine resirkülasyonu çok kullanılan bir işletme şeklidir. Küçük depo sahaları üzerinde yapılmış deney sonuçları, gelen katı atığın nem muhtevasına da bağlı olarak, organik madde muhtevasında çok keskin bir düşüş göstermiştir. Çöp sızıntı suyunun yeniden sirküle edilmesi , çöp suyunun bulunduğu sahada arıtılması ve katı atığın ayrışmasının hızlandırılması için iyi bir mühendislik tekniğidir. Çöp suyu sirkülasyonunun yararları pek çok araştırmacı tarafından dile getirilmiştir.

Depo alanlarında tabaka yüksekliği yılda 2 m'yi aştığında, resirkülasyonun sızıntı suyu oluşumuna hiç bir etkisi olmamıştır. Genelde, nem muhtevasının yükselmesi resirkülasyon sebebi değildir. Sızıntı suyu resirkülasyonu haricinde, ince tabakalar ile çöp depolanması halinde, metan faza ulaşılmanın daha kısa sürede olduğu görülmüştür.

Sızıntı suyu temel parametreleri arasında, atıktaki mikro kirleticiler ile ilgili bilgi fazla değildir. Depo işletmesindeki modifikasyonlar sadece metan faza gelinmesini geciktirmektedir, fakat uzun süreli dönemlerde etkileri gözlenememiştir.

3.2.4. Depo Alanının Yaşı

Sızıntı suyunun kompozisyonundaki ve atıktan uzaklaştırılan katı maddelerin miktarındaki değişiklikler genellikle depo sahasının yaşına bağlanır. Sahanın yaşı, atıkların ayrışmaya başlaması veya sızıntı suyunun ilk ortaya çıkışından itibaren geçen süredir. Depo sahasının yaşı, katı atık stabilizasyon süreçlerine bağlı olarak sızıntı suyu özelliklerinin değişiminde önemli rol oynar. Sızıntı suyu bileşimindeki değişiklikler depo sahasının yaşına değil aynı zamanda atık maddenin stabilizasyon derecesine ve çöp yığını arasına sızan su miktarına da bağlıdır. [6]

Sızıntı suyu içinde bulunan organik bileşiklerin ortaya çıkması ve konsantrasyonu depo alanı yaşına bağlı olarak önemli ölçüde değişir. İlk birkaç yıl içinde bu organiklerin konsantrasyonlarında ani bir çıkış görülür. Bazen birkaç ay içinde maksimum değerlere çıkabilirler. Altı ile sekiz yıllık periyotlar içinde bu konsantrasyonların hemen hemen sabit kaldığı görülür. 20 yıl sonunda da neredeyse sıfıra yakın bir değer alırlar. Virüslerin ve patojenlerin de aktiviteleri benzer bir seyir izler. [25, 26, 27]

3.2.5. Fiziksel ve Kimyasal Reaksiyonlar

Fiziksel olarak sızıntı suyunu etkileyen faktörlerin başında filtrasyon, dispersiyon ve bazı bileşiklerin uçucu özelliklerinden dolayı havaya geçmeleri gelir. Bu faktörlerden sonuncusunu etkileyen unsurlar; buhar basıncı, suda çözünübilirlik, toprağın nem oranı, uçuculuk, rüzgar hızı, sıcaklık, zaman ve yüzeyden olan uzaklıktır. Kimyasal olarak etkileyen faktörler ise; indirgenme / yükseltgenme potansiyeli, asit / baz reaksiyonları, bileşiklerin daha kompleks hale geçmeleri, emme ve yoğunlaşma / çözünme tepkimeleridir. [25]

3.2.6. Sıcaklık

Sıcaklık çözünürlüğün ve kimyasal tepkimelerin oranını ve hızını etkiler. Ayrıca biyolojik faaliyetlerin daha kolay oluşmasına yol açar. Aerobik bozunma süresince sıcaklık yükselir ve maksimum değerine ulaşır. Anaerobik bozunmanın başlaması ile de düşer. Sıcaklık, belli bir derinlikte mevsimsel dalgalanma gösterir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar sıcaklığın sızıntı suyu yapısını etkilediğini göstermektedir. [25, 22]

3.3. SIZINTI SUYU OLUŞUMU VE DEPO ALANI HİDROLOJİSİ

3.3.1. Sızıntı Suyu Miktarını Etkileyen Faktörler

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 modellerdeki basitleştirmelerden kaynaklanan sınırlamalarına rağmen, makul düzeyde doğru sonuçlar verdiği görülmekte ve katı atık yönetiminde planlama aracı olarak kullanılmaktadır. [28]

Depolama sahasına yüzey kaplamasından gelen sızmaların örtü malzemesi özelliklerine ve mevsimsel değişkene bağlı olduğu görülmektedir. Yağış ve depo sahasının yüzey koşulları arasındaki etkileşimin dikkatlice değerlendirilmesi ve en az aylık esasa dayalı, sahaya özgü verilerin kullanılması tavsiye edilir. [28]

Depo sahasına yerleştirilmiş haldeki özgül ağırlığı $0.6-0.8 \text{ t/m}^3$ olan katı atıklarda, kuru ağırlığın % 35'i kadar ilk rutubete sahip olması durumunda, önemli miktarda sızıntı suyu üretimi başlamadan önce, genellikle katı atıkta ton başına $0.16-0.27 \text{ m}^3$ su absorbe etme kapasitesi mevcuttur. Deneysel veriler 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. [28] Sızıntı suyunun miktarını, örtü malzemesi özelliklerinin yanısıra katı atığın özellikleri ve meteorolojik faktörler de etkilemektedir.

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. [29]. Gelişmekte olan ülkelerde özellikle yaz aylarında çöpün kendi bünyesindeki nem miktarı yaklaşık %60-80 civarına çıkmaktadır. Bu yüzden de çöpün dökme ve sıkıştırılması sırasında ani olarak sıvı faza bir geçiş gözlenir [30].

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 sonbaharda 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.

Meteorolojik faktörler arasında sızıntı suyu oluşumuna en fazla etki yapan yağmurdur [31, 22]. Yağmurun frekansı, şiddeti ve süresinin bilinmesi oluşan sızıntı suyu miktarını saptamada önemli rol oynar. Bu yağış çöp içindeki kirleticilerin sıvı halde uzaklaşmasını sağlarken aynı zamanda biyolojik aktivitenin oluşması için gerekli olan nem oranını da sağlar. Eğimli arazilerde hafif yağmur yağdığında özellikle tepelerde büyük miktarda infiltrasyon oluşur. Diğer taraftan şiddetli ve kısa aralıklı yağmur yağdığında örtü tabakasının çok çabuk doyması sebebiyle küçük miktarda ama net bir infiltrasyon 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 infiltrasyon minimuma düşer. Yaz ayları çok sıcak olan yerlerde de bu kez buharlaşma ve terlemeden dolayı yine infiltrasyonun oldukça düştüğü görülür. Sonbaharda yağış oranının artması ve ilkbaharda kar ve donan kesimlerin erimeye başlamasıyla sızıntı suyu üretimi maksimuma çıkar. Bunların haricinde iklime bağlı olan havadaki nem miktarı, rüzgar ve hava basıncı da sızıntı suyu oluşumunu doğrudan ve dolaylı olarak etkiler. [32]

3.3.2. Depo Alanı Hidrolojisi

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 suyunun geri dönüşümü ile oluşan nem miktarı göz önüne alınır. Çünkü çöpün sıvıyı tutma veya absorbe etme kapasitesi oldukça düşüktür. Yine de, çöp bünyesinde oldukça büyük miktarda sıvı ihtiva eder.

Depo alanı ve çevresindeki arazi arasındaki rutubet alışverişi su dengesi metodu ile analiz edilir: [32, 33] Depo alanındaki su dengesi, en genel halde;

$$\text{Gelen Su} + \text{Su Üretimi} = \text{Giden Su} + \text{Depolanan Su} \quad (3.1)$$

veya;

$$\text{İnfiltrasyon} - \text{Buharlaşma} = \text{Depolanan Nem} + \text{Sızıntı suyu} \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir.

Buradaki infiltrasyon depo alanı üzerine düşen yağış ile akış arasındaki farktır. Sızıntı suyu depo alanı altında oluşan veya deponun hemen eteğinde toplanan sudur. Depolanan nem ; çöp içinde tutulan su ve yarı geçirgen katmanlarda tutulan

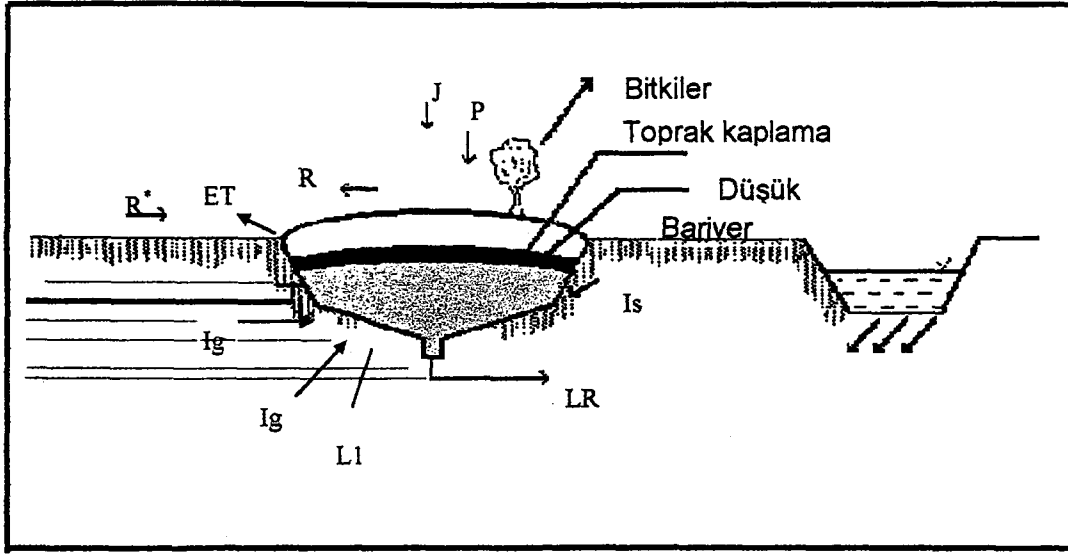
aşağı süzülen veya üst katmanın hemen altında toplanan ve eğimden dolayı bir akışı bulunan, direk olarak buharlaşamayan sudur.

Yılda toplam olarak 750 mm den fazla yağış alan yerlerde bulunan depo sahaları doğal olarak sızıntı suyu üretirlerken, kurak bölgelerde yıllık olarak 325 mm den az yağış alan yerlerdeki depo sahalarından hiç sızıntı suyu kaynaklanmadığı belirtilmektedir. Saxon (1983), yıllık yağışın 400 mm 'nin altında olduğu iklimlerde, doğal olarak tüm yağışı buharlaşma ile transfer olacağı ve eğer depo sahasının bulunduğu bölgede yıllık olarak net bir su açığı söz konusu ise, çöp sahasının tabanında çok az miktarda sızıntı suyunun mevcut olacağını hatta hiç bulunmayacağını ileri sürmektedir. [34]

Ayrıca, depo sahasının iyi projelendirilmesi ve iyi işletilmesi durumunda, potansiyel buharlaşmanın üzerinde yağış olsa dahi, çöp kütlesindeki yıllık su açığı sürdürülebilir. Bu, katı atık kütlesinin içerisine su sızmasını azaltmak sureti ile gerçekleştirilebilir. Çöp sahasındaki uygun bir eğim ve örtü tabakasının dikkatli bir biçimde su geçirmez olarak yapılması ile başarılabılır. [34]

Avrupa'da genelde infiltrasyon oranı yıllık yüzde 10 ile yüzde 25 arasında değişirken bazı belli alanlarda bu miktarın yüzde 50'lere vardığı rapor edilmiştir. Eğer yıllık ortalama sızma 0.9 mm/gün olarak alınırsa bir hektarlık düzenli depo alanında 9 m³/gün veya 3285 m³/yıl sızıntı suyu oluşumu gözlenir.

Yukarıdaki (3.1) ve (3.2) eşitliklerinde, boşaltma anında çöpün aşırı doymuş olmadığı varsayılmıştır. Bu yüzden yukarıdaki (3.2) denklemi aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir. Bu eşitlikte atıkların aşırı doymuş olduğu durumlarda depolanan nem eksi değer alır.



Şekil 3-2 Tamamlanmış depo alanında su dengesi

P = Yağış

J = Sızıntı suyu geri dönüşümü veya göçü

R = Yüzeyel akış

R* = Dış araziden gelen akış

ET = Asıl direk buharlaşma

Us = Topraktaki su içeriği

Uw = Çöpün su içeriği

S = Atık çamurlarla gelen su

Is = Doğal ortamdan gelen su

Ig = Doğal ortamdan gelen su

L = Toplam sızıntı suyu oluşumu

L1 = Doğal su kaynaklarına giden infiltrasyon

LR = Toplama kanallarında toplanan sızıntı suyu olarak tanımlanmaktadır.

$$\text{İnfiltrasyon} - \text{Buharlaşma} = - \text{Depolanan Nem} + \text{Sızıntı suyu} \quad (3.3)$$

Depo alanı, nem kapasitesini doldurana kadar su toplar. Bundan sonra eklenecek olan herhangi miktardaki su, depo alanı tabanında toplanır. Bu su dengesi Şekil 3-2'de ifade edilmiştir. Bu şekildeki parametrelere bağlı olarak şöyle bir eşitlik yazılabilir:

$$P - E \pm \Delta U_w - R = LR \quad (3.4)$$

Su dengesi, verilen bir zamanda deponun belli bir katmanının birim alanına giren su kütlesinin girmesi, çıkması ve harcanması göz önüne alınarak hesaplanır. Sızıntı suyunun verilen zaman aralığında oluşup oluşmayacağı su tutma kapasitesi ile karşılaştırılarak bulunur. Eğer su tutma kapasitesi değeri su miktarından az ise sızıntı suyu oluşur.

- Yüzeysel Akış

İnfiltrasyona uğramadan alan yüzeyinde akan ve sızıntı suyu üretimini etkilemeyen bir olaydır. Bu akış, yağış şiddetine, toprağın ihtiva ettiği neme, topografik özelliklere ve toprağın morfolojik özelliklerine bağlıdır. Aşağıda akışı tanımlayan iki metod verilmiştir.

- Rasyonel Metod [35]

Bu metotta, yüzeysel akışın yağışa oranı sabit olup yüzeysel akış;

$$R = c \times P \times A \quad (3.5)$$

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 metod 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 hesaplanamamakta veya çok düşük olarak hesaplanmaktadır. Çeşitli tarım ve

mühendislik uygulamaları için, yüzeysel akış katsayısı ve yüzeysel sızma ile ilgili olarak literatürde pek çok katsayı verilmiştir. Tablo 3.7 topografya, toprak tipi, ve yüzey bitki örtüsüne bağlı olarak üç ayrı yüzeysel akış katsayısı listesi verilmektedir. [28]

Tablo 3-7 Farklı topografya, toprak ve yüzey örtüsüne sahip drenaj alanları için yüzeysel akış katsayılarının karşılaştırması [28]

Saha tipi	Yüzeysel akış katsayısı C								
	Düz eğim < %2			Yokuşlu %2-10			Tepelik > %10		
Çıplak toprak (kil)	0.60	0.60	0.60	0.66	0.70	0.70	0.70	0.82	0.80
Kil veya siltli toprak	—	0.50	0.50	—	0.60	0.60	—	0.72	0.70
Çayır ve mera	0.25	0.30	0.35	0.30	0.36	0.45	0.35	0.42	0.55
Ekili-geçirimsiz (kil)	0.50	0.40	0.50	0.55	0.60	0.55	0.60	0.60	0.70
Ekili-geçirimli (kumlu)	0.25	0.10	0.20	0.30	0.16	0.30	0.35	0.22	0.40

- İnfiltrasyon Eğrisi Metodu [35]

1947'de Amerika Birleşik Devletleri Tarım ve Toprak Koruma Hizmetleri Departmanı (USDA-SCS) tarafından formüle edilmiş olan bu metod, 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 yağış anında, yüzey suyu miktarını yağış yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak hesaplanması mümkündür. Bu metodun doğru kullanımı için, en azından günlük tercihen 12 yada 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. SCS metodunda, toprağa sızan su miktarının hesabı;

$$f_p = f_c + (f_o - f_c) \times \exp(-kt) \quad (3.6)$$

eşitliği kullanılarak yapılır.

f_p = İnfiltrasyon kapasitesi

f_c = Sabit infiltrasyon kapasitesi

f_o = Yağışın başladığı andaki toprağın infiltrasyon kapasitesi

t = Yağmurun başladığı andan itibaren geçen zaman

k = Toprağın cinsine bağlı bir oran sabiti

k , f_c ve f_o değerleri üst katman toprağının geçirgenlik özelliğine, depo alanının eğimine, bu tabaka üzerinde yetişen bitki türüne ve ölçümlerin yapıldığı andaki toprağın sahip olduğu nem muhtevasına bağlıdır. [35]

Yağışın, yüzeysel akışa geçen kısmı ise,

$$Q = (P - 0.2 * S)^2 / (P + 0.8 * S) \quad (3.4)$$

bağıntısından hesaplanır.

Q = Yüzeysel akış

P = Toplam yağış

S = Maksimum su tutma kapasitesi

- Buharlaşma ve Terleme

Son çalışmalar depo sahasının üstünün kapatılması ve bitki ekilmesi sonucu alanda su kaybının terleme şeklinde ortaya çıktığını göstermiştir. Burada kaybolan su miktarını herhangi bir bitki örtüsüne sahip olmayan bir depo sahasındaki buharlaşma sonucu oluşan su kaybı ile kıyaslarsak terleme ile oluşan miktarın buharlaşma ile oluşandan oldukça fazla olduğu görülür.

- İnfiltrasyon ve Örtü Malzemesinde İnfiltrasyon

Örtü malzemesinden sızan suyun miktarı aşağıdaki teori ile kolaylıkla bulunabilir. Efektif yağış (net yağış) belirli bir hacmi dolduracak ve bu hacim maksimum kapasitesine ulaştığında, su bir alttaki tabakaya sızacaktır.

Eğer az geçirgen bir tabaka (kil) mevcut ise, bu bir alttaki atığın içine girmesini kısıtlayacak doygun bir tabaka oluşacak ve su bu tabaka içinde Darcy Kanununa göre hareket edecektir:

$$Q = K_B \times S \times i \quad (3.5)$$

burada:

K_B = Toprağın geçirgenliği (m/s)

S = Akımın olduğu alan

i = Hidrolik eğim (yeraltı suyu hidrolik yükünün, H_s , tabaka kalınlığına, H_B , oranı)

Q = Tabaka içindeki debi

- Suyun Atık İçindeki Hareketi

Atık kütlesi belirli özelliklere sahip (örneğin yüksek konsantrasyonlu bozunabilir maddeler) olduğundan, toprak için kullanılan genel parametreler (özgül ağırlık, yoğunluk, su muhtevası) atık için de kullanılabilir.

Depo yüzeyinden sızan su, atık tarafından saha kapasitesine erişilinceye kadar absorbe edilme eğilimindedir; suyun infiltrasyonu bu değerin üstüne çıktığı zaman, önceleri doymamış koşullarda, sonunda ise yeterli su varsa doygun koşullarda, atık içindeki su hareketi başlar.[37]

- Atık Geçirgenliği

Akışkanların toprak içindeki hareketini tanımlamak amacıyla, kapsamlı çalışmalar yapılmasına ve su akışını belirten formüller üretilmesine rağmen, suyun atık içindeki hareketini inceleyen az sayıda araştırma yapılmıştır. Bunlar geçirgenlik ve yoğunluk arasında bağlantı kurulmasına yeterli olmamaktadır.[38]

Katı atığın geçirgenliği pek çok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Oweis ve diğerleri (1990) belediye katı atıkları için yaptıkları çalışmada doymuş geçirgenliklerin 10^{-3} den 10^{-5} cm/s aralığında değiştiğini saptamıştır. Korfiatis ve diğerleri (1984) laboratuarda test edilen örnekler için $10^{-1.9}$ dan $10^{-2.1}$ cm/s' e kadar doymuş geçirgenlik aralığı bulmuşlardır. Daha yakın zamanlarda , Bleiker ve diğerleri (1993) tarafından yapılan bir araştırma Kanada'da , Toronto , ve Ontario ' dan alınan örneklerde $10^{-4.2}$ den $10^{-7.7}$ ye kadar olan bir geçirgenlik aralığı hesaplamışlardır. Bleiker'in çalışması da yoğunluk arttıkça yani sıkıştırmanın artması ile geçirgenliğin azaldığını göstermiştir. [23]

Suyun atık içinde hareketini incelerken göz ardı edilmemesi gereken bir başka konu da ara örtünün bulunmasıdır. Ara örtü, yeteri kadar geçirimsiz bir tabaka gibi davranarak suyun depo içinde birikmesine ve su tablalarının oluşumuna sebebiyet verebilir ya da, doymuş atık oluşmasını sağlayabilir. Doymunluk, anaerobik koşulların daha çabuk oluşmasına ve sızıntı suyu özelliklerinin daha hızlı değişmesine sebep olabilir.

Depolanan her atık katmanı için yerleştirilecek ve suyu yada sızıntı suyunu drene edecek sistem ile suyla doymun bölgelerin oluşması engellenebilir. Atık, su ile doymun durumda değil ise, sıvının akımı, doymamış gözenekli ortamda akıyormuş gibi düşünülecek modellenebilir. [39, 40]

İlk yaklaşım, atığın su muhtevasını ve suyun atık ile temas kapasitesini dikkate alan daha basit bir model olacaktır. Sızıntı suyunun belli bir su muhtevasında (atık katmanları boyunca küçük akım ve kanallaşma etkileri neticesinde, genellikle saha kapasitesinden daha az) oluşmaya başlayacağı ve daha sonra gittikçe artacağı, maksimum değerine saha kapasitesine erişildiğinde olacağı varsayılabilir.

Atığın saha kapasitesinin ve ilk su muhtevasının bilinmesi ile su temas edebilme kapasitesinin bulunması, sızıntı suyunun drenaj sistemine ulaşması için gerekli süreyi tesbitte yeterlidir.

Modern depo sahaları atık maddelerin sıkıştırılması konusuna elden geldiğince çok dikkat göstermektedirler. Böylece sonuçta daha az geçirgen olan bir çöp tabakası da elde edilmiş olmaktadır. Örneğin , katı atıkları kontrol etme işleminin bir parçası olarak parçalama işlemini de uygulayan deponi sahalarının sonuçta daha üniform ve daha homojen bir atık elde edecekleri umulabilir. Bununla birlikte , daha verimli bir sıkıştırma sonucunda toplam geçirgenliğin depo sahalarının standart geçirgenliğinden daha düşük olması mümkündür [23]

Çöp suyu en az dirençli olan ve daha düşük seviyede bulunan alanlara doğru akar. Çok büyük kütleler üzerindeki ağırlıklar için adeta bir köprü işlevi gördüklerinden , çöp suyunun akışı bu köprülerin altında oluşan kanallar yolu ile gerçekleşir. Zeiss ve Major (1993) üzerine üniform biçimde sıvı uygulanan ezilmiş sac kutuların karıştırıldığı çöp kütlesi kullanarak laboratuvar ölçeğinde bir çalışma yürütmüştür. Çöp kütlesi içerisine yerleştirilen nem ölçme sensörleri, kanalize edilen çöp suyu ile ilgili olarak , belli bir çöp suyu uygulama metodunun verimliliğini önemli ölçüde etkileyeceğini göstermiştir. Korfiatis ve diğerleri (1984) yalnızca akış kanallarına yakın olan çöpün nemlendiğini not etmişlerdir ki bu da çöp suyunun depolanması ve biyolojik aktivitenin artırılması fırsatlarının azalacağını ima etmektedir. [23]

Depolarda yapılan deneyler ve laboratuvar ölçekli testler, pulverize edilmiş atığın saha kapasitesinin, pulverize edilmemiş atığına göre farklı olmadığını göstermiştir.

- Atığın Nem Tutma Kapasitesi

Atığın yerçekimi kuvvetine karşı tutabildiği maksimum nem miktarına alan kapasitesi denir. Alan kapasitesi dolana kadar depo alanı üzerindeki su atıklar tarafından absorbe edilir. Alan kapasitesi ile başlangıçtaki atığın ihtiva ettiği su miktarı arasındaki fark kabaca alanın absorpsiyon kapasitesini verir.

- Depo Alanı Zemin Özellikleri

Katı atık düzenli depolama alanlarının zeminleri sızıntı sularının tutulması, toplanması ve buna bağlı olarak yeraltı sularına kirlетici bir unsur olmasını engellemeleri açısından önemlidir. Zeminler doğal olarak geçirgen olmayabilirler. Ya da sonradan depo zeminine yayılan yapay veya doğal maddelerle bunu sağlamak mümkündür. Ayrıca bir zemin tutucu madde askıda veya çözünmüş olarak bulunan kirlетicileri de tutabilir. İdeal bir maddenin hidrolik iletkenliği 10^{-7} cm/s veya daha az olmalıdır. Sentetik olarak genelde çimento, asfalt, plastik maddeler veya membran kullanılır. En çok kullanılan doğal madde ise killi özelliğe sahip alanlardır. Bazen kil sızıntı suyu içinde bulunan kimyasallar tarafından çözünebilir veya kil direkt partiküller olarak sızıntı suyuna geçer. Ancak bu miktar çok az olduğu için göz ardı edilebilir. [35, 41, 42]



4. SIZINTI SUYU MODELLEME ÇALIŞMALARI

4.1. GENEL

Katı atıkların düzenli depolama yöntemi ile giderilmesi gerek maddi gerekse kullanılabilirliği açısından en yaygın yöntemdir. Ancak bu uygulamanın bir ürünü olan çöp sızıntı suyunun yabana atılmayacak bir kirleticisi olması bu konu üzerinde ciddi çalışmaların yapılmasına yol açmıştır.

Genellikle matematik modelleme üzerine kurulan bu çalışmaların genel amacı sızıntı suyunun bertarafı, tanınması (karakterizasyonu), depo alanındaki davranışı ve miktarının belirlenmesidir.

Sızıntı suyunun içeriğini tanımlamak ve tahmin etmek için iki ana metot vardır. Bunlardan biri; daha önce yapılan matematik modelleri kullanmak, diğeri ise belirli bir depo alanı için sızıntı suyu konsantrasyonunu zamana bağlı olarak gözlemektir. Ancak, bu metot sadece sonuçları deneysel olarak alınan özel depo alanları için geçerlidir. [31]

Sızıntı suyu kirleticilerinin tahmini için depolarda meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların çok iyi bilinmesi yapılacak matematik modelleme çalışmalarına yön vermesi açısından önemlidir.

4.2. FİZİKSEL MODELLEME ÇALIŞMALARI

Laboratuvar ölçekli depo modelleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar, fiziksel model çalışmaları olarak sınıflandırılır. Laboratuvarda yapılan çalışmaların ilki Quasim ve Burchinal [43] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda 0.9m çapında

ve 1.2, 2.4 ve 3.6m yüksekliğinde üç kolona, benzer özellikte yaz mevsimi katı atıkları 345-370 kg/m³ kuru yoğunlukta olacak şekilde yerleştirilmiştir. Yükseklik farkının sızıntı suyu oluşumunu ve kirletici özelliklerini nasıl değiştirdiği araştırılmıştır. Kolonlara uygulanan yağış, sıcaklık vs. gibi çevre şartları sabit tutulduğundan kirletici konsantrasyonlarının, kolon yüksekliği ile arttığı sızıntı suyu miktarının kolon yüksekliğiyle bir ilişkisi olmadığı gözlenmiştir.

Başka bir çalışma da Fungarolli ve Steiner [25] tarafından 4m yüksekliğindeki bir tankın içine laboratuvarda belli bir bileşime uyarak hazırlanan (kuru yoğunluğu 225 kg/m³) katı atıkları yerleştirmiş ve sızıntı suyu oluşumunu ve kirletici özelliklerini incelemiştir. Çalışmada farklı derinliklerde gaz bileşenleri ve sıcaklık değişimleri ölçümleri yapılarak anaerobikleşmenin seyri araştırılmıştır. Depoya su ilavesi yapılmıştır. Uygulamadan yaklaşık 200 gün sonra sızıntı suyu oluşumu görülebilmektedir. Bu su uygulaması mevsimlik yağış ve buharlaşma durumlarına göre yapılmış ve kirletici konsantrasyonlarının mevsime göre nasıl değişim gösterdiği gözlenmiştir. TKM ve KOİ konsantrasyonlarının da mevsimsel değişimden etkilendiği görülmüştür. Sıcaklık ölçümleri de ilk hafta içinde sıcaklıkta hızlı bir yükselme (≈ 68 °C) olmakta ve zamanla düşüş olduğunu göstermiştir. Yaklaşık 4 ay sonunda sıcaklık ve gaz ölçümlerinden alınan sonuçlar anaerobik şartların hakim hale geldiğini ve özellikle kolonların taban ve orta kesimlerinde yoğun olarak oluştuğunu göstermiştir.

Rovers ve Farquhar [18] yaptıkları çalışmada mevsimlere göre değişen infiltrasyon hızının, sızıntı suyu üretimi ve kompozisyonu, gaz üretimi, sıcaklık değişimi ve depoda meydana gelen çökmeler üzerindeki tesirlerini araştırmışlardır. İnfiltrasyonun fazla olduğu durumlarda, gaz üretiminin ve çökme olayının arttığı, ayrıca katı atıkların yerleştirilmesinden hemen sonra sıcaklığın arttığı gözlenmiştir.

Raveh ve Avnimelech, [20] katı atıkta bulunan bozunabilir maddelerin sızıntı suyuna geçişini belirlemek ve sızma kontrolü öğütme ve sıkıştırma gibi işletme parametrelerinin sızıntı suyu oluşumu ve konsantrasyonlarına tesirlerini incelemeye çalışmışlardır. Fazla sıkıştırılmamış katı atıkların, mevcut olan aerobik ortam sonucu humuslaşmanın olduğu, sıkıştırmanın olduğu ortamlarda ise ortam anaerobik ve asidik olduğu için çözünme reaksiyonunun etkili olduğu tespit edilmiştir.

Cameron ve arkadaşları [26, 27] çapı 30 cm ve yüksekliği 38-114cm olan 10 adet PVC boruya katı atıklarla birlikte değişik oranlarda fosseptik çamurları karıştırarak bu oranların ve ayrıca o zaman için kaydedilen yıllık yağış miktarlarının (381-1143mm) sızıntı suyu kirletic konsantrasyonlarına ve oluşan gazın miktarı ve içeriğine olan etkilerini araştırmışlardır.

Pohland [44] ilk yaptığı çalışmasında, 4 kolona öğütülmemiş katı atıkları koyup, bunlarda pH kontrolü ve başlangıçta ilave edilen aşı çamurlarının tesirlerini incelemiştir.

Yine aynı konuda Tittlebaum [45] tarafından yapılan çalışmada farklı olarak öğütülmüş katı atık ve besi maddelerinin mevcut olduğu bir ortamda stabilizasyonun nasıl değişeceğini belirlemeye çalışmıştır.

Y.C Jin , T. Viaraghavan ve D.D Bailey (1997) [46] tarafından, Kanada'nın Regin şehrine kullanma ve içme suyu sağlayan Candie ve Regina su kaynaklarına kentin katı atık depo sahasından kaynaklanan çöp sızıntı suyunun karışması sonucunda söz konusu depo sahasının ürettiği çöp sızıntı suyunun miktarını ve çöp suyu karışmış olan kaynaktaki suyun hareketlerini belirlemek için modeller yapılmıştır. Ayrıca Candie su kaynağındaki kirlenmiş suyun henüz kirlenmemiş olan Regina su kaynağına karışması için geçen zaman süresi de tahmin edilmiştir.

Regina katı atık depolama sahasından uzaklaşan çöp suyu miktarının yaklaşık hesaplanması için HELP modeli (Hydrologic Evalation of Landfill Performans) kullanılmıştır. Hesaplamadaki hatayı tahmin etmek için , programda yer alan farklı iklim , dizayn ve girdi seçenekleri yardımı ile sanal bir deponi sahası dizayn edilmiştir. Daha sonra maksimum hata belirlemesi için Regina deponi sahasına üzerinde bir takım benzeşimler uygulanmıştır. Hesaplamalarda dibe çökme , süre, yağmur sularının yüzdesi , zemin üzerindeki örtü tabakası , yanal drenaj , sona erme (bitme) noktası , eğim / sınır çizgisi ve sızma fraksiyonu gibi çeşitli girdi parametreleri göz önünde bulundurulmuştur.

Daha sonra Regina kenti deponi sahasının kimyasal dizayn parametrelerini almak ve gerçek iklimsel verileri kullanarak HELP modeli işletilmiştir. Sanal simülasyon benzetimlerinin sonuçlarını depo sahasına uygulayarak , bazı hata tahminleri elde edilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda;

HELP modeli Regina kenti deponi sahasındaki çöp suyu sızıntısını çöp katmanının taban kısmında oluşan miktar $13457 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak tahmin edilmiştir. Hidrolik iletkenliği 10^{-7} cm/s olan bir çamur katmanı için ortaya çıkan çöp suyu miktarı $8352 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ve 10^{-8} cm/s için $1374 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak , Regina kenti belediye depo sahası için , çöp suyu hesaplamasında bir dizi benzetim eğrisinden elde edilen hata oranı %40 olarak bulunmuştur. Candie aküferinin suları daha düşük rakımda bulunan Regina aküferine akıyorsa , bu aküferdeki suların aynı kirlilik düzeyine ulaşması , çamur tabakasının kalınlığı yılda 276 m^3 lük akışla 335 yılda erişebileceği tahmin edilmiştir.

Philip T. Creonar ve Debra R.Reinhart (1997) [23] tarafından , sızıntı suyunun homojen ve homojen olmayan katı atık kütleleri üzerine sirkülasyonu yapılması sonucunda sızıntı suyunun özellikleri incelenmiştir. 10^{-3} cm/s ve 10^{-4} cm/s geçirgenliğe sahip homojen ve homojen olmayan çöp kütlelerine yatay kanallar aracılığı ile günde sekiz saat ve $4 \text{ m}^3/\text{m}$ çöp suyu pompalanarak gerçekleştirilen sirkülasyon sonucu aşağıdaki, gözlemler yapılmıştır.

- Geçirgenliği 10^{-3} cm/s olan çöp kütlelerine , çöp suyu pompalama işlemi durdurulunca bile sızıntı suyunun sızmaya devam ettiği, geçirgenliği 10^{-4} cm/s olan bölge oldukça doymuş özellik gösterdiği ve çöp suyunun yer çekimi etkisiyle çok yavaş hareket ettiği görülmüştür.
- Çöp suyunun kanaldan yanal hareketi , katı atığın geçirgenliği azaldıkça artar . Bununla birlikte katı atığın geçirgenliği artınca , artezyen koşulların gelişmesi potansiyelini azaltır ve yüzey sızmaları artar.
- Heterojen ve düşük geçirgenliğe sahip çöp alanlarında çöp suyu hareketi olmaktadır.
- Aşırı pompalama kanal duvarlardan sahaya çöp suyu sızması , çöp suyunun yukarıya doğru hareketi ve böylece çöp sahası yüzeyinde artezyen koşulları gelişebilir.

Mikrobiyolojik modeller, sızıntı suyu içeriğini tanımlamak açısından oldukça önemli modellerdir. Bu modellerin birinci gurubu öncelikli olarak gözenek ölçüleri üzerinde yoğunlaşan ve biofilmleri içeren modellerdir. Biofilm kararlı ve kararlı olmayan durumlar için kullanılabilir.

Mikrobiyolojik modeller, sızıntı suyunun hareketini ve ayrışmasını etkileyen mikrobiyolojik etmenleri anlama açısından önem taşır.[47] Mikrobiyolojik modeller, bir depo alanından çıkan sızıntı suyunun değişimini inceleyen matematiksel modellerin geçerliliğini destekleyen deneysel verileri de içerir. [48]

Mikrobiyolojik aktivitelere bağlı olarak çözünen ve substrat olarak bilinen maddelerde meydana gelen kimyasal değişimlere biyolojik ayrışma denilmektedir. Araştırmacılar tarafından geliştirilen modellerin genellikle yüzey altında meydana gelen biyolojik ayrışma simülasyonu üzerine olduğu görülmüştür. Bu modeller de deneysel ifadeler kullanılarak sızıntı suyu içinde ki çözünen maddelerin geçişi tanımlanmıştır [49, 50].

Mikrobiyolojik modeller hemen üst katmanın altında bulunan atığın içinden geçen akıyı tahmin etmeye yarar. Bouwer ve McCarty 1984'te [51] ve Molz, 1986'da [52] biofilm olayını kullanarak organiklerin biyolojik bozunumunun üzerine çalışmalar yapmışlardır.

Kirleticilerin sızıntı suyuna geçişlerinde büyük önem taşıyan kimyasal reaksiyonlar üzerine de bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar iyon değişimi, adsorpsiyon, indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonları, hidroliz ve kompleks hale geçme reaksiyonlarını laboratuarda kurulan fiziksel modellerde incelenmesini içermektedir.

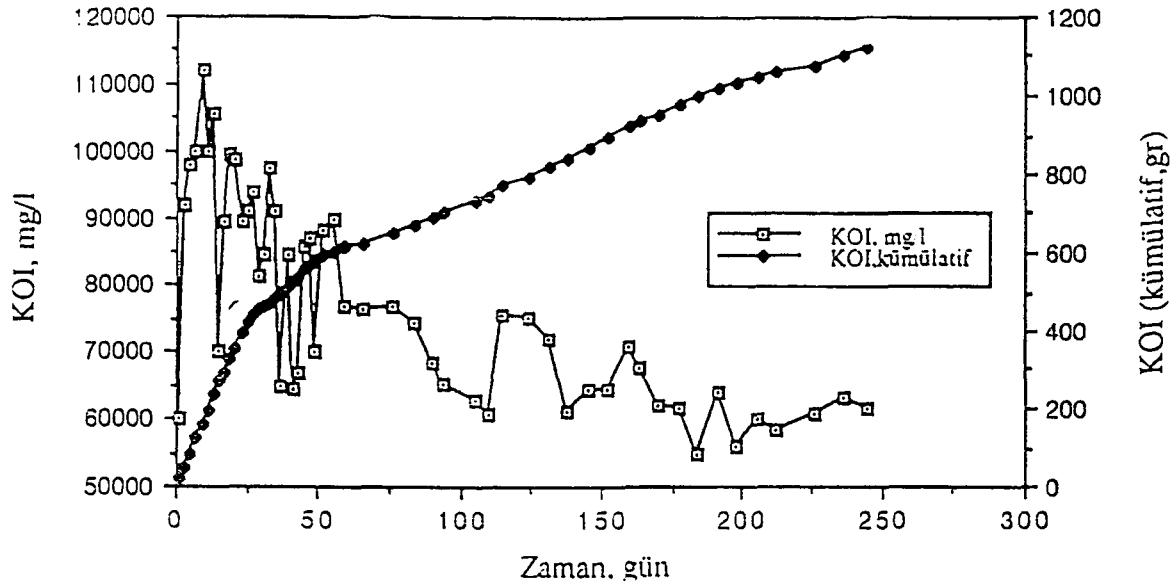
Talha Gönüllü ve arkadaşları (1997) [53] tarafından yapılan çalışmada hazırlanan bir çöp lizimetresine , katı atıklar ve toksik kirletici olarak potasyum kromat , bakır sülfat ve fenol ilave edilerek toksik kirleticilerin sızıntı suyunda oluşturduğu etki ortaya konulmuştur. Lizimetreye yerleştirilen katı atık karışımları ve ilave edilen toksik kirletici miktarları Tablo 4.1' de verilmiştir.

Katı atıklar lizimetreye yerleştirildikten sonra atıklar doyma kapasitesine ulaşması için ilk gün 2.5 lt su eklenip , hızlı bir doyurma işlemi ile , lizimetre altından 1.5 lt sızıntı suyu geldiği görülmüştür . Bunu takip eden günden itibaren , her iki günde bir (50 gün süresince) 200ml su eklenip sızan su numune olarak alınmıştır. Deneyler 50 gün sonra haftada bir yapılan deneylerle devam etmiş ve yaklaşık 8 ay sürdürülmüştür. Tüm çalışma boyunca sızıntı suyu pH değerinin asidik sahada kaldığı görülmüştür. Bu durumun büyük ihtimalle , tesis içindeki çok yüksek miktardaki zehirli birleşiklerin etkisiyle metan mikroorganizmalarının gelişmemesi sonucunda meydana geldiği ve gazifikasyon bölgesine geçilemediği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.1. Lizimetreye Konulan Çöp ve Kimyasal Miktarları [51]

Çöp Madde Bileşenleri	% Bileşen	Miktarı (Gr)
Organik maddeler	49.85	28813
Kağıt	8.46	4890
Tekstil	7.25	4191
Plastik	13.60	7861
Cam	4.53	2618
Metal	2.42	1399
<10mm. Kül ve diğer	13.89	8028
TOPLAM	100	57800
İlave Toksik Kirleticiler		
K ₂ Cr ₂ O ₇		51
CuSO ₄		35
Fenol		51
TOPLAM		57837

TKM ve KOİ için 100000 mg/1 nin üzerinde başlangıç konsantrasyonları elde edilmiş ve daha sonra 60000'ler seviyesine indiği ve nispeten stabil olarak devam ettiği ve sızacak maddenin en fazla %4 ünün 250 günde sızabildiği belirlenmiştir. Sudaki çözünürlüğü sonsuz olarak ifade edilebilen fenolün başlangıçta 100 ml/1 seviyesinde olduğu , 250 gün sonra 30 ml/1 seviyesine düştüğü ve 250 gün boyunca kolondaki fenolün %2'sinin sızabildiği ve ortamda tutulduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.



Şekil 4.1 Sızıntı suyundaki KOI'nin zamana göre değişimi

Bakır ve T. Krom konsantrasyonlarını 250 günde çok hızlı bir şekilde çok küçük konsantrasyonlara düştüğü belirlenmiştir. 250 gün içinde Bakır' ın % 0.1 'i ve T.Kromun takriben %2 si sızmıştır. Bu sonuçlara dayanarak , metallerin , fenole göre ortamda daha çok tutulma kabiliyetine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Samjai Karnchanawong, Takashi Ikeguchi ve Feni Karnchanawong (1997) [54] tarafından hazırlanan farklı derinliklerdeki lizimetrelere konulan katı atıklardan kaynaklanan sızıntı suları üzerinde çeşitli kirlilik parametrelerini belirlemek üzere analizler yapılmıştır. Pilot ölçeğe ve her biri farklı yükseklikte (0.6 dan 5.4 m ye kadar) 1.9m yarıçaplı dört adet sızıntı suyu gözlem tankı (lizimetre) yapılmıştır.

Yerleşim alanından yaklaşık 85 metre küp katı atık toplanmıştır. Büyük hacimli katı atıklar el ile ayrılırken , kağıt ve plastik maddeler mümkün olduğu kadar parçalanmıştır. Bundan sonra çöpler karıştırılmıştır. Karıştırma işleminin sonucunda , bir miktar toprak da kaçınılmaz olarak çöpe karışmıştır. Bu şekilde hazırlanan katı atık Tablo 4.2'de belirtilen yüksekliklerde gözlem tanklarına doldurulmuştur.

Analizler dolumdan bir hafta geçtikten sonra haftada bir , iki aydan sonra iki haftada bir , yağışlı mevsimde 3 ayda bir , ve kuru mevsim boyunca ayda bir

olarak yapılmıştır. Deney üç, yağmurlu ve iki kurak mevsimi kapsayan 853 günlük bir sürede gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.2. Lizimetrelerin toplam yüksekliği ve atık derinlikleri

Lizimetre	Yükseklik (m)	Atık derinliği (m)
No.1	6.14	5.39
No.2	4.62	3.87
No.3	3.10	2.37
No.4	1.28	0.61

Katı atık katmanının sığ olduğu dönemde yukarıdan aşağıya süzülen suyun çöp ile temas süresi daha kısa olduğu için , sızıntı suyu miktarının yağışı takip eden dönemde fazlaştığı ve daha sonra aniden azaldığı gözlenmiştir.

853 günlük çöp doldurma süresi boyunca 1 numaradan 4 numaraya kadar olan gözlem tanklarında oluşan çöp suyu hacmi sırasıyla 0.89 , 1.14 , 1.87 ve 6.25m³ /kg kuru atık idi. Bunun anlamı şudur; daha ince olan çöp katmanı kalın çöp katmanına kıyasla daha fazla hacimde çöp suyu üretmektedir.

Çöp dolumundan sonraki ilk hafta boyunca ,bazı kirlenici maddelerin konsantrasyonlarının çok yüksek olduğu görülmüştür (örneğin ; KOI, BOI₅ ve TOC). Bu dönem , yaklaşık 80 -100 gün sürmüştür. Tersine , bazı kirlenici maddelerin konsantrasyonları , örneğin , asidite , alkalinite, toplam katı maddeler, Cl, SO₄ , TKN ve NH₃ - N çöp dolumunu takip eden ilk 40 gün boyunca düşüktü , yavaş yavaş arttıktan sonra tekrar düştü.

Yukarıda değinilen parametrelerden ayrı olarak , her gözlem tankından alınan çöp suyunun pH derecesi ilk yağmurlu mevsim boyunca biraz asidik ve ilk kuru mevsimden test süresinin sonuna kadar biraz bazik idi. Bu değişme uçucu asit konsantrasyonunda ani bir artışa bağlanmaktadır. İkinci kuru mevsimde , ve bu mevsimin getirdiği güçlü indirgeyici koşullar nedeni ile , tüm çöp suyu örneklerinde çok düşük düzeylerde SO₄ konsantrasyonları kaydedilmiştir. İkinci yağmurlu mevsimden test süresinin sonuna kadar daha yüksek SO₄ konsantrasyonları

gözlenmiştir, bunun nedeni çöp içindeki organik metaryalin büyük bir bölümünün biyolojik bozunmasından kaynaklanan indirgeyici koşul olabilir.

Çöp katmanının derinliği göz önüne alındığında , çöp katmanı derinliği ne kadar yüksek olursa , kirletici konsantrasyonu o kadar fazla olur. Üstelik , şunu zikretmekte yarar vardır ki , çöp derinliği sadece 0.6 m olan 4 no'lu gözleme tankından elde edilen sızıntı suyundaki tüm kirletici konsantrasyonları çöp dolumundan bir yıl sonra , diğer gözleme tankları ile karşılaştırıldığında , aniden en düşük düzeye inmiştir.

Sızıntı suyu karakteristiklerinde zaman içinde meydana gelen değişiklikler biyolojik bozunmadaki metanolojik faza dolumun ilk yılı içerisinde ulaşılmış olduğunun göstermektedir.

Kirletici maddenin tümü üst katmandaki katı atıklardan çözünmüş , sızıntı suyu hareketi ile aşağıya doğru akmıştır. Sonuç olarak , kirletici maddelerin konsantrasyonu çöp katmanının derinliğine göre artış göstermektedir. Katı atığın üst katmanında hava sızması nedeni ile , aerobik biyolojik bozunma süreçleri derin katmana kıyasla sığ katmanlarda önemli bir rol oynamaktadır , ve çöp katmanının kalınlığı 0.61 den 2.37 m' ye arttığında kirletici maddelerin konsantrasyonunda ani bir artış ile sonuçlanmaktadır.

D. C . Jensen ve T. H. Chritensen (1997) [55] Danimarka 'da ki dört farklı depo sahasından kaynaklanan çöp suyu örneklerinde ağır metallerin ve kolloidal maddelerin miktarını ve depo sahaları için önemini ortaya koymaya çalışmışlardır. Çöp suyu örnekleri kolloidal maddeler ile ilgili olarak fraksiyonlara ayrılmıştır. Bu işlem dört fraksiyon da yapılmıştır. $< 0.001 \mu\text{m}$, $0.001-0.40 \mu\text{m}$, $0.40-1.2\mu\text{m}$ ve $> 1.2\mu\text{m}$. $1\mu\text{m}$ den daha küçük olan fraksiyon tamamen çözünmüş olarak tanımlanırken, diğerleri kolloidal fraksiyonlar olarak tanımlanmıştır. Çözünmüş ve partiküler madde arasındaki ayırım için literatürde sıklıkla $0.45\mu\text{m}$ kullanılmaktadır.

Çöp suyu örneklerindeki ağır metal konsantrasyonu , bir örnek dışında genellikle çok yüksek değildi. Konsantrasyon aralıkları şöyle idi; cadmiyum: 0.2-3.6 $\mu\text{g/l}$, nikel: 28-84 $\mu\text{g/l}$, çinko : 85-5310 $\mu\text{g/l}$, bakır: 2-34 $\mu\text{g/l}$, ve kurşun: 0.16 $\mu\text{g/l}$.

Bununla birlikte , ağır metallerin oldukça büyük ama hayli değişken bir bölümü koloidal fraksiyonlar ile ilişkili idi.

Nikelin koloidal fraksiyonu toplam nikel miktarının %10-60 ını , ve çinko , toplam çinko miktarının %0-95 ini oluştuyordu. Çinkonun çok yüksek olan %80 lik konsantrasyonu (5310 µq/l) , 0.001-0.40 µm aralığına sahip küçük koloidal fraksiyonda bulundu. Diğer metallerin konsantrasyonları düşüktü ve fraksiyonlar arasındaki dağılımları daha belirsizdi , ancak kadmiyum daha çok tümüyle çözülmüş fraksiyonda bulunuyorken, bakır daha çok koloidal fraksiyonlarda (%30-100) görülüyordu.

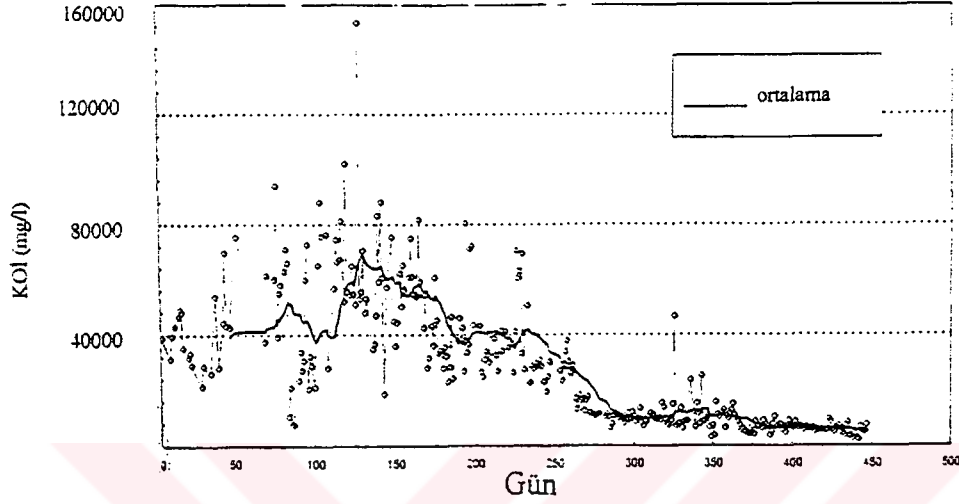
Su analizlerinde sıklıkla yapıldığı gibi , eğer çözülmüş fraksiyon 0.40 veya 0.45 te tanımlanmış olsaydı , ağır metallerin çoğunluğu çözülmüş fraksiyonda (Cd : %88-100 , Ni: %60-100 , Zn : %26-100 , Cu : %71-100 Pb :%67-100) bulunurdu (her ne kadar küçük kolloidlerin geçebileceği filtreler kullanılmış olsa da). Koloidal fraksiyonlarda ağır metallerin bulunması gerçeği , çöp suyunda, yeraltı suyunda ve yüzey suyunda ağır metal konsantrasyonlarının dağılımını inceleyen diğer araştırmalara paralellik göstermiştir. (örn; Gounaris ve diğerleri .(1993)) Alınan ilk sonuçlar , kolloidlerin organik maddeler kadar inorganik maddeleri de içerdiğini göstermiştir.

T. Chen ve arkadaşları (1997) [56] tarafından Hong Kong 'daki Nent depo sahası üzerinde ve çöp suyu biyolojik arıtma tesisinde yapılan araştırmaları yapılmıştır. Nent deponi sahasına ortalama 3800 ton evsel atık ve endüstriyel nitelikli katı atık gelmektedir.

Deponi sahasının işletilmesine başlanmasından ilk sekiz ay süre içinde KOİ ve NH₄-N değerleri tahmin edilen değerlerden sürekli yüksek olarak gerçekleşmiştir. Bu durum yüksek sıcaklık nedeniyle organik maddelerin çabuk bozulması , evsel atıkların oranının fazla ve kompozisyonunun farklı olması nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

İşletmenin 4 ve 10 uncu ayları arasında , ham çöp suyundaki KOİ konsantrasyonu 70000 mg/lit den 10.000mg / lit ye düştüğü ve bir yıllık faaliyetten sonra 10.000mg / lit ' nin altına düşmüştür. Bu' da deponi sahasında asetonojik

fazdan metan fazına hızlı bir geçiş olduğunu göstermektedir. Şekil 4.2'de KOİ'nin zamana göre değişimi görülmektedir. İklimin yanı sıra evsel atıklardaki yüksek nem oranı ve yüksek organik madde oranı metan fazı koşullarına hızlı geçişe önemli katkıda bulunmaktadır. Ilıman ülkelerde bu değişim genellikle deponi sahasını beşinci işletme yılında gözlenir. [57]

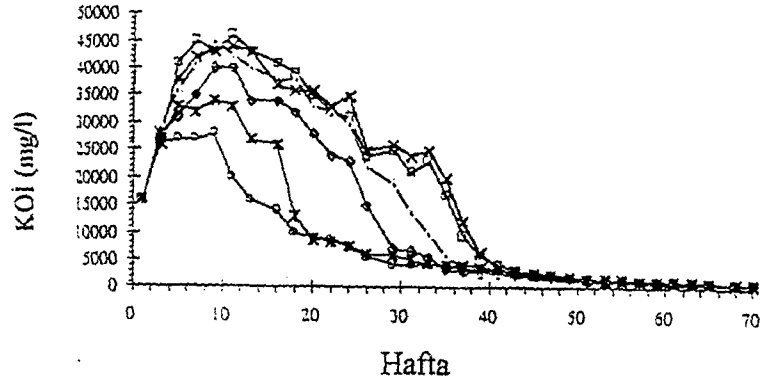


Şekil 4.2 Sızıntı suyundaki KOİ' nin zamana göre değişimi

M. S. Beamon ve arkadaşları (1997) [58] tarafından özel olarak hazırlanan 6 adet lizimetrelere doldurulan evsel atıkların üzerine püskürtmek suretiyle çöp suyu sirküle edilmiştir. İlk iki lizimetre den oluşan çöp suyuna herhangi bir işlem yapılmadı, üç ve dört nolu lizimetrelerde sirkülasyondan önce farklı dozajlarda olmak üzere ozonlandı, beş ve altı nolu lizimetreler ise metanojik faza geçişten sonra ozonlanmıştır. Bu çalışmanın amacı ozonlamanın çöp suyunun biyolojik bozunmasını artırıp artırmayacağını ve zor artan KOİ' nin zamanla azaltılmasının tespit edilmesidir.

Üç ve dört nolu lizimetrelere uygulanan ozon dozları tüm deney süresince belirlenebilmesi için sabit tutuldu. Beş nolu lizimetreye uygulanan ozon dozu da sabit tutuldu. KOİ azalmasını sağlayıp sağlamadığı ve çöp suyunda BOİ₅ artışına neden olup olmadığını belirlemek için, 63 üncü haftadan itibaren birkaç ozonlama işleminden, resürkülasyon ve analizinden sonra, 6 nolu lizimetreye uygulanan ozon dozajı yükseltildi. Tüm lizimetrelerdeki KOİ pikleri ilk 70 haftalık süre içerisinde 30000 ile 45000 mg/l den 700 ile 900 mg/l seviyesine

düşmüştür. 5 ve 6 nolu lizimetrelerdeki çöp suyu 41 inci haftadan itibaren metanojen evresi stabil hale gelinceye kadar ozonlanmıştır.



Şekil 4.3 Her bir lizimetredeki KOİ' nin zamana göre değişimi

Çöp suyu KOİ konsantrasyonundaki en büyük azalmalar ozonlama sonrasında , 6 nolu lizimetrede en büyük ozon dozu ile elde edildi. 63 üncü haftada 6 nolu lizimetredeki en büyük ozon dozu olan mg KOİ için 0.3 mg O₃ dozunu mg KOİ için 1.2 mg O₃ dozuna arttırınca elde edildi. BOİ₅ / KOİ daki artış 6 nolu lizimetrede önemli oranda büyüdü ve buda ozon dozajı ile BOİ₅ / KOİ oranı arasında bir ilişki bulunduğuna işaret etmektedir.

BOİ₅ üzerinde ozonun etkisindeki değişme, başlangıçtaki yüksek BOİ₅ miktarı ile açıklanabilir, ki bu, kolayca bozunabilir ve bir kısmı KOİ in BOİ₅ 'e okside olması sırasında CO₂ ve H₂O olarak kaybedilmektedir. Daha sonraki aşamalarda , bunun tersi bir durumun ortaya çıktığı ve böylece BOİ₅ 'in yükseldiğine inanılmaktadır.

Ozonlanmadan sonra BOİ₅ de ve BOİ₅ / KOİ oranındaki artış , çöp suyunun daha fazla işlenebileceğini göstermektedir. BOİ₅ teki artış, çöp suyunun resirkülasyonu ile uzaklaştırılmıştır, bu da lizimetrenin anaerobik bir ortam olarak işlev gördüğünü ve sızıntı suyunu arıtma özelliğine sahip olduğunu göstermektedir.

Grove ve Stollenwerk 1987'de [59] kimyasal reaksiyonları içeren 150'nin üzerinde modeli kullanarak yeraltı sularının kalitesi ve kimyasal konsantrasyonlarının tahmini üzerine bir çalışma yapmışlardır.

Yakın zamana kadar, jeokimyanın çözünmüş madde taşınımı modellerine dahil olması iyon değişimini veya absorblanmayı içeren tek bir reaksiyonla sınırlamaya sebep olmuştur [60, 61]. Halen bazı, birden fazla kimyasal reaksiyonlar veren modeller varsa da tek bir reaksiyonu içeren modeller oldukça fazladır.

Yapılan bütün çalışmalarda, sızıntı suyu oluşumunun geciktiği, ancak depodaki katı atıklar suya doyduktan sonra sızıntı sularının gözükteğü, bundan sonra da depoya giren su ile çıkan su miktarının hemen hemen eşit olduğı tespit edilmiştir.

Sızıntı sularında bulunan organik ve inorganik kirleticilerin depo yaşıyla birlikte giderek azaldıkları, sızmanın başladığı zamana yakın zamanlarda pik meydana geldiğı, Mevsimlik yağış farklılıklarının konsantrasyonlarda değışiklere sebep olduğı, sızıntı sularının düşük konsantrasyonlara erişmesi için 20 senelik bir süreç gerekliliğı ve hatta bu sürecin 40 seneyi bulabileceğı ortaya çıkmıştır.

Depo sahasını terk eden sızıntı suyu ve gaz çevreyi kirleten pek çok maddeyi içerebilir. Bununla birlikte, önemli miktarda gaz üretimi yalnızca 10 ya da 20 yıl devam etmektedir. Gaz üretimi çok düşük düzeye indikten sonra, gazdan kaynaklanan kirleticiler göz ardı edilebilir ve çöp suyu çevreye etkisi olan en önemli kirleticisi olur. Sonuç olarak, bir depo sahasının uzun vadeli emisyon potansiyeli, sızıntı suyunun ve sızıntı suyu içerisinde bulunan kirlenlerin evrimi ile belirlenir. [62]

4.3. MATEMATİK MODELLEME ÇALIŞMALARI

Sızıntı suyunun kalitesini tahmin etmek için geliştirilen matematik modeller aşağıdaki avantajları sağlayabilir:

- alıcı ortamlar üzerinde çöp suyunun potansiyel etkilerini değerlendirmek;

- çöp arıtma sistemlerinin dizaynına yardımcı olmak;
- yeraltı sistemine giren kirletici konsantrasyonlarını tahmin etmeye yardımcı olmak;
- çeşitli sıvıların ve/veya yarı-katı atıkların depo sahasına birlikte atılmalarının olası etkilerini değerlendirmek.

Çöp suyu kalitesini tahmin etmek ve tanımlamak için model geliştirme çabaları daima, sızıntı suyu miktarını tahmin etmek için , bir alt modeli içerir. Gerçekte çöp suyu kalitesi ile üretilen çöp suyu miktarı arasında güçlü bir ilişki mevcuttur. Sızıntı suyu kalitesini zamanın bir fonksiyonu olarak modellemeye girişirken genellikle kullanılabilecek iki yaklaşım mevcuttur. Birinci yaklaşım kronolojik verilerin regreasyonuna dayanmaktadır. İkinci yaklaşım ise depo sahası içerisinde meydana gelen (veya geldiği varsayılan) fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin analizi ile sızıntı suyu kalitesinin kantitatif olarak belirlenmesidir. [6]

Birinci yaklaşım çöp suyu kalitesi konusundaki tarihi deneysel veri kümelerine en iyi uyan eşitliklere dayanmaktadır. Bu modeller mekanik modellerden daha basittir ve yalnızca verilerin alındığı depo sahalarının modellenmesi için uygundur, çünkü çöp suyunun kalitesi atık kompozisyonundan ve depo sahasının işletme tarzından büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle, bu tip bir model kesin tahminler yapmaktan uzaktır, çünkü araştırma için incelenecek deponi sahasından alınmış çöp suyunu gerektirir. [6]

İlk regresyon modeli Revah ve Avnimelech (1979) tarafından katı atık doldurulmuş hücrelerde (sütunlarda) çöp suyunu bileşenlerini oluşturan maddelerin (TOC, VA, TKN, NH_4 , Fe ve Mn) konsantrasyonlarını modellemek suretiyle geliştirilmiştir. Çöp suyunun kalitesini tanımlayan ampirik eşitlik basit bir üstel eşitliktir. Burada;

$$C = a.b^t \quad (4.1)$$

C = çöp suyunu oluşturan maddelerin konsantrasyonu

t = zaman

a = t = 0 'daki konsantrasyon

b = üstel taban dır.

Model, çöp suyu kalitesi ile ilgili tarihsel verilere çok iyi uymuştur.

Depo alan yüzeyinde su dengesi varsayımıyla yapılan hesaplamalarda genellikle basitleştirmeye yönelinmiştir. Su dengesi metodunda katı atıklara doğru olan su geçişi , toplam yağıştan, yüzeysel su akışını, depo alanı nem tutma kapasitesini ve terlemeyi çıkartarak bulunur. Bunlar çıkarıldıktan sonra kalan miktar depo alanından çıkan sızıntı suyu olarak değerlendirilebilir.

Fenn [32] tarafından yapılan modelde su dengesi kullanılmıştır. Daha sonra bu model Dass [63] tarafından geliştirilmiştir. Perrier ve Gibson ve Gae'de [64] yaptıkları modellerde su dengesi metodunu baz almışlardır.

Tam manasıyla kararsız, doymamış akış modellerinin katı atık depolama sistemlerinde oluşan sızıntı suyu üzerine uygulanması oldukça yeni sayılabilir. Zamana göre değişken sayısal çözüm teknikleri, bir boyutlu sızıntı suyu akış modelinin içinde kullanılmıştır, 1984'te Korfiatis [65] ve 1986'da Demetracopoulos [66] tarafından geliştirilmiştir. Bu modelde, sızıntı suyu akış eşitliği bir boyutlu kararsız durum için sonlu farklar yöntemi ile çözülmüştür. Modelde terleme ve yüzeysel akış göz önüne alınmamıştır. 1981'de Yeh ve Ward [67] sonlu farklar metodunu doymuş - doymamış gözenekli arazi için geliştirmişlerdir. Onların modellerinde kirleticilerin iki boyutlu yüzey altı sistemi ile yayılıma uğradığı görülmüştür. Bu model kullanılarak doymuş ve doymamış akış durumları için sızıntı suyu içindeki maddelerin geçiş simülasyonu yapılabilir. Ancak bu model sızıntı suyunun akış hareketi göz önüne alınarak terleme, yüzeysel akış (yüzey eğimine göre) , doymuş sızıntı suyu seviye yüksekliği değişimi (sızıntı suyu gelişimine göre) ve depo alanı taban eğimi tahminleri için kullanılamaz.

Yeh 1987'de [68] doymuş - doymamış gözenekli alan için geliştirdiği su akış modelini sonlu elemanlar yöntemiyle çözmüştür. Farklı sınır durumları için değişken doymuş toprak altı - su akışı simule edilmiştir. Yüzeysel akış ve gerçek terlemeyi etkilerine bağlı olarak doymuş - doymamış akışın özel problemlerinin çözümü için formüle edilmemiştir. Bu model sadece değişken sınırlar içinde maksimum buharlaşmayı göz önüne almıştır. Ayrıca bu model dikey akış (bir akiferin tabanındaki bariyerlere doğru) ve yanal olan doymuş akışı (eğimli taban yüzeyinde) temsil etmez.

Lu ve arkadaşları da [38] sızıntı suyu özelliklerinin değişimini ;

$$C = C_0 * \exp(-B*t) \quad (4.2)$$

şeklinde ifade etmişlerdir.

C_0 = başlangıçtaki konsantrasyon (mg/l)

B = ampirik bir sabit (1/gün)

t = zaman (gün)

C = t anındaki kirletici konsantrasyonu (mg/l)

Mekanik modeller genellikle karmaşıktır, çünkü bunlar bir dinamik sistemi tanımlamak zorundadırlar ve bu nedenle varsayımların basitleştirilmesine ihtiyaç duyarlar. Bazı yazarlar hem teorik hem de deneysel olarak elde ettikleri veriler ile kütle-transfer denklemlerini kullanarak modeller geliştirmişlerdir.

Qasim ve Burchinal [43] deneysel sütunlar kullanarak modellerini klorür üzerinde test ettiler. Model çöp katmanının derinliği, atığın sıkıştırılma derecesi, ve kümülatif çöp suyu hacmi gibi fiziksel parametrelere cevap veriyordu. Çeşitli çöp suyu bileşenlerinin konsantrasyonları (asidite, alkalinite, sertlik, BOI_5 , N, P, Fe, Mg, K, Na, S, tannin ve lignin) klorür davranışı esas alınarak tahmin edilmiştir. Çöp suyu örneklerinde kirleticilerin deneysel ve teorik konsantrasyonları en fazla %30 luk bir sapma ile oldukça iyi bir uyum göstermiştir. Teorik hesaplamalar çöp suyu üretimi devam ettikçe klorür konsantrasyonlarını olması gerekenin altında tahmin etme eğilimi göstermiştir.

Hem teorik hem de deneysel parametrelere dayalı olarak Phelps [69] tarafından geliştirilen model aşağıdaki çöp suyu bileşenleri ile denenmiştir: BOI_5 , KOI , toplam çökelme, Ca, Fe, ve Cl. Bunların çöp suyundaki konsantrasyonları zaman, çöp suyu akış oranı ve atık maddenin derinliğinin fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Zaman karşısında konsantrasyon için hesaplanan ve gözlemlenen eğriler arasındaki korelasyon katsayılarının genç (yeni) çöp suları için 0.9 u aştığı görülmüştür. Daha eski çöp suları için gözlemlenen konsantrasyon değerleri, çoğunlukla bir şekilde hesaplanan değerlerin üzerinde kalmıştır.

Son olarak, Straub ve Lynch (1982) [70], [71] tarafından çöp suyunun organik ve inorganik kirleticilerini ayrı ayrı tanımlayan bir dizi model geliştirilmiştir. Önceki

modellerin tersine, hidrolik, fiziksel/kimyasal ve mikro-biyolojik süreçleri tanımlayan eşitlik formülasyonu nedeni ile modelin karmaşıklığı büyük ölçüde artmıştır. Model tarafından tanımlanan süreçler hidrolik davranış, sızıntı suyu inorganik bileşeni ve organik çöp suyu bileşenlerini kapsamaktadır. Toplam katı madde ile temsil edilen inorganik maddelerin konsantrasyonları iki alt model ile tahmin edilmiştir. Alt modellerden biri depo sahasını, hem nem hem de kirlenici miktarları için kütle dengesini sağlayan, iyi karıştırılmış tek bir reaktör olarak ele almaktadır. Organik bileşenlerin emilme biçimi nemin net infiltrasyonunun, çöpün hacim ve alan kapasitesinin, ve erimiş madde üretme oranının bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Diğer ise doymamış poroz bir ortamda madde transferinin düşey olarak dağıtıldığı bir modeldir. Model parametreleri, çözünebilir kirlenici kütlesi, atık madde nem oranı, hacim, derinlik, çöpün yoğunluğu ve alan kapasitesi ve nem uygulama oranları gibi parametreleri kapsamaktadır.

Organik çöp suyu kompozisyonunu tanımlamak için geliştirilen modeller nemin doymamış ortamda akışı, madde üretimi ve transferi, oksijen alışı ve mikrobiyolojik aktivite gibi parametrelere dayanmaktadır. Aerobik (oksijenli ortam isteyen) ve anaerobik (oksijensiz ortamda yaşayabilen) bakterilerin rolleri geleneksel kinetik formülasyonlar kullanılarak simüle edilmektedir. Sızıntı suyu organik kirlenicileri için, kullanılabilecek model yine depo sahasını iyi karıştırılmış tek bir reaktör olarak ele almaktadır. Reaktör modellerinin her biri depo sahası hacmine, çöp kütlesi içerisinde bulunan boşlukların hacmine, alan kapasitesindeki nem miktarına, nem akış oranlarına, depo sahasına giren nemdeki maddelerin konsantrasyonlarına, atık maddenin birim kütle hacmi için tutunmuş maddelerin nihai miktarına ve varsayılan maksimum madde konsantrasyonuna duyarlıdır. Bu modeller çöp suyu KOİ konsantrasyonu simüle edilerek test edilmiştir. Bu modellerin her biri deneysel KOİ verilerine çok yaklaşımıştır, ancak doymamış akış ve madde taşınması modelleri en doğru sonuçlar veren modellerdir.

Tek reaktör modelinde,

$$d(CV\theta) / dt = C_i Q_i - CQ \quad (4.3)$$

kütle dengesi denkleminin çözümü ile, inorganik çözünmüş madde konsantrasyon değişimi için;

$$C(t) = C_0 \exp(-G(t)) + RV\theta_f / Q_{ort} (1 - \exp(-G(t))) \quad (4.4)$$

ve organik çözünmüş konsantrasyon değişimi için de;

$$C(t) = C_0 \exp(-G(t)) + \sum (R+R'+R'')V\theta_f / Q_{ort} (1 - \exp(-G(t))) \quad (4.5)$$

ifadeleri elde edilmiştir. Burada;

C_0 : Giriş konsantrasyonu (M/L^3)

Q : Debi (L^3/T)

θ_f : alan kapasitesi (cm/cm)

$$G(t) = \int_{t=0}^t (Q(t) / V\theta_f) dt \quad (4.6)$$

R : kirlenici maddenin katı atıktan suya geçiş hızı ($M/L^3/T$)

R' : substrat kullanım hızı ($M/L^3/T$)

R'' : mikroorganizma çoğalma hızı ($M/L^3/T$)'nı göstermektedir.

Bu denklem $R=0$, $R=\text{sabit}$ ve $R=\text{değişken}$ halleri için literatürden elde edilen TKM ve KOİ verilerine uygulanmış ve özellikle $R=\text{değişken}$ hali için uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Katı atık sızıntı sularının içerdiği kirlilik parametrelerinin zamanla değişimi üzerine, başka bir çalışma Gönüllü [72] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada şu kabuller yapılmıştır. Katı atıklar, V hacmindeki bir reaktör içinde dengeli olarak yayılmıştır. C kirlenici konsantrasyonu reaktörün her tarafında aynıdır.

Laboratuarda katı atık depo yerine benzetilmiş iki adet deney tesisi kurularak yaz ve kış mevsimlerini ayrı ayrı temsil eden katı atıklar kolonlara yerleştirilmiştir. Yaz kolonuna 75 cm yüksekliğinde 46 kg ağırlığında ve kış mevsimi kolonuna ise 70 cm yüksekliğinde ve 35 kg ağırlığında katı atık karışımı konulmuştur. Matematik ifadenin oluşturulmasında kütle denklemi esas alınmıştır.

$$d(CV\theta) / dt = C_i Q_i - CQ \quad (4.7)$$

Bu çalışmada da (4.3)'deki kütle dengesinden yola çıkılarak kolay çözünen inorganik maddeler için ;

$$C(t) = C_o \exp(- \int_{t=0}^{t=t} (Q (t) / V\theta_f) dt) \quad (4.8)$$

ve kolay çözünmeyen inorganik maddeler için de ;

$$C(t) = \exp (- G(t)) (C_o + \int_{t=0}^{t=t} (R \exp(G(t)) dt) \quad (4.9)$$

ifadeleri elde edilmiştir.

Organik madde söz konusu olduğunda bu durumdan farklı olarak biyolojik faaliyet sonucunda oluşan ayrışma da işin içine katılmıştır. Bu durumda organik maddeler mikroorganizmalar tarafından kullanılmakta ve bir kısmı mikroorganizma şekline dönüşmektedir.

Sonuçta, kolay çözünen organik maddeler için ;

$$C(t) = \exp (- G(t)) (C_o + \int_{t=0}^{t=t} (\sum R \exp (G(t))) dt) \quad (4.10)$$

Kolay çözünmeyen organik maddeler için de ;

$$C = \exp(-G(t)) (C_o + \int_{t=0}^{t=t} (\sum(R+R'+R'') \exp(G(t)) dt) \quad (4.11)$$

matematiksel bağıntıları elde edilmiştir.

Elde edilen bu matematik ifadelerin ardından yine Gönüllü [73] tarafından 1994 yılında yapılan çalışmada; literatürden elde edilen birkaç deneysel veriler kullanılarak, KOI parametresinin simulasyonunda kullanılan bazı parametrelerden maksimum konsantrasyon (Cmax) ve kütle transfer hız katsayısı (k) gibi parametreler modelleme yaklaşımı ile bulunmuş ve iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu eşitlikler aşağıdaki gibidir;

$$k = 1.993 \cdot 10^{-3} + 5.155 \cdot 10^{-6} \cdot D_d - 7.857 \cdot 10^{-5} \cdot \gamma_i \quad (4.12)$$

$$C_{max} = -97810 + 247.4 \cdot D_d + 1829.3 \cdot \gamma_i \quad (4.13)$$

D_d = kuru yoğunluk kg/m^3

γ_i = sızabilir madde oranı %

Bu konuda yapılan diğer bir çalışma Flow Investigation for Landfill Leachate modeli kısaca "FILL Modeli" olarak adlandırılmıştır. Modelde nem muhtevası dikey düzlemde her dönüm noktası için hesaplanmıştır. Eğimin etkisiyle oluşan yüzeysel akış ve depo alan yüzeyi pürüzlülüğünün, hesaplanması için kinematik dalga eşitlikleri kullanılmıştır. İnfiltrasyon nem muhtevasının bir fonksiyonudur. Ayrıca hidrolik iletkenlik ve toprak yüzeyindeki suyun derinliği de infiltrasyonu fonksiyon olarak içerir. İnfiltrasyon eşitliği Haverkamp [74] tarafından Philipis 'in 1969'da [75] geliştirdiği eşitlik baz alınarak yapılmıştır.

Demetracopolous 1984'te, [65], Korfiatis ve Demetracopolous 1986'da [66] ve yine Demetracopolous 1988'de [76] bir depo alanında doymuş bölgede sızıntı suyu seviye yüksekliği hesaplanması için formülasyon ve çözüm teknikleri geliştirmişlerdir. Düzenlenmiş eşitlikler kütle korunumu prensibinden yola çıkılarak kurulmuştur. Bu eşitlikler, depo alanından çıkan sızıntı suyunun akış oranındaki değişikliklerin hesaplanması ve sızıntı suyu seviyesi yüksekliğinin hareketlerinin belirlenmesi için FILL modeli içinde kullanılmıştır.

FILL modelinde depo alanındaki atığın karakteri ve başlangıç durumu tanımlanmasındaki bilgi eksikliklerinden dolayı, fiziksel çözümler su dengesi prosedürü baz alınarak geliştirilmiştir. FILL Modelinde iki boyutlu kararsız rutubet akışı (doymamış bir bölgede) şu şekilde tanımlanmıştır. [77, 78, 79]

$$dQ/dt = d/dx (D(Q) (dQ/dx)) + d/dz (D(Q) (dQ/dz)) - dK(Q)/dz \quad (4.14)$$

Q = Hacimsel rutubet ihtivası (L^3 / L^3)

$D(Q)$ = Toprak nemi difüzyon özelliği (L^2 / T)

$K(Q)$ = Doymamış hidrolik iletkenlik (L / T)

t = Zaman (T)

x, z = Yanal ve dikey bileşenler (L)

Sızıntı suyu akışı; toplama sistemine doğru olan yanal akış ve tabandaki kile doğru olan akış, depo alanındaki doymuş bölgedeki sızıntı suyu seviyesi yüksekliğindeki değişikliğe bağlıdır. Darcy kanunun ve kütle korunumu prensibinin (sızıntı suyu seviyesindeki kontrol hacmi diferansiyelinde) kullanılmasıyla doymuş sızıntı suyu akışı Demetracopolous tarafından 1988'de [76] şu şekilde tanımlanmıştır;

$$d / dx (K_s h (dh / dx) + N_i - K_c ((h + d) / d) = n_e (dh / dt) \quad (4.15)$$

K_s = Katı atığın doymuş hidrolik iletkenliği (L / T)

h = Tabandaki kil üzerinde bulunan sızıntı suyu yüksekliği (L)

K_c = Tabandaki kilin doymuş hidrolik iletkenliği (L / T)

d = Tabandaki kilin kalınlığı (L)

n_e = Katı atık maddelerin gözeneklilik etkisi

N_i = Sızıntı suyu seviyesindeki gelişim (L / T)

Özellikle sızıntı suyunun karakterizasyonu ile ilgili çalışmalar arasında en detaylı ve kullanım açısından uygun olan çalışma Landfill Lagoon Model, Landfill modelidir. Bu modelin bilgisayar paket programı şekli HELP olarak bilinmektedir. Bu versiyon P.R.Schroeder, B.M.Mc Enroe, R.L.Peyton, J.W.Sjastrom [80] tarafından hazırlanmıştır.

HELP modelinde (Hydraulic Evaluation of Landfill Performance) sızıntı suyu akışının tahmini için kararlılık ve iki boyutluluk durumu kısmen göz ardı edilerek çeşitli basitleştirmeler yapılmıştır. Depo alanı profilinin, her katmanında ki akışın yanal ve dikey bileşenleri için gerekli olan hesaplamalar model içinde bulunmamaktadır. [24, 80]

Dikey hidrolik iletkenliğin yüksek olduğu ve böylece sadece aşağıya doğru bir akışın söz konusu olduğu ve dikey hidrolik iletkenliğin yeterince dirençli olmadığı katmanlar dikey süzüntü katmanları olarak adlandırılırlar. Bu tür katmanlarda yanal akış dikkate alınmaz. Yine de, hidrolik iletkenliği yüksek olup ta, aşağıya

doğru akış gerçekleşirken, geçirimsiz sayılabilecek bariyerler tarafından bu akış engelleniyorsa bu katmanlar yanal drenaj katmanları olarak göz önüne alınır. Model “kısmen kararlı durum ” olarak adlandırılır.

Bu programda sızıntı suyu oluşumunu ve taşınmasını analiz edebilir. Uzun vadeli zaman aralıkları için sızıntı suyu miktarı tahmin edilebilir. Bu kurulacak olan düzenli depolama alanının seçimi ve dizaynını en iyi şekilde yapma imkanı tanımaktadır. Yine bu programla sızıntı suyundaki kirlenici konsantrasyonları ve hacimsel debisi istenilen bir zaman periyodu için (ay, gün, yıl) hesaplanabilmektedir. Sızıntı suyunun taşınmasında ve oluşmasında iklimin, atığın su ihtivasının, yükleme oranının, hidrojeolojiksel faktörlerin büyük etkisi vardır. Bunların sızıntı suyuna etkileri sayısal olarak bu program sayesinde elde edilebilir. HELP modelinde yüzeysel akış SCS eğim numarası metodu kullanılmıştır. Bu metotta yüzey özellikleri etkisi ve depo alanı yüzey eğimi dikkate alınmamıştır.



5. MATEMATİK MODELLEME

5.1. MODELLEME YAKLAŞIMI

Modelleme için yaklaşım seçimi yapılırken aşağıdaki üç kriter temel alınmıştır.

- 1) Çalışmanın amacı
- 2) Yaklaşımın çalışma alanının kimyasal ve fiziksel prosesinin simülasyonu için kullanılabilirliği
- 3) Modelin gerçekleşmesinin fizibilitesi

Matematik modeller, analitik, yarı - analitik ve sayısal çözümleri içerir. Bu çözüm tekniklerinin her birinin bazı avantajları ve dezavantajları vardır. Analitik çözümler bilgisayarlarla yapılmakta ve sayısal simülasyonlardan daha hassas olmaktadır. Ayrıca belirsizlik analizlerinin yapımında da oldukça yararlılık gösterirler. En basiti, analitik modellerin veri girişi oldukça kolaydır ve kalibrasyon hassasiyet analizi gibi detaylara ihtiyaç duymaz. Analitik çözümler özellikle sistem düzensiz ise en uygun çözüm olarak kullanılabilir [81]. Alana bağlı olarak elde edilen veriler bazen sınırlı olabilir. Bu konumda sayısal modellerin kullanılması uygun değildir. Böyle anlarda bazen basit analitik çözümlerle bulunan veriler sayısal modellerde kullanılmak suretiyle çözüme ulaşılır.[82]

Yarı analitik modeller, kompleks analitik modellerin sayısal modeller gibi kullanımınıdır [81]. Yarı analitik modeller oldukça karmaşık depo alanları için kullanılırlar. Yarı analitik modeller genellikle yayılım ve difüzyon etkilerini içermemeleri açısından bir dezavantaja sahiptirler.

Sayısal modeller çok daha dağınık ve belli sınırlamaları olmayan depo alanları için idealdirler. Fakat bu modeller analitik modellere göre çok daha fazla veriye ihtiyaç duyarlar. Daha çok deneysel çalışmaların değerlendirilmesinde kullanılırlar. Uygulama açısından da analitik ve yarı analitik çözümlerden oldukça fazla zamana gereksinimleri vardır.

Depo sahasında meydana gelen temel biyokimyasal süreçler tanımlanmış olmasına rağmen, çöp suyu kalitesini yok edilen atık türü, işletme metotları ve depo sahasının yaşı ile tam olarak ilişkilendirmek henüz mümkün değildir. Çöp suyu kalitesi depo sahalarında meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler ile sıkı sıkıya ilişkilidir. Şu anda, modellerin çöp suyu kalitesi üzerindeki geçerliliği tamamen incelenen vaka ile sınırlıdır, depo sahasında meydana gelen temel süreçlerin tanımı ve pek çok önemli faktörün (atık kompozisyonu, sahanın işletim yöntemi vb.) gösterdiği yüksek değişkenlik konusundaki bilgi noksanlığı nedeni ile, yalnızca depo sahasından depo sahasına değil, aynı zamanda aynı depo sahası içerisindeki bilgi noksanlığı nedeni ile sınırlıdır. Bu nedenlerden dolayı çöp suyu kalitesi modelleri genellikle araştırma amacı ile kullanılır. [6]

5.2. MATEMATİK MODELİN GELİŞTİRİLMESİ

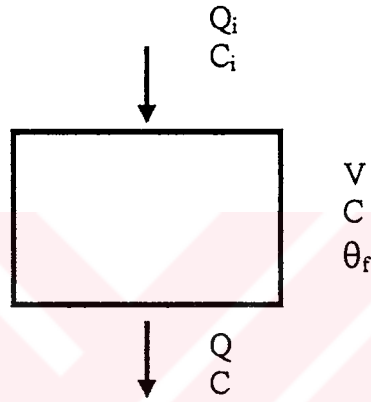
Sızıntı suyu modellemesi katı fazdan sıvı faza geçişteki kütle değişimi ve kirlenici bozunmalarını anlama konusunda yardımcı olur. Modelden çıkan sonuçların , deneysel ölçümler ile bir paralellik göstermesi gereklidir. Sızıntı suyu oluşumu ve transferinin matematiksel olarak simülasyonunun yapılması oldukça yakın zamandaki çalışmalarla olmuştur.

Katı atıklarda mevcut olan inorganik ve organik kirlenicilerin farklı davranışta bulunacakları ve ayrıca, reaktör içinden geçen suya gerek çözünme ve gerekse taşınma yolu ile geçişlerinde farklı olacağı bilinmektedir. Örneğin; organik maddeler, inorganik maddelerden farklı olarak , mikrobiyolojik aktivitelerin etkisinde kalabilmektedir. Çözünürlükleri az olan ve su ile sürüklenebilecek forma dönüşmeleri zaman alan katı atık bileşenlerinin , belli bir hızla veya zamanla değişen bir hızla, reaktörden geçen suya geçecekleri kabul edilebilir.

Katı atık kütlesi içinde sadece taşınma ve çözünme olayları meydana gelmez. Bununla beraber bir çok bileşen , reaktör içindeki şartlara göre biyokimyasal ve kimyasal dönüşümlerle değişik formlar alabilmektedirler.

Matematik modelin geliştirilmesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır. Katı atıklar, V hacmindeki tek reaktör içinde üniform olarak dağılmış , ayrıca içinde hava

boşluğu ve rutubet de bulunmaktadır. Katı atıklarda bulunan rutubet ve bu rutubetin içindeki kirlilik konsantrasyonu C reaktörün her tarafında eşit dağılımlıdır. Rutubet reaktöre Q_i debisi ve C_i konsantrasyonu ile girmekte ve Q debisi ve C konsantrasyonu ile çıkmaktadır. Reaktörde başlangıçta katı atık kütlesi üniform olarak θ oranında rutubet içerirken, reaktördeki rutubet içeriği belli bir değere ulaştınca sızma şeklinde reaktörden çıkış görülebilecektir. Sızma başladıktan sonra depodaki rutubet içeriği θ_f değerinde sabit kalmaktadır. Bu değere alan kapasitesi denilmektedir. Şekil 5-1 'de bahsi geçen reaktörün temsili şekli görülmektedir.[72]



Şekil 5-1 Tekli reaktör

Bu çalışma kapsamında, düzenli katı atık depolama sahasından kaynaklanan sızıntı sularına da , kolay çözünen veya çözünmesi zamanla devam eden inorganik, organik bileşenler ve ağır metaller için matematik model geliştirilmiştir.

5.2.1. Sızıntı Suyunda Bulunan İnorganik Bileşenlerin Değişimi İçin Matematik Model

- Analitik Çözüm

Tekli reaktördeki kirlenici kütle dengesi aşağıdaki şekilde kurulabilir.

$$d(CV\theta) / dt = C_i Q_i - CQ + V\theta R \quad (5.1)$$

Reaktöre giren sudaki kirlenici konsantrasyonunu $C_i=0$ olarak kabul edilmiştir. Rutubet içeriği θ , alan kapasitesi θ_f 'e ulaşana kadar sızıntı oluşmadığı ve

sızıntı başladığında $\theta=\theta_f$ olacağı ve buna bağlı olarak $Q=Q_i$ olacağı kabul edilmiştir. Yani eğer $t=0$ sızıntının başlama anı olarak alınırsa $t>0$ olduğunda $\theta=\theta_f$ ve $Q_i=Q$ olur. Buna göre ; (5.1) denklemi

$$dC/dt + (Q(t) / V\theta_f) C = R(t) \quad (5.2)$$

haline gelir ve bunu ifade eden genel matematiksel denklem:

$$dy/dx + P(x) y = Q(x) \text{ şeklindedir.} \quad (5.3)$$

Bu denklem birinci dereceden lineer bir diferansiyel denklemdir. Bu denklemin göre genel çözüm formülü aşağıdaki gibidir; [83]

$$y = e^{-\int P(x) dx} [C + \int Q(x) (e^{\int P(x) dx}) dx] \quad (5.4)$$

Yukarıda verilen genel çözüm formülünde $P(x)$ ve $Q(x)$ 'e karşılık gelen değerler yerine konulduğunda denklemin analitik çözümü elde edilmiş olur.

$$P(x) = Q(t) / V\theta_f$$

$$Q(x) = R(t) \text{ değerleri ile,}$$

$$C = e^{-\int Q(t) / V\theta_f dt} [C_0 + \int R(t) (e^{\int Q(t) / V\theta_f dt}) dt] \quad (5.5)$$

elde edilir. [83]

Straub-Lynch tarafından geliştirilen yaklaşık çözümü, kendi deney koşullarımıza uyguladığımız zaman matematik formülasyondan dolayı kararlı hal konsantrasyonunun oldukça yüksek değerlerde kaldığı saptanmıştır.

Gerçekte yapılması gereken ise uzun zaman sürecinde çözüm elde etmek olduğundan Straub-Lynch'in geliştirdiği yaklaşık çözüm gibi kendi çalışma koşullarımızda oluşan deney sonuçlarını sağlayabilecek, uzun vade de geçerli, farklı bir yaklaşık çözüm üretilmesi gerektiğinden, bu yaklaşık çözüm genel denge denklemi esas alınarak denklem (5.10)'daki şekliyle yaklaşık bir çözüm olarak ortaya konulmuştur.

R, katı fazdan sıvı faza kirlenici madde geçiş hızı ($M/L^3/T$) parametresi, katı madde ile rutubet arasında meydana gelen çözünürlük , mikrobiyolojik aktiviteler , filtrasyon ve tutulmanın tamamını içermektedir. $R=0$ yani katı atık ile rutubet arasında madde geçişinin olmadığı durumda , (5.2) deki eşitlik , toplam sızıntı suyunun basit bir üstel fonksiyonu gibi çözülür.

$$dC/dt = (- Q(t) / V\theta_f) C \quad (5.6)$$

Bu diferansiyel denklemin çözümü :

$$C(t) = C_0 \exp(-\int_{t=0}^t (Q(t) / V\theta_f) dt) \quad (5.7)$$

olur.

Bu denklemden;

$$\int_{t=0}^t (Q(t)/V\theta_f) dt = G(t) \quad (5.8)$$

tanımlanarak

$$C(t) = C_0 \exp(-G(t)) \quad (5.9)$$

Şeklinde toplam sızıntı suyu miktarına bağlı olarak çözüm bulunmuştur. Bu denklemden ;

C_0 = Başlangıç kirlenici konsantrasyonudur

Yukarıdaki şekilde yazılan eşitlik ve sonuçta oluşan homojen sızıntı suyu , sızmanın başlangıcında kirlenmiş katı atık rutubeti ile kirlenmiş suyun iyi karışımı ve infiltrasyon sonucunda seyrelmesi şeklinde tarif edilebilir.

- Sabit Q ve Sabit R için Yaklaşık Çözüm

Sabit Q ve R özel durumları için (5.2) denklemini elde edilen deney sonuçlarını sağlayacak biçimde yaklaşık olarak çözülmüştür. Bu çözümde katı atıklardan sızıntı suyuna kirlenici maddelerin geçişinin de ifade edilmesi gerekmektedir. Buna göre,

konsantrasyon değişim eğrisinin , kararlı hal konsantrasyonu olarak belirlenen bir konsantrasyona doğru düzgün azalmalarla asimtotik olarak düştüğü kabul edilerek, buradan doğacak olan kirlilikte eksilmeden dolayı çıkarılarak aşağıdaki denklem yaklaşık çözüm olarak elde edilmiştir.

$$C(t) = C_0 \exp(-G(t)) - RV\theta_r / Q_{ort} \quad (5.10)$$

Eşitlik (5.10)'nin birinci kısmı daha önce de belirtildiği gibi , başlangıçta tamamen çözünmüş olan maddelerin, rutubet akışı ve infiltrasyon ile birlikte seyrelmesini göstermektedir. İkinci ifade ise , katı atıklardan suya geçen kirlilik madde miktarını göstermektedir ve bu miktar azalarak sürmektedir. Sonuçta belli bir değerde sabitlenerek devam etmektedir. Sabitlenen bu değer kararlı hal konsantrasyonu dediğimiz değerdir. Bu basit tek reaktörlü model sonucunda elde edilen sızıntı suyu verilerine göre aşağıdaki değerlendirme yapılabilir.

Rutubette var olan kirlilik, alan kapasitesine ulaşılan kadar katı atık bünyesinde yerleşik olarak bulunur. Alan kapasitesine ulaşıncaya , sızıntı suyu akışı başlar ve bu sırada hızlı çözünen maddeler sızıntı suyuna karışır. Sızıntının başlangıcında , kirlilik konsantrasyonu en yüksek değerdedir. Bu değer sızıntı suyunun akıp gitmesi ve dışarıdan yağmur suyu ile oluşan infiltrasyon durumuna kadar devam eder . Dışarıdan giren su ile seyrelme oluşur. Katı atık bünyesindeki kirliliğin azalması ve seyrelmenin etkisi ile kirlilik konsantrasyonu bir kararlı hal durumuna ulaşana kadar azalmaya devam eder.

Bu ifadenin ikinci kısmından dolayı kararlı hal konsantrasyonu gibi bir sınırlandırılması olduğu ve ilerleyen periyotlarda bu değere eriştiği , ilk ifadenin de sıfıra doğru azalması nedeniyle iki bağıntının birden, kabul edilen kararlı hal konsantrasyonuna doğru azaldığı belirlenmiştir.

Bu basit model , depo alanındaki rutubette oluşan değişiklikler nedeniyle , başlangıçta var olan yüksek kirlilik konsantrasyonundaki bozunmanın mertebesini tahmin eder. Model parametreleri, çöpün alan kapasitesi ve derinlik , kirliliğin başlangıç konsantrasyonu , ve kirlilik geçiş hızı ile sınırlandırılmıştır. Bu basitlik çekici olmasına rağmen , çöpün kompozisyonunun dikey detayı ve yerleştirilmesi önemli olduğunda veya kirlilik taşınımı ve rutubetin kendi içindeki taşınımı ile ilgili durumlar değiştiğinde yapılan tahminlerde kısıtlayıcı olmaktadır.

- Sabit Q ve Değişken R için Yaklaşık Çözüm

Zor çözünen inorganik maddeler için uygun matematiksel bağıntı kurulurken , R hızıyla katı fazdan sıvı faza bir kütle transferinin söz konusu olduğu belirtilmişti. R sonuçta kirletici madde miktarına bağlı olduğuna göre çöp içinde ki çözünebilen kirletici miktarı ile sınırlıdır. Oluşan bu kütle transferi şu şekilde ifade edilebilir.

$$R(t)=k(S(t)/ S_0) (C_{max} - C(t)) \quad (5.11)$$

Bu eşitlikte :

$R(t)$ = Katıdan sıvıya geçen değişken kirlilik üretim hızı ($M/L^3/T$)

$S(t)$ = t anındaki sızabilir kütle (M)

S_0 = sızma başlamadan önce katı atık kütleindeki sızı bilir madde miktarı (M)

k = Kütle transferi hız katsayısı ($1/T$)

C_{max} = Sızıntı suyundaki en yüksek konsantrasyon (M/L^3)

olarak alınmıştır.

Bu formülasyon oluşum oranı konsantrasyon ile maksimum konsantrasyon arasındaki farkın orantılı olduğunu ve azalan kirliliğin nihai kaynağı gibi azaldığını farz eder. Yukarıda ifade edilen bağıntı zamanla değişen $R(t)$ üretim hızı için verilmiştir. Bazı kirletici maddeler için sabit R kirletici üretim hızı söz konusu olabilir veya ön deneme gerektiğinde kullanılabilir. Bu bakımdan , sabit kirletici üretim hızı:

$$R=C^*/T \quad (5.12)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir.

C^* = Karalı hal kirletici konsantrasyonu (M/L^3)

T = Katı atık kütleli içine giren suyun depoyu terk etme süresi (T)

$$T=V\theta_f/Q_{ort} \quad (5.13)$$

Şeklinde ifade edilmektedir.

Denklem (5.11)'deki ifade değişken kirlilik üretim hızı, $R(t)$, kullanılarak benzer şekilde;

$$C(t) = C_0 \exp (-G(t)) - R(t) V\theta_f / Q_{ort} \quad (5.14)$$

elde edilmiştir.

5.2.2. Organik Bileşenlerin Değişimi İçin Matematik Model

Katı atık bünyesinde bulunan organik maddelerin, sızıntı suyuna intikal eden miktarı çözünme, taşınma ve biyolojik ayrışma gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Aerobik ve anaerobik bakterilerin bu oluşumdaki rolleri konvensiyonel kinetik formüller kullanılarak simule edilmiştir. Yapılan çalışmalarda aerobik aktivitelerin depo alanı sürecinde ihmal edilebilir olduğu görülmüştür.

Oksijen çok çabuk tüketildiği için aerobik mikrobial aktivite çok kısa sürer. Anaerobik durum normal olarak , metan ve diğer anaerobik ayrışma gazlarının çıkmasıyla başlar, depo alanının tamamen stabilizasyonu ile sona erer. Oksijen hem gaz hem de çözünmüş formda bulunmaktadır. Aerobik aktivite sonucu rutubetten tüketilen oksijen, daha sonra giriş nemindeki çözünmüş ve gaz formundaki oksijenin taşınımı sonucu yeniden kazanılır.

Organik maddenin bozunmasında etkili altı faktör söz konusudur.

- 1- Çözünmüş veya askıdaki organikler.
- 2- Çözünmüş oksijen.
- 3- Aerobik bakteriler
- 4- Anaerobik bakteriler.
- 5- Gaz halindeki oksijen (Bu çalışmada dikkate alınmamıştır.)
- 6- Katı atıktaki çözünmemiş organikler.

Sabit rutubet içeriği dikkate alınarak yukarıdaki ilk dört değişken aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

Katı fazdaki organikler çözünerek azalırlar. Kütle geçiş hızı aşağıdaki gibi

ifade edilebilir;

$$R(t) = k (S / S_0) (C_{\max} - C(t)) \quad (5.11)$$

Buna göre net oluşum , konsantrasyonların farkının bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Depodaki katı organik bileşiklerin azalmasıyla KOİ değerinde zamanla azalma görülür. Bakteri hareketi katı fazdan bir kısım organik maddenin ayrılması ile oluşmaya başlar. Bu ilişki verilen model bağıntısında sunulmamıştır. Sınırlı besin sisteminde , substrat tüketimi ve mikrobiyal büyüme için depo rutubetindeki organikler ve hücre arasındaki ilişkinin tanımlanmasında Monod kinetik modeli kullanılmıştır. Organik besin kullanım hızı ;

$$R' = \mu_{\max} X C / Y (K_s + C) \quad (5.15)$$

şeklinde , mikroorganizma çoğalma hızı ise ;

$$R'' = - Y R' - k_d X \quad (5.16)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

R' = Substrat kullanma hızı ($M/L^3/T$)

X = Hücre konsantrasyonu (M/L^3)

$\mu_{\max}$ = Maksimum özel substrat kullanma hızı ($1/T$)

K_s = $\mu_{\max}$ 'ın yarısına karşılık gelen substrat konsantrasyonu (M/L^3)

Y = Hücre çoğalma verim katsayısı (M/M)

R'' = Mikroorganizma çoğalma hızı ($M/L^3.T$)

k_d = Hücre endojen ölme hızı ($1/T$)

Monod modeli hem aerobik hem de anaerobik aktiviteler için kullanılır. Ancak Y , k_d , K_s , $\mu_{\max}$ parametreleri her bakteri türü için değişir. Dahili transfer hızlarının yukarıdaki gibi ifade edilmesinden sonra , (5.1) matematiksel bağıntısı aşağıdaki gibi olur;

$$dC / dt = (C_i Q_i - C Q) + V \theta \sum (R + R' + R'') \quad (5.18)$$

Daha önce inorganik maddeler için oluşturulan matematiksel bağıntıya

benzer şekilde organik maddeler içinde aşağıdaki ifade elde edilir.

$$C(t) = C_0 \exp(-G(t)) - (\sum (R + R' + R'') V\theta_f / Q_{ort}) \quad (5.19)$$

(5.15) ve (5.16) denklemlerinde verilen, mikrobiyolojik faaliyetler nedeniyle sızıntı suyunda oluşabilecek ilave KOİ konsantrasyonu son derece az olduğu ve konsantrasyonu belirleyici faktörün büyük ölçüde katı fazdan sıvı faza organik madde geçişinden olduğu görülmüştür. Çöp bünyesinde bulunan su muhtevasının çok yüksek olması sebebiyle organiklerin depo alanından kısa sürede çıkması mikrobiyolojik aktivitelerin oluşmasına fırsat vermemektedir.

5.2.3. Sızıntı Suyu İçindeki Ağır Metallerin Değişimi İle İlgili Matematiksel Model

Yapılan deneysel ve uygulama alanı çalışmaları çöp sızıntı suyu içinde ağır metallerin azımsanamayacak ölçüde bulunduğunu göstermişlerdir. Atık evsel veya sanayi türünde olsun, içlerinde ağır metal ihtiva etmektedirler. Bu metaller özellikle depo alanı içinde asitik faz başladığı zaman daha fazla görülmektedir. Asetik asit üretiminin artması ortamın pH'ını düşürdüğü için çözünürlüğün artmasına sebebiyet verirler. Ancak metan faz başlayıp alkalinite arttığı zaman sıvıya çöpten geçen metal miktarında düşme görülür. Ortamdan kaynaklanan etkilere karşı oldukça hassas olan metan bakterileri için fazla miktardaki metal toksik etki göstermektedir. Bu bakımdan metan fazda ağır metal çözünürlüğünün düşmesi metan bakterilerinin verimi açısından önemlidir.

Ağır metallerin miktarını etkileyen bir diğer faktör yine kısmen pH'a bağlı olan çökelme durumudur. Çökelme metallerin hidroksit ve karbonat gibi köklerle birleşerek çökelek meydana gelmesi ile oluşur. Tüm hidroksitlerin minimum çözünürlükleri 9-12 pH değerleri arasındadır. Nötr noktada çözünürlük artar ve pH 4'lere geldiğinde çözünürlükte hızlı bir çıkış gözlenir. Karbonatların sulu çözeltideki çözünürlükleri CO₂'in kısmi basıncıyla yakından ilişkilidir.

Ağır metallerin çözünerek sıvı faza geçişleri başlangıçta çok azdır. Sonra pH'ın düşmeye başlaması ile yani ortamın asit faza dönüşmesi ile artmaya başlarlar ve en düşük pH değerinde maksimum konsantrasyonlarına ulaşırlar. Daha sonra da kararlı hal konsantrasyonu olarak kabul edilen bir değere yakınsarlar.

Ağır metallerin katı fazdan sıvı faza geçişinin çok karmaşık ve çeşitli mekanizmalara bağlı olduğu ve bununla beraber bu konuda literatürde şimdiye kadar pek fazla çalışmanın yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında özellikle ağır metallerin çözünme mekanizması ele alınmamış, olaya deneysel veriler ışığında yaklaşmıştır. Elde edilen konsantrasyon verilerinin Gaussian bir dağılım gösterdiği saptanmıştır. Bunun neticesinde tarafımızdan aşağıdaki matematiksel ifade geliştirilmiştir.

$$C(t) = C_{\max} \exp (-0.5 ((t-B)/A)^2) + R t \quad (5.20)$$

A, B = Ağır metallerin gösterdiği değişime göre belirlenen katsayılar
t = Zaman (T)

$$C^* = R t \quad (5.21)$$

C^* = Kararlı hal kirletici konsantrasyonu (M/L³)

Bu denklemde birinci kısım metalin maksimum konsantrasyonu olarak kabul edilen bir değere kadar yükselip sonra pH'nın artması ile tekrar düşmesini ifade etmektedir. İkinci kısım ise düşüşten sonra maddenin yapısına bağlı olarak oluşacak kararlı hal konsantrasyonunu göstermektedir.

6. UYGULAMA ALANININ TANITIMI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. UYGULAMA ALANININ TANITIMI

Katı atık depolama sahasından kaynaklanan sızıntı sularının matematik modellemesinin uygulanması için, İzmir Büyük Şehir Belediyesine bağlı Harmandalı Düzenli Katı Atık Depolama Tesisinde özel olarak seçilmiş ve hazırlanmış olan sahadan kaynaklanan sızıntı suları üzerinde deney çalışmaları yapılmıştır.

İzmir katı atıklarının düzenli olarak depolandığı Harmandalı bölgesi, İzmir il sınırları içindeki Harmandalı beldesinin 2,5 km doğusunda yer almaktadır. Yaklaşık 900.000 m²'lik bir alanı kapsayan ve Şekil 6.1'de görülen depo alanına gelen çöpler beş bölgede ayrı ayrı depolanmaktadır.[84] Bu bölgeler şunlardır ;

- Evsel atık bölgesi
- Sanayi atık bölgesi
- Hastane atık bölgesi
- Arıtma çamurları bölgesi
- Tehlikeli atıklar bölgesi

Katı atık düzenli depolama alanı olarak seçilen bölgenin yeraltı suyunu veya su kaynaklarını çöplerdeki sızmadan ve süzülmeden doğacak kirlenmeye karşı korumak için herhangi bir çalışmanın gerekli olup olmadığını belirlemek amacı ile hidrolojik ve jeolojik koşulların araştırılması Hacettepe Üniversitesi tarafından



Şekil 6-1 Harmandallı katı atık depolama tesisinin genel görünüşü

yapılmıştır. Jeolojik çalışmalar sonucunda, alan üç litolojik birime ayrılmıştır ; [85]

- Harmandalı filizi
- Piroklastik örtü (volkanik örtü)
- Genç yamaç molozları

Harmandalı filizinin kumtaşı üyesi üzerinde kırılan kırık-çatlak ölçümleri sonucunda, eklem sistemlerinin KG ve KBB-GGD yönlerinde geliştiği saptanmıştır.

Yamaç molozu, yüksek kesimlerde yer alan piroklastiklerin aşınarak taşınması ve hemen yakınlarında çökmesi ile oluşmuştur.

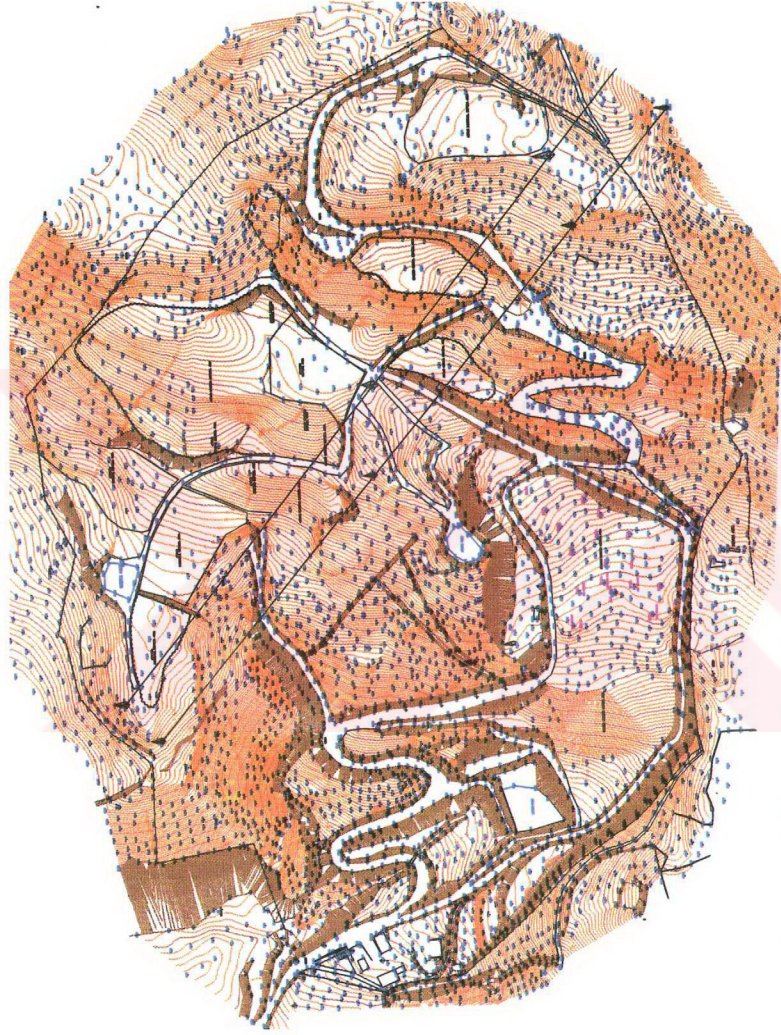
Standart penetrasyon deneyi sonuçlarına göre, yamaç molozu içerisinde bulunan kiler genelde sert-çok sert; kumlar ise orta sıkı olarak sınıflandırılabilirler.

Filizin ayrılmış kesimlerinden ve piroklastik örtü serisine ait malzemeden alınan örnekler üzerinde yapılan Atterberg Limitleri deney sonuçları, plastisite derecesi sınıflamasına göre az plastik-plastik sınıfı içerisinde yer almaktadır.

Laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen veriler ışığında yapılan birleştirilmiş Toprak Sınıflamasına göre, inceleme alanındaki çok ince taneli malzemelerin genellikle CH (yüksek plastisiteli inorganik kil) ve CL (düşük plastisiteli kil); kum boyu malzemelerin ise SW (iyi boyanmış kum, içerisinde ince taneli malzeme çok az veya hiç yok) ve SC (killi kum) grubu içinde yer aldığı saptanmıştır.

Arazide açılan sondajlarda yapılan basınçlı ve basınçsız su deneyleri verilerinin yorumlanması sonucunda, piroklastik örtü serisinin üst kısımlarında geçirimsiz zonların bulunduğu görülmüştür. Filiz, içerisinde kumtaşı üyesini barındırmakla birlikte bir bütün olarak ele alındığında, göreceli olarak piroklastik malzemeden daha geçirimli olmasına rağmen geçirimsiz olarak kabul edilir.

Jeolojik araştırmalarda, yeraltı suyu seviyesi, yeraltı suyunun akış yönü ve hızı ve yeraltı suyunun kimyasal analizleri yapılmıştır. [85]



Şekil 6-2 Harmandalı katı atk depolama tesisinin haritası

Bu tez çalışmasının yapıldığı katı atık depolama sahasına (Şekil 6-2'de görüldüğü gibi) ait yapılan jeolojik ve hidrolojik çalışmaların sonuçları aşağıda sunulmuştur. Bu bölgenin kesiti Şekil 6-3 'de ve zemin sondajı kuyu kütüğü Şekil 6-4 'de görülmektedir.



76

HÜ. ULUSLARARASI KARST SU KAYNAKLARI UYGULAMA VE ARASTIRMA MERKEZİ											
ZEMİN SONDAJİ KUYU KÜTÜĞÜ											
PROJE		İzmir-Harmancılı Çöp Depolama Alanı Zemin Etüdü				SONDAJ NO		SK-24			
LOKASYON		BKZ. JEOLJİ HARİTASI				LOGU HAZIRLAYAN		CAHİT YESERTENER			
KOORDİNAT		X		Y		KONTROL		Cr. Süleyman KOCAEPE			
KUYU KOTU		244.0		ÖLÇEK		1 / 100					
Derinlik(m)		Yeraltısuyu Seviyesi (m)		ÖRNEKLER / TESTLER				SEMBOZ LİX LOG		ZEMİN TANIMI	
UD		SPT		Toplam Karot		R Q D %		Basıncsız Su		Basıncılı Su (Lugeon)	
						25 9075		Q(1/10 dak)		Q(1/10 dak)	
1.0										İnşaat toprak	
2.0										Koyu kahverengi toprak, kumlu silici kil (andezit ayrışması ile oluşmuş)	
3.0											
4.0								1.0			
5.0											
6.0											
7.0								Kayıp yok		Ayrışmış andezit bloklu andezitik tuf	
8.0											
9.0											
10.0								Kayıp yok			
11.0											
12.0											
13.0								9.0			
14.0										Kırılgan andezit bloğu	
15.0								15.00			
16.0								KUYU SONU			
17.0											
18.0											

Şekil 6-4 Zemin sondajı kuyu kütüğü

Tablo 6-1 Basıncsız su deneyi sonucu [85]

Kuyu no.	Deney derinliği (m)	Su kaybı Q (l / 10 d)	Hidrolik K iletkenlik (m / sn)	Açıklama
SK – 24	4	1	9,2x10(-8)	Çok zayıf drenaj
SK – 24	6 - 9	Kayıp yok	< 10(-10)	Geçirimsiz

Tablo 6-2 Basıncılı su deneyi sonucu [85]

Kuyu no.	Deney der. (m)	Uyg. Basıncı (atm)	Su kaybı Q (l / 10 d)	Hid. iletken. K (m / sn)	Açıklama
SK – 24	12	5,00	9,00	7,6x10(-8)	Çok zayıf drenaj

Tablo 6-3'te de 24 no' lu sondaj kuyusuna ait toprak örnekleri ile ilgili deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 6-3 Toprak örnekleri deney sonuçları [85]

Kuyu no.	Derinlik (m)	Wn (%)	qn (gr/ cm3)	Gs	Toprak sınıfı
SK – 24	5,00	29,40	1,875	2,20	SW

Wn : Doğal nem içeriği

qn : Doğal birim ağırlık

Gs : Tane özgül ağırlığı

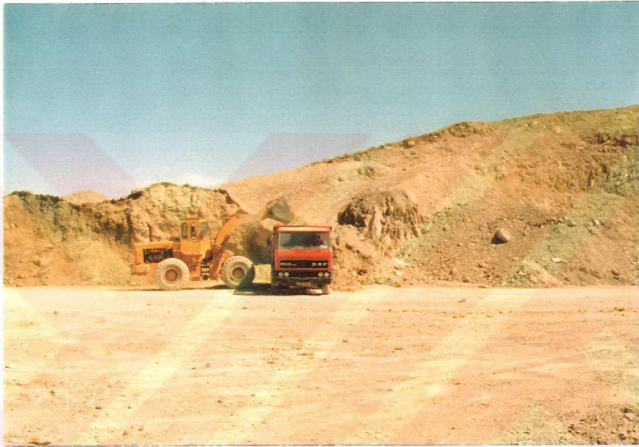
SW : Tane boyu dağılım birimlerinden; (iyi boylanmış kum, içinde ince taneli malzeme çok az veya hiç yok.)

İzmir Harmandalı katı atık düzenli depolama sahası zemininde yönetmelikçe istenen geçirimsizlik halihazırda var olduğundan, sızıntı sularının su kaynaklarına ve çevreye zarar vermesini engellemek için ayrıca geçirimsiz bir malzeme ile kaplanmasına gerek olmadığı sonucuna varılmıştır. [84]

6.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.2.1 Depo Alanının Hazırlanması

Bölüm 6.1.'de tanıtılan 5300 m² 'lik deney alanı çöp döküm sahası olarak düzenlendikten sonra, sızıntı suyunun alınması için drenaj kanalları açılmıştır. Açılan kanallar tek bir çıkışta birleştirilmiş ve çıkış yerine numune alma savağı yerleştirilmiştir.



Şekil 6-5 Depo sahasının hazırlanışı

Deney alanına, sadece evsel nitelikli, Haziran ve Temmuz ayları dönemine ait yaklaşık 72500 ton ağırlığında yaz katı atık alınmıştır. Alınan katı atıklar öncelikle elektronik kantarda tartılmış, daha sonra uygulama alanına dökülmüştür. Şekil 6.5'de sahanın hazırlanışı, Şekil 6.6'da katı atıkların depolanmasının sırasında ve Şekil 6.7'de de katı atıkların üzeri kapatılırken görülmektedir.

Döküm işlemi tamamlandıktan sonra, çöpün üzeri yaklaşık 50 cm kalınlığında killi toprak ile örtülmüş ve sıkıştırılmıştır. Bu arada işleme tabi tutulan katı atıkların bileşiminin belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bunun için değişik semtlerden farklı saatlerde gelen araçlarda çöp ayrımı ve elek analizleri yapılmıştır.



Şekil 6-6 Katı atıkların depolanması



Şekil 6-7 Katı atıkların üzerinin killi toprak ile örtülmesi

Elek analizinde katı atıklar organik ve geri kazanılabilir olmak üzere iki bölümde incelenmiştir.

Organik atıklar, < 8 mm, 8 - 40 mm, 40 - 120 mm büyüklüğündeki gruplara ayrılmıştır.

Geri kazanılabilir atıklar, kağıt, karton, cam şişe, metal, plastik, karışık ambalaj, köpük, tahta, tekstil, taş-fayans-porselen ve diğerlerini kapsayan gruplara ayrılmıştır.

Elek analizinden geçen örnekler, aynı gün içinde su muhtevası ve organik madde muhtevası açısından analiz edilmiştir.

Çöp bileşiminin ağırlık oranlarına göre saptanan değerleri ve analiz sonuçları Tablo 6-4'de verilmiştir.

Tablo 6.4 Katı atık örnekleri içinde belirlenen maddeler ve ağırlıkça yüzdeleri

Malzeme Gurubu	Ağırlıkça %
Organikler (mutfak atıkları)	71
Kağıt, karton vs.	13
Plastik	4
Cam	2
Tekstil	1.5
Metal	1
Tahta, deri, lastik	0.5
Porselen	2
Toz, kül, çakıl	4

6.2.2. Debi Ölçümü ve Debi Değişimi

Yapılan analizler sonucunda katı atık bileşimine ait su içeriği %68 olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi değer oldukça yüksektir. Saha çalışmaları sırasında da bu gözlenmiştir. Şekil 6.8'de sızıntı suyunun toplandığı havuz görülmektedir.

Yani üzerinde çalışılan, yaz dönemine ait katı atıklardan sızıntı suyunun çıkışı için yağmur suyuna ihtiyaç yoktur. Katı atığın kendi içinde mevcut bulunan rutubet den kaynaklanan sızıntı suyunun yaz mevsiminde yağmur suyu olmaksızın, depo sahasından ne miktarda ayrılışının yani günlük debi değişimini belirlemek için, 5000 tonluk kapasitesi olan küçük bir depolama sahası yapılmış ve bundan çıkan sızıntı sularının debisi ölçülmüştür.



Şekil 6-8 Sızıntı suyu toplama havuzu

Depo sahasından, kurak dönemde çıkan sızıntı suyunun daha hassas bir şekilde tespiti için kontrol edilmesi ve düzenlenmesi daha kolay küçük bir depo sahası oluşturulmuştur. Depo sahasından çıkan sızıntı suları son çıkış yerinde ince bir hortum bulunan bir kapta toplanmıştır. Buradan çıkan sızıntı suları 12 saat arayla, ölçekli bir kap ve kronometre yardımıyla debi ölçümü yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar grafiğe aktarılmış ve matematiksel ifadelerle olan benzerlikleri araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda debi değişiminin Gauss Matematiksel ifadesi ile çok benzerlik gösterdiği saptanmıştır.

$$y = A \exp (-0.5 ((t - B) / C)^2) \quad (6.1)$$

5000 ton katı atık için yapılan debi ölçümlerinde;

$T = 0$ için, $Q = 25 \text{ m}^3 / \text{gün}$

$T = 33$ için, $Q_{\text{max}} = 60 \text{ m}^3 / \text{gün}$

$T = 108$ için, $Q \approx 0 \text{ m}^3 / \text{gün}$

değerleri bulunmuştur.

Bu değerler aynı özelliklere sahip, ancak miktarı ve yüksekliği farklı olan üzerinde çalışılan depo sahasına uygulandığında ve bu matematiksel ifade ölçüm sonuçları ile ilişkilendirilince, 72500 ton katı atık ve buna ait %68 oranındaki su içeriğinin zamanla değişimi aşağıdaki hesaplamalar yardımıyla bulunmuştur.

- Katı atık su içeriğinin kümülatif toplamlarının, katı atık kütlelerine olan oranı eşittir.

$$M_2/M_1 = \sum Q_2 / \sum Q_1 = 72500/5000 = 14.5 \quad (6.2)$$

M_2 / M_1 = Büyük depo ile küçük depo katı atık kütlelerinin oranı

$\sum Q_2 / \sum Q_1$ = Büyük depo ile küçük depo kümülatif toplam debi oranı

- Sızıntı suyu debisinin değişim süresinin, katı atık yüksekliğine oranı eşittir .

$$H_2 / H_1 = T_2 / T_1 = 18/5 = 3.6 \quad (6.3)$$

H_2 / H_1 = Büyük depo ile küçük deponun depo yükseklikleri oranı

T_2 / T_1 = Büyük depo ile küçük depo sızıntı suyu debisi değişim süresi oranı

$$Q_2 * T_2 / Q_1 * T_1 = M_2 / M_1 \quad (6.4)$$

$$Q_2 = M_2 * Q_1 * T_1 / M_1 * T_2 \quad (6.5)$$

bu ifadede değerler yerine yazıldığında,

$$Q_2 = 4 * Q_1 \quad (6.6)$$

bulunur. Buna göre elde edilen değerler 72500 tonluk depo sahası için uygulandığında;

$$T = 0 \text{ için, } Q = 100 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

$$T = 120 \text{ için, } Q_{\max} = 240 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

$$T = 418 \text{ için, } Q \approx 0 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

değerleri elde edilmiştir.

Bulunan bu değerler, grafik üzerine işlenmiş, ardından da yeterli sayıdaki değerlerinde belirlenip grafiğe işlenmesi sonucu, bilgisayar programları yardımıyla gerekli katsayılar bulunarak (6.3) denklemi elde edilmiştir.

$$Q(t) = Q_{\max} \exp (-0.5 ((t - 120) / 90)^2) \quad (6.7)$$

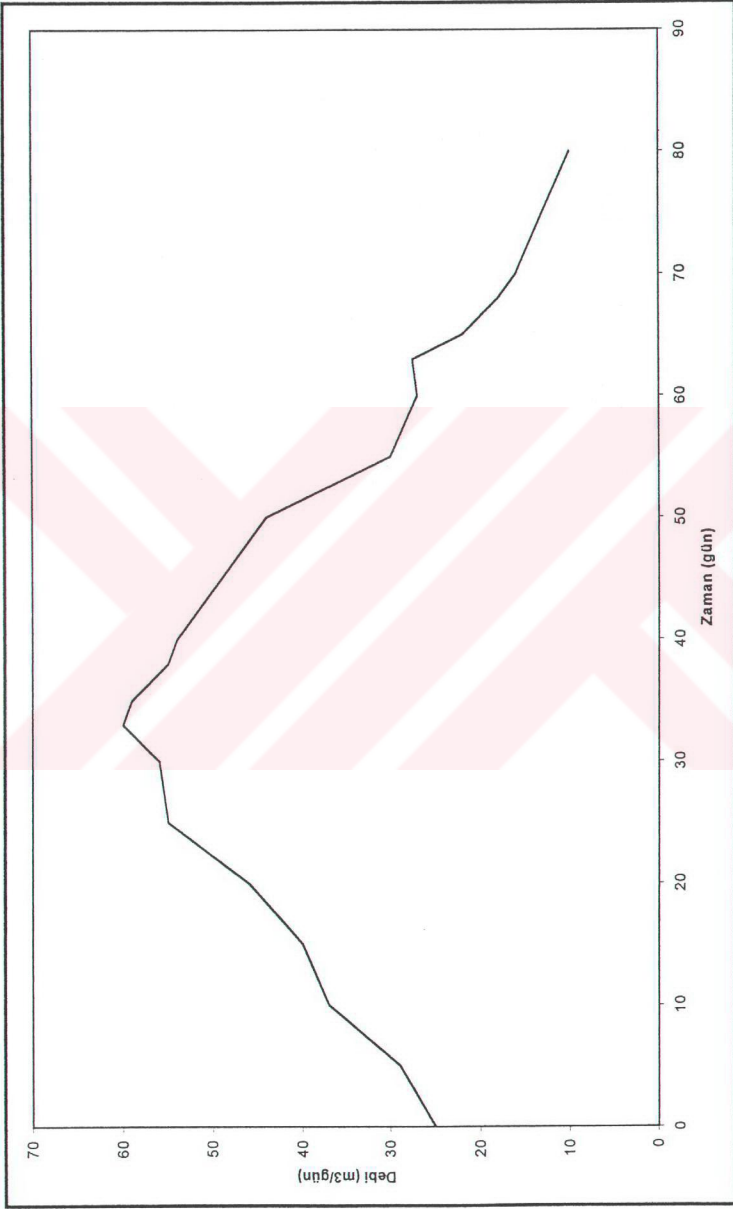
Yağmurun olmadığı kurak dönem için bu hesaplama yapıldıktan sonra, yağmur suyunun sızıntı suyu üzerine olan etkisinin belirlenmesi amacıyla, İzmir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Çiğli ölçüm istasyonundan, çalışılan döneme ait yağış ve buharlaşma değerleri alınmış ve " rasyonel metot ",

$$R = c * P \quad (3.2)$$

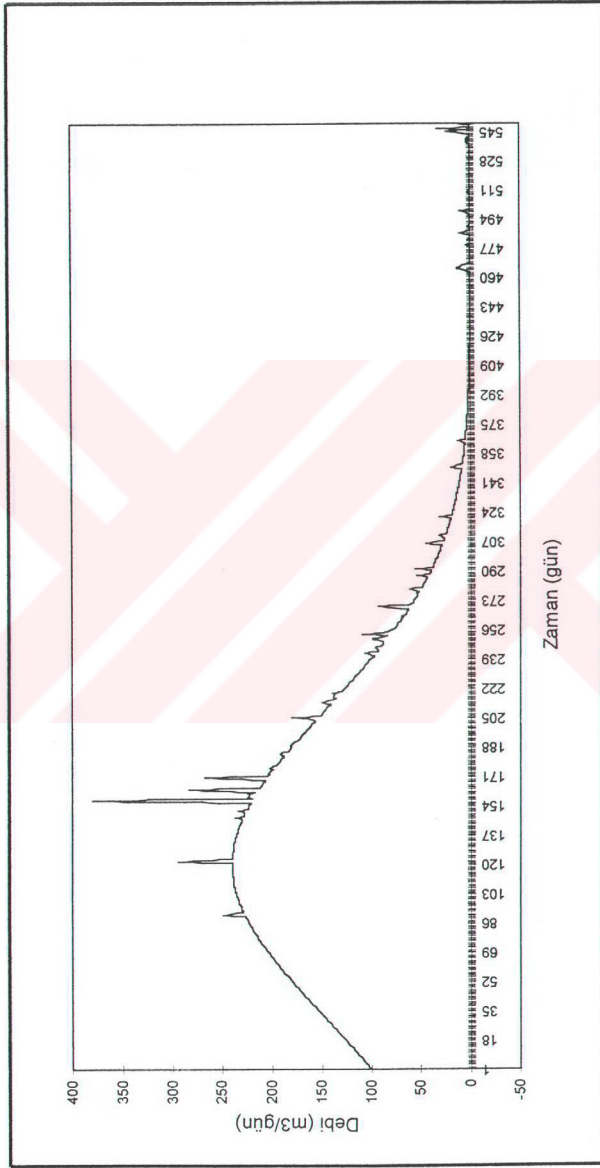
yardımları ile de yüzeysel akış hesaplanmıştır. Burada c sabitinin, literatür araştırmaları sonucu bizim çalıştığımız deney ortamına en uygun değer olarak Tablo 3.'den $c=0.70$ olarak saptanmıştır. Toplam yağıştan buharlaşma ve yüzeysel akış çıkarılarak bulunan, infiltrasyon değerleri de eklenerek matematiksel ifadelerin hesaplanmasında kullanılan gerçek debi değerleri hesaplanmıştır. 5000 ton kapasiteli depolama sahasına ait debi ölçümleri Şekil 6-9 ve infiltrasyon sonucunda katı atık su içeriğindeki değişimler Şekil 6-10'de görülmektedir. Yağış ve buharlaşma değerleri Ek B'de verilmiştir.

6.2.3. Sızıntı Suyu Analizleri

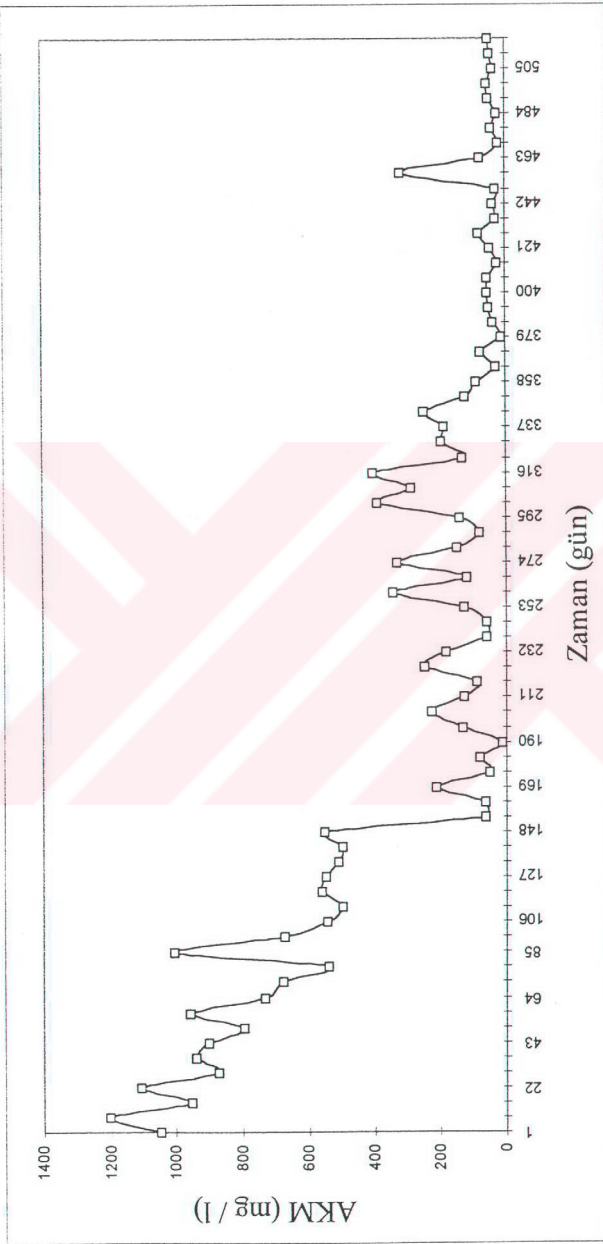
Depo sahasından kaynaklanan sızıntı sularından, numune alma savağından haftada bir kez olmak üzere, 512 gün süreyle numune alınmıştır. Alınan numuneler üzerinde matematiksel modelleri mukayese etme imkanı verecek kirletici parametreler, Standard Methodlara [86] göre deneysel olarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada; askıda katı madde, sülfat, kimyasal oksijen ihtiyacı, nikel, kurşun, kadmiyum ve pH kirletici parametreleri aranmıştır. Askıda katı madde ve sülfat gravimetrik, kimyasal oksijen ihtiyacı volimetrik yöntem ve ağır metaller ise Thermojarrell Ash- Atomik adsorpsiyon (markası ; Smith - Itieftje 1000) cihazı ile ölçülmüştür. Deney sonuçları tablo halinde Ek A'da verilmiştir. Ayrıca kirletici parametre konsantrasyonlarının zamanla değişimi Şekil 6-11 (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g)'de verilmiştir.



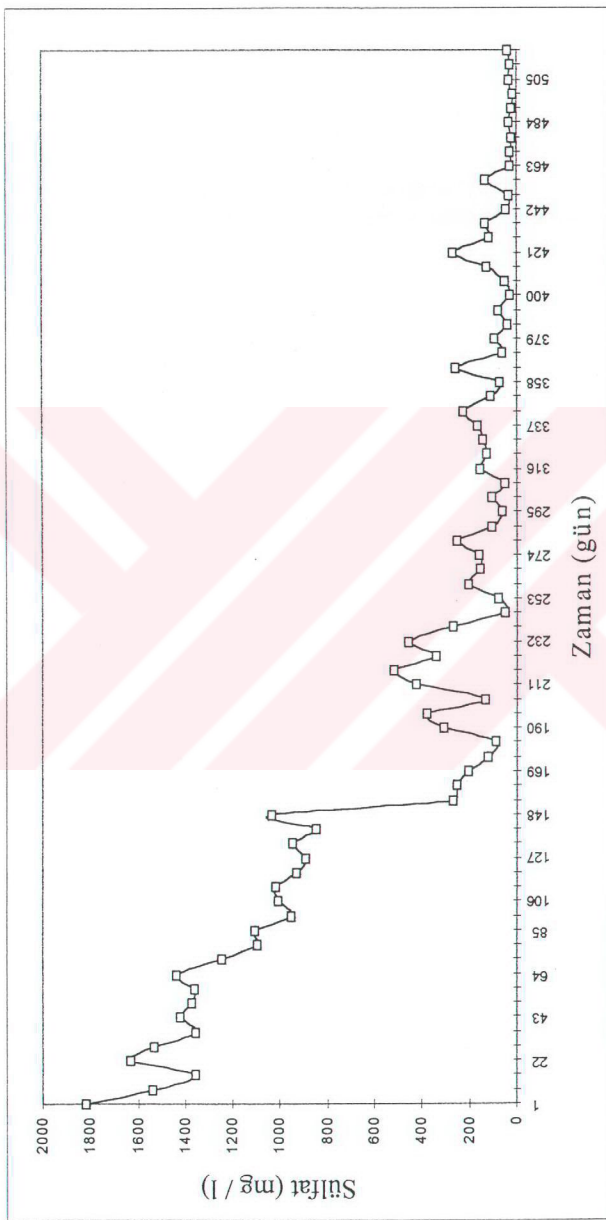
Şekil 6-9 Yapılan ölçümler sonucu çıkan debi grafiği



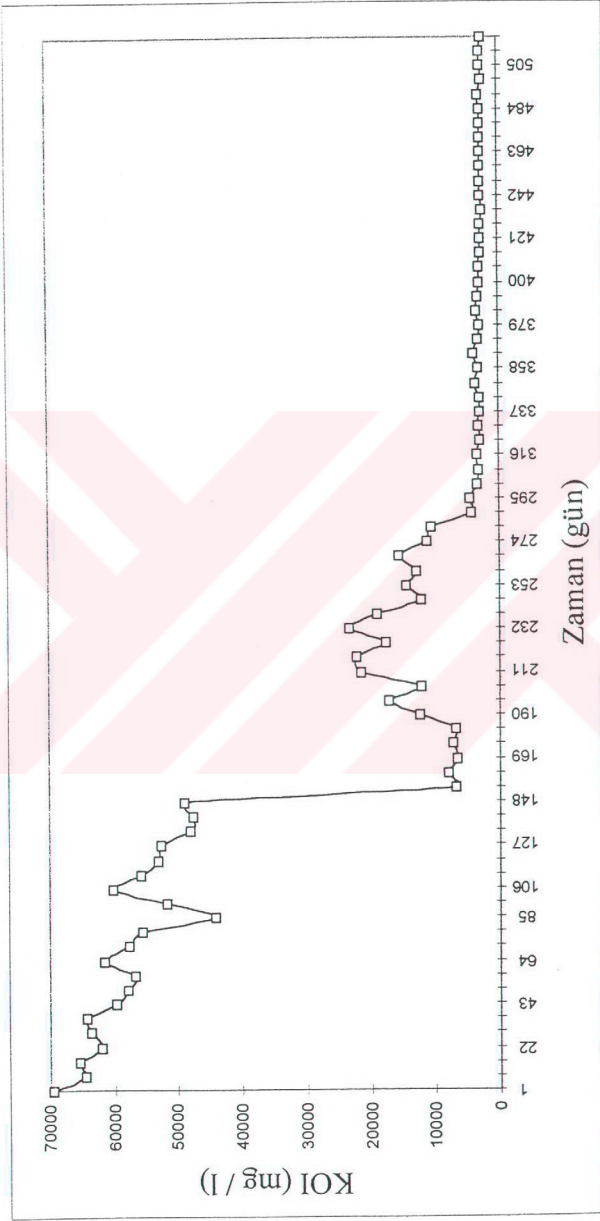
Şekil 6-10 İnfiltrasyon sonrası katı atık su içeriğindeki değişimler



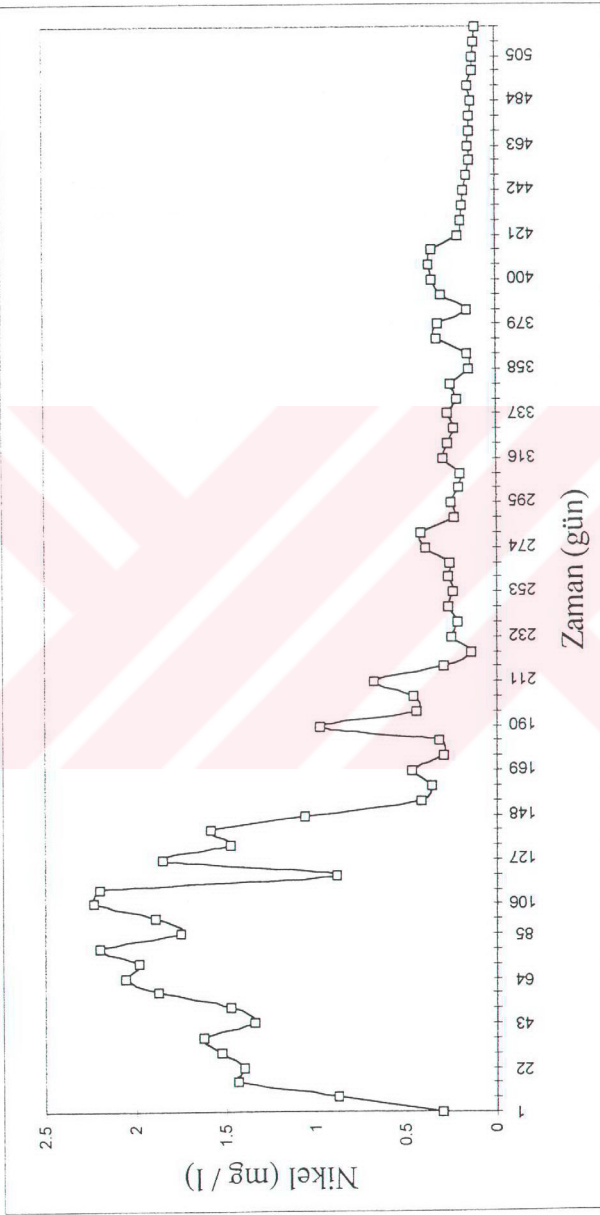
Şekil 6-11 (a) AKM konsantrasyonlarının deneysel verilerinin zamanla değişimi grafiği



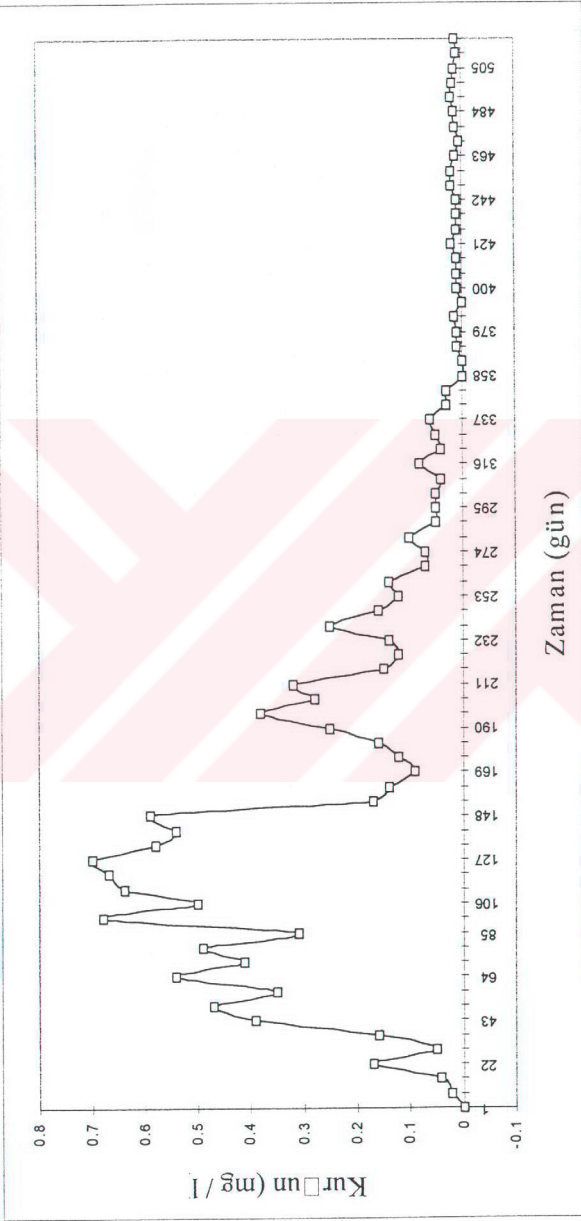
Şekil 6-11 (b) Sülfat konsantrasyonlarının deneysel verilerinin zamanla değişimi grafiği



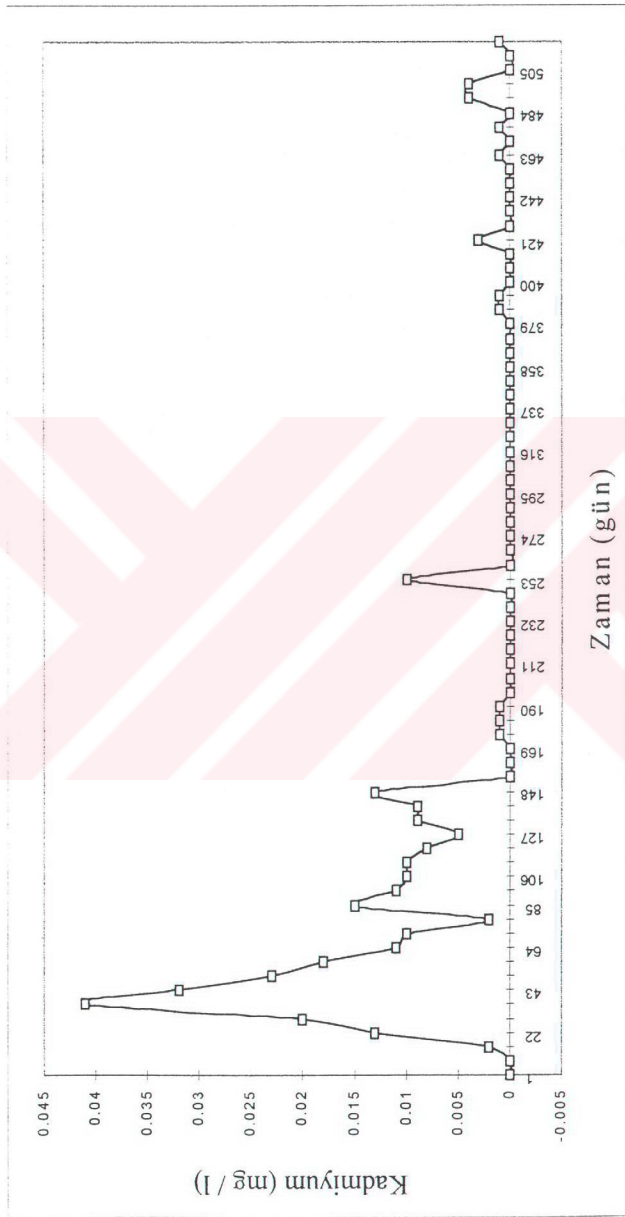
Şekil 6-11 (c) KOI konsantrasyonlarının deneysel verilerinin zamanla değişimi grafiği.



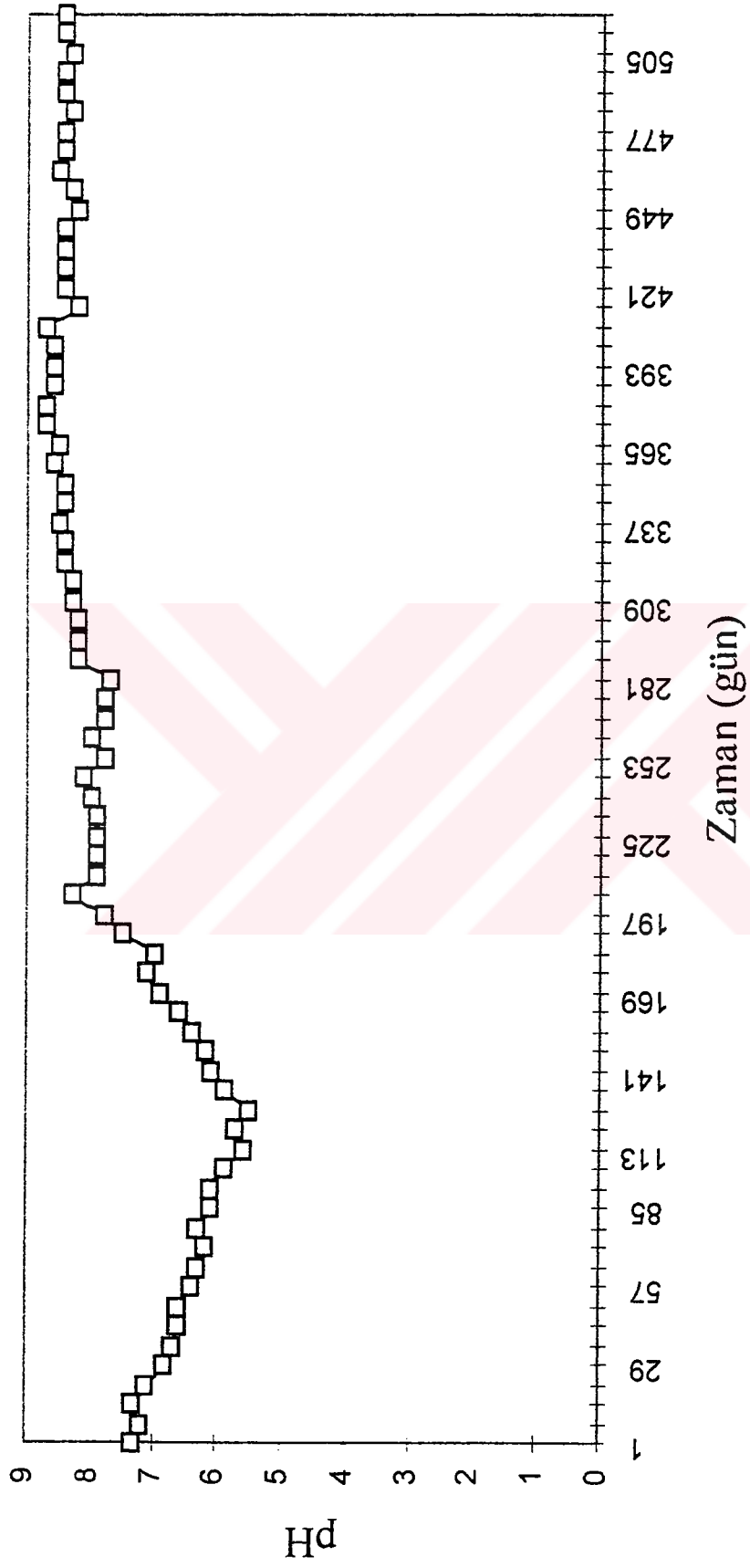
Şekil 6-11 (d) Nikel konsantrasyonlarının deneysel verilerinin zamanla değişimi grafiği



Şekil 6-11 (e) Kurşun konsantrasyonlarının deneysel verilerinin zamanla değişimi grafiği



Şekil 6-11 (f) Kadmiyum konsantrasyonlarının deneysel verilerinin zamanla değişimi grafiği



Şekil 6-11 (g) pH konsantrasyonlarının deneysel verilerinin zamanla değişimi grafiği

7. GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELİN UYGULANMASI VE DENEY SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

7.1. GENEL

Yapmış olduğumuz saha çalışmasının, literatürde karşılaşılan diğer laboratuvar bazlı model çalışmalarından ve yurtdışında yapılan saha çalışmalarından ayrılan en büyük özelliği, İzmir'in çöpünün organik madde ve su içeriğinin çok yüksek olmasıdır. Geçmişte laboratuvar çalışmalarını esas alan modelleme çalışmalarında kurulan deney düzeneklerinde çok az miktarda çöp kullanılmıştır. Hem çöp miktarının azlığından, hem de çöp karakteristiğinin farklı olmasından dolayı elde edilen sonuçların doğal ortamda karşılaşılan gerçek verileri yansıtmadığı görülmüştür. Bu konuda yurt dışında yapılan daha büyük ölçekli saha çalışmalarında ise çöplerinin organik madde ve su içeriğinin bize göre çok düşük olması nedeniyle elde edilen sonuçlar, bizim çöp depolama alanlarımızla ilgili ileriye dönük teoriyi genel olarak vermekle beraber, matematiksel modellemelerdeki eşitliklerin olayları tam ortaya koyamadığı görülmüştür. Yaptığımız çalışma, bu konuda , özellikle ülkemizdeki katı atık düzenli depolama sahaları üzerine şimdiye kadar yapılmış en kapsamlı çalışmadır.

7.2. GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELLERE AİT PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

Geliştirilen matematik modellere ait parametrelerin belirlenmesinde Tablo 7-1'de verilen uygulama alanı ve katı atık özellikleri kullanılacaktır.

Depolama sahasındaki katı atıkların tutabildikleri rutubet miktarı hesaplanırken, depo sahasına dışarıdan herhangi bir su ilavesi (yağış) olmaksızın, kısa süre içinde sızıntı suyu oluşumu gözlemlendiği için, katı atık kütlesinin başlangıçta rutubete doyma kapasitesine eriştiği kabul edilir.

Tablo 7-1 Kullanılan deney sahasının özellikleri

Yüzey Alanı, A, m ²	5300
Katı Atığın Yüksekliği, H, m	18
Katı Atık Hacmi, V, m ³	95400
Katı Atık Yaş Yoğunluğu, kg/m ³	760
Katı Atık Kuru Yoğunluğu, kg/m ³	243
Katı Atık Rutubet İçeriği, %	68
Katı Atık Ağırlığı, kg	72,500,000
Organik Madde İçeriği, %	71

Alanı doyumak için gerekli olan rutubet miktarı, katı atıkta başlangıçta mevcut bulunan su içeriğine eşit olduğu için;

$$\begin{aligned}\text{Rutubet miktarı} &= 72500000 \times 0.68 \\ &= 49300000 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Alanının m}^2\text{sinin doyuran rutubet miktarı} &= 49300000 / 5300 \\ &= 9300 \text{ lt / m}^2\end{aligned}$$

9300 lt su miktarı, yağış eşdeğeri olarak 9300 mm olarak ifade edilir. Rutubete doyma kapasitesi, birim yüksekliğin alacağı rutubet miktarı:

$$\begin{aligned}\theta_r &= 9300 \text{ mm} / 18000 \text{ mm} \\ &= 0.517 \text{ cm} / \text{cm}\end{aligned}$$

olarak bulunur.

Ortalama rutubet bekleme süresi, T_{ort} ; katı atık su içeriği ve depo sahasına 17 ay süre ile yağın yağış sebebiyle oluşan sızma sonucunda meydana gelen rutubet miktarının ortalaması, Q_{ort} olduğuna göre;

$$T_{ort} = V\theta_r / Q_{ort} \quad (7.1)$$

formülü ile belirlenir.

$$\begin{aligned}
Q_{\text{ort}} &= \text{Toplam rutubet miktarı} / \text{Çalışma süresi} & (7.2) \\
&= \text{Atık su içeriği} + \text{Yağış (sızma)} / 512 \text{ gün} \\
&= 9300 + 99 / 512 = 18.357 \text{ lt} / \text{m}^2 \text{ gün}
\end{aligned}$$

Katı atık kütlesi hacmi, $V = 95400\text{m}^3$ olduğuna göre;

$$T_{\text{ort}} = (95400000 \text{ lt}) \times (0.517 \text{ cm} / \text{cm}) / (5300 \text{ m}^2) \times (18.357 \text{ lt} / \text{m}^2 \text{ gün})$$

$$T_{\text{ort}} = 507 \text{ gün}$$

olarak bulunmuştur.

7.3. KÜTLE TRANSFERİ HIZININ BELİRLENMESİ

Kirleticilerin, rutubet ile temasta bulundukları zaman süresince katı atıklar sıvı faza belli bir hızla transfer olmaktadır. R kolay çözünmeyen maddelerin kirletici madde geçiş hızı ile sıvı faza geçmesi sabit kalabildiği gibi sürekli olarak değişebileceği bilinmektedir. R, sonuçta kirletici içeriğine bağlı olduğuna göre, çöp içinde bulunan süzülebilir kirletici madde miktarı ile sınırlıdır.

Kütle transferi hızının hesaplanabilmesi için tüm maddelere ait C^* kararlı hal konsantrasyonunun belirlenmesi gereklidir. Yapılan literatür çalışmaları ([2], [10], [54], [55], [56], [59]) sonuçlarına göre her madde için C^* değerleri ve buna karşılık gelen sabit R değerleri eşitlik (5.12) yardımı ile bulunmuş ve Tablo 7-2'de verilmiştir.

Eşitlik (5.11)'deki zamanla değişen kirletici geçiş hızına ait k , kirletici üretim hız katsayısının hesaplanmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Tablo 7-2'de görüldüğü şekli ile, C_{max} , C_0 , S/S_0 değerleri kabul edilip ve hesaplanan sabit R değerleri kullanılarak k değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 7-2 Ölçülen parametrelere ait hesaplanan değerler

Parametreler	C^* (mg / l)	R (mg /l.gün)	C_{max} (mg / l)	$C_{(0)}$ (mg / l)	S / S_0	k (gün ⁻¹)
AKM	50	0.1	1415	1200	0.5	0.0009
Sülfat	40	0.08	1950	1800	0.5	0.001
KOİ	3000	5.92	84000	73000	0.5	0.001
Nikel	0.153	$3 \cdot 10^{-4}$	2.3			
Kurşun	0.051	10^{-5}	0.7			
Kadmiyum	0.0051	10^{-6}	0.042			

7.4. BİYOLOJİK BOZUNMA KİNETİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Bakterilerin gelişimi ve besin kullanma oranları için kullanılan Monod kinetiği modeli, hem aerobik hem de anaerobik aktiviteler için kullanılır. Ancak Y , μ_{max} , K_s ve k_d parametreleri her popülasyon için farklıdır. Organik maddelerin aerobik faaliyetlerle kullanımı sonucunda oluşan sızıntı suyunun, anaerobik faaliyetlerle oluşana göre az olması nedeni ile ihmal edilmiştir. Anaerobik faaliyetin ilk günden itibaren etkin olacağı kabul edilmiştir.

Geliştirilen matematiksel modellerde kullanılacak anaerobik reaksiyon kinetik parametreleri, literatürde benzer konularda yapılmış modelleme çalışmalarında kullanılmış veya deneysel çalışmalarla bulunmuş kinetik parametreler Tablo 7-3'de verilmiştir. [71]

Tablo 7-3 Organik asitler için ölçülmüş ve sızıntı suyu için verilmiş anaerobik ayrışma kinetik parametreleri

	Y mg / mg	μ_{max} gün ⁻¹	K_s mg / l	k_d gün ⁻¹
Organik asitler	0.04	0.29	740	0.01
Sızıntı suyu için kabul	0.04	0.0363	5000	0.01

Yukarıda belirlenen değerler matematik model üzerinde denenerek çalıştığımız katı atığın kompozisyonuna ve su içeriğine bağlı olarak, bazı değerlerin uyumsuz olduğu saptanmıştır. Yapılan denemeler sonucunda, tarafımızdan geliştirilen matematik model için en uygun değerler belirlenmiştir. Bu değerler Tablo 7-4'de görülmektedir.

Tablo 7-4 Matematik modelde kullanılan anaerobik ayrışma kinetik parametreleri

Y	μ_{max}	K_s	k_d
Mg / mg	gün ⁻¹	mg / l	gün ⁻¹
0.04	0.04	8500	0.01

7.5. GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELLERİN UYGULAMASI VE DENEYSEL ÇALIŞMALARLA KARŞILAŞTIRILMASI

7.5.1. İnorganik Bileşiklerin Değişimi ile İlgili Geliştirilen Matematiksel Modelin Uygulanması ve Deneysel Çalışmalarla Karşılaştırılması

İnorganik maddeler için geliştirilen matematiksel modelin uygulanmasında askıda katı madde ve sülfat gibi parametreler göz önüne alınmıştır. Bu parametrelerin konsantrasyonlarının zamanla değişimini ifade etmek için geliştirilen aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$C(t) = C_0 \exp (-G(t)) - R(t) V\theta_f / Q_{ort} \quad (5.7)$$

Matematiksel benzetmeler sırasında bilinmesi gerekli olan C_0 başlangıç konsantrasyonu parametresi, deney sonuçları göz önünde bulundurularak, denemelerle en iyi benzetmeyi sağlayan değer alınmıştır.

Askıda katı madde için yapılan benzetmede, $C_0 = 1200$ mg / l, $C_{max} = 1415$ mg/l, $k = 0.0009$ gün⁻¹ bulunarak, deneysel veriler ile en uyumlu değerler elde edilmiştir.

Sülfat için yapılan, benzeri çalışmada ise, $C_0 = 1800$ mg / l, $C_{max} = 1950$ mg / l, $k = 0.001$ gün⁻¹ hesaplanarak, uyumlu bir grafik elde edilmiştir.

Değişken kirletici üretim hızı kullanılarak, $R(t)$, yapılan benzetme çalışmalarında, Şekil 7-1 ve Şekil 7-4, sırasıyla AKM ve sülfat için oldukça olumlu grafikler elde edilmiştir. Ancak, sabit kirletici üretim hızı için iyi bir uyum elde edilememiştir.

Sabit R , hali için grafikler, AKM için Şekil 7-2'de ve sülfat için de Şekil 7-5'de verilmiştir. Elde edilen deney verileri ve çıkan katsayılar Straub ve Lynch [70] tarafından geliştirilen bağıntı için de uygulanmıştır. Değişken kütle transfer hızı için, yapılan bu uygulamaya ait sonuçlar Şekil 7-3'de AKM için, Şekil 7-6'da sülfat için gösterilmiştir. Ayrıca denge denkleminin analitik çözümü sonucu elde edilen ifade de yapılan uygulama sonuçları Şekil 7-7'de AKM için, Şekil 7-8'de sülfat için gösterilmiştir. Görüldüğü gibi oldukça uyumsuz grafikler elde edilmiştir.

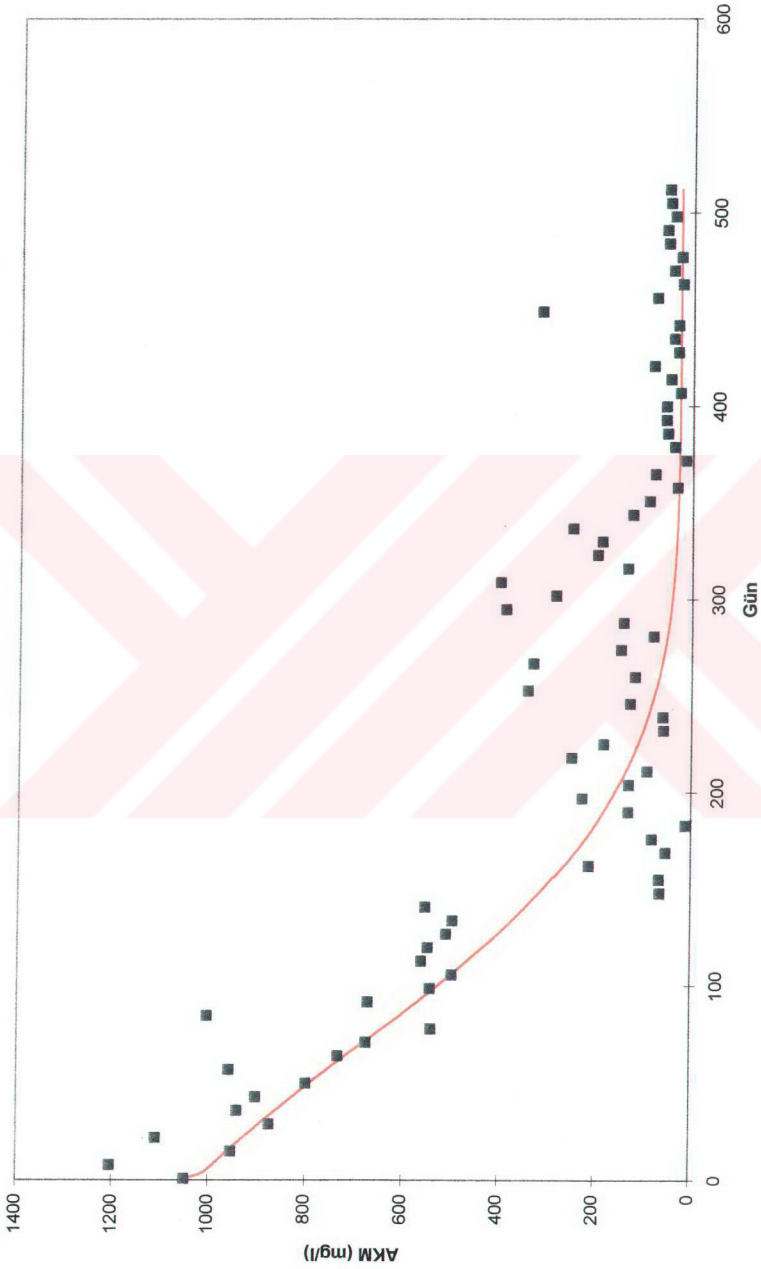
7.5.2. Organik Bileşiklerin Değişimi ile İlgili Geliştirilen Matematiksel Modelin Uygulanması ve Deneysel Çalışmalarla Karşılaştırılması

Organik bileşikler için geliştirilen, matematiksel modelin uygulamasında, kimyasal oksijen ihtiyacı kirlilik parametresi dikkate alınmıştır. Bunun için geliştirilen bağıntı;

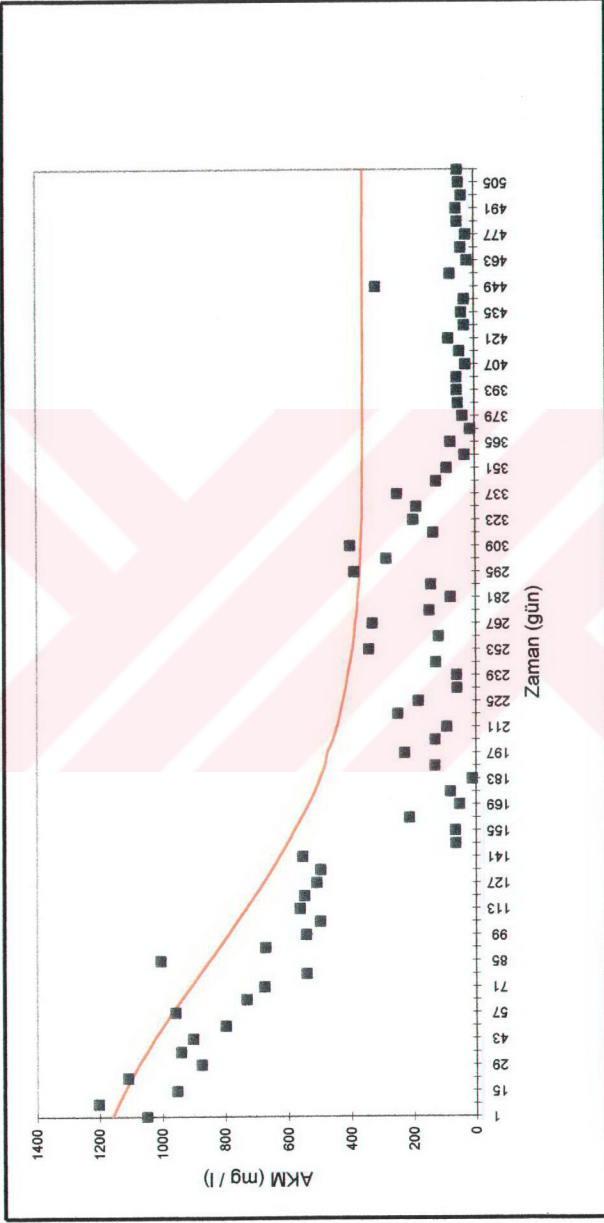
$$C(t) = C_0 \exp (-G(t)) - \sum (R + R' + R'')_{(t)} V\theta_f / Q_{ort} \quad (5.15)$$

şeklinde dir.

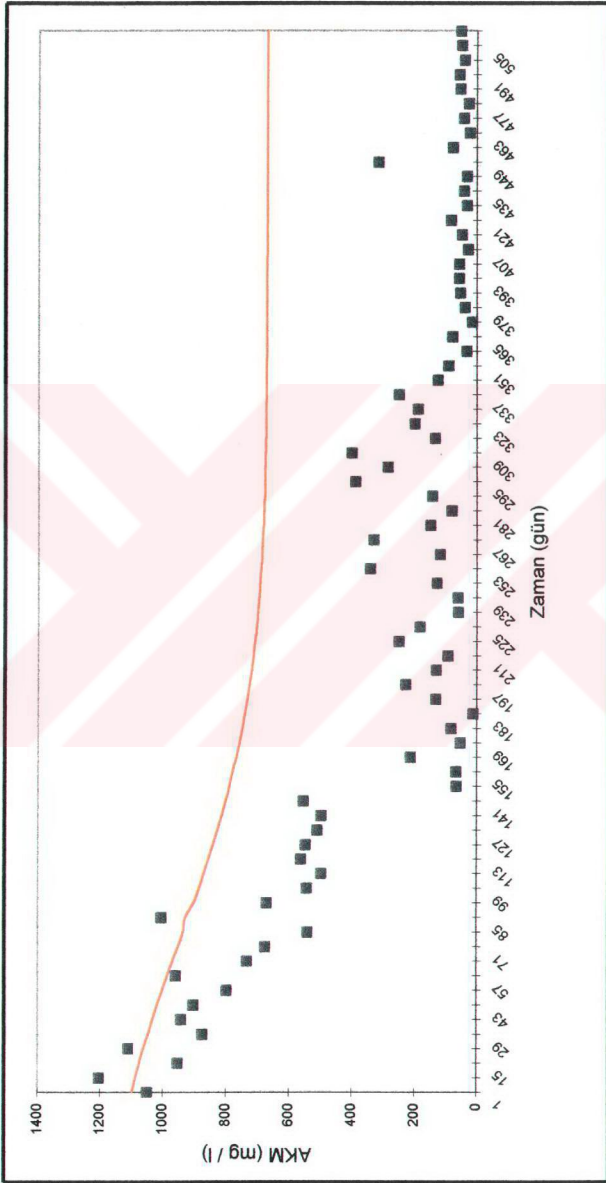
Yapılan benzetme çalışmalarında, $C_0 = 73000 \text{ mg/l}$, $C_{\max} = 84000 \text{ mg/l}$, $k=0.001 \text{ gün}^{-1}$, değerleri ile değişken kirletici üretim hızı kullanılarak deney sonuçları ile uyumlu bir eğri elde edilmiştir. Yapılan benzetme sonuçları Şekil 7-9 'de gösterilmiştir. Sabit kirletici üretim hızı değeri kullanılarak, yapılan benzetme çalışmalarında Şekil 7-10'de, görüldüğü gibi iyi bir uyum elde edilememiştir. Starub ve Lynch [71] tarafından verilen bağıntı ile değişken kirletici hızı için yapılan benzetmeler de Şekil 7-11'de ve denge denkleminin analitik çözümü sonucu elde edilen ifadeye yapılan uygulamalar da Şekil 7-12 verilmiştir ve uyumlu bir sonuç elde edilememiştir.



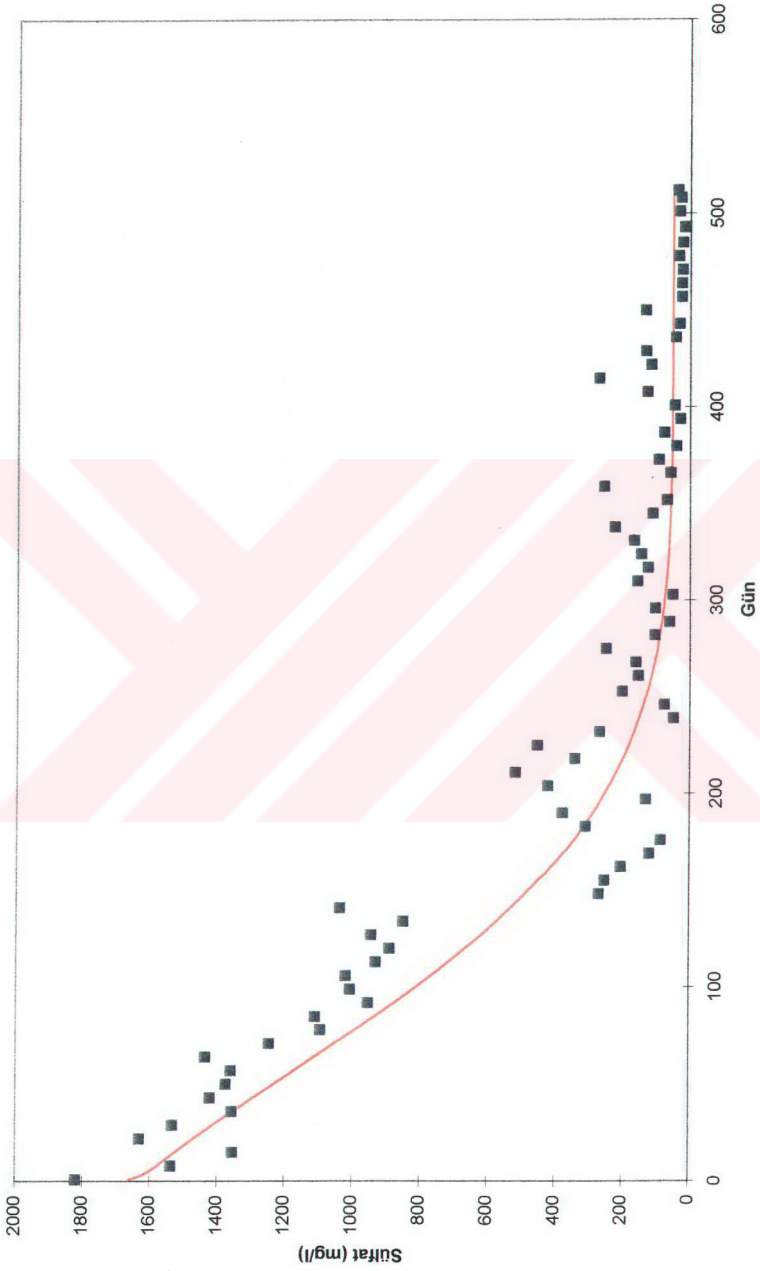
Şekil 7-1 Geliştirilen matematik modelin AKM parametresine değişken R hali için uygulanması



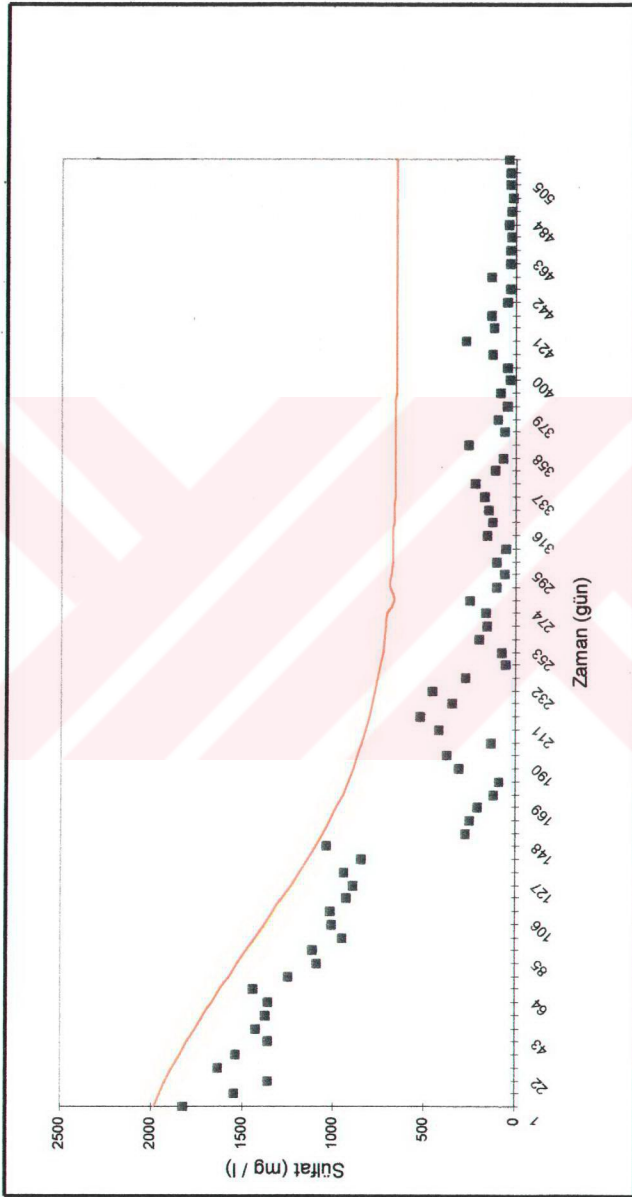
Şekil 7-2 AKM konsantrasyonun tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin sabit R, hali için uygulanması



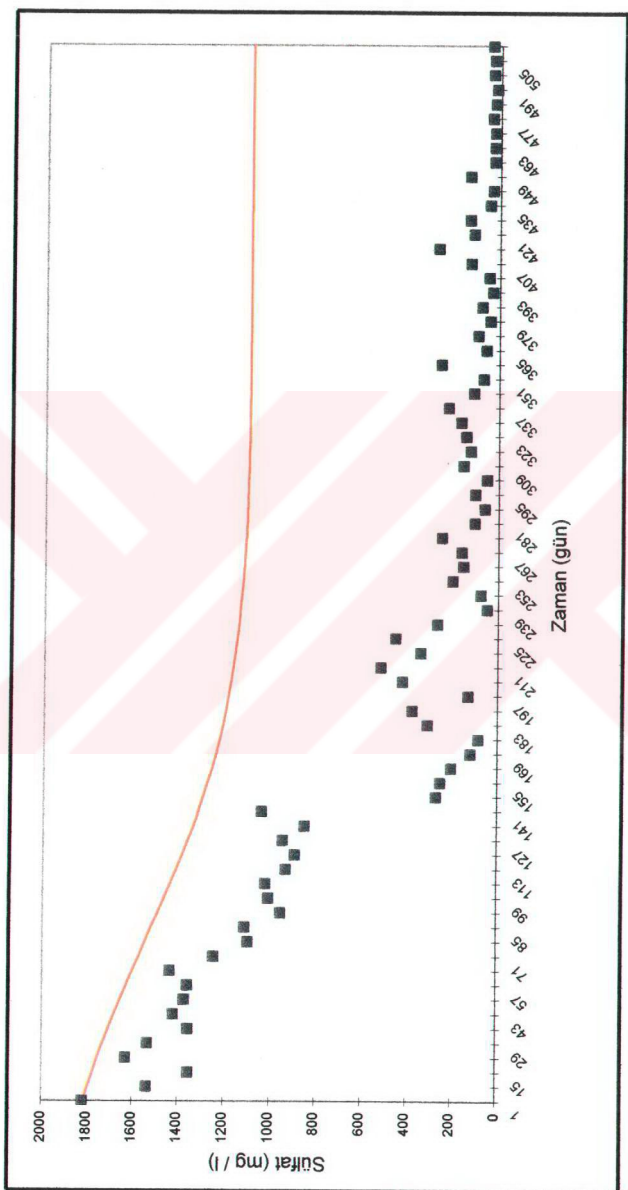
Şekil 7-3 AKM konsantrasyonunun Straub ve Lynch tarafından geliştirilmiş matematiksel modelin değişken R, hali için uygulaması



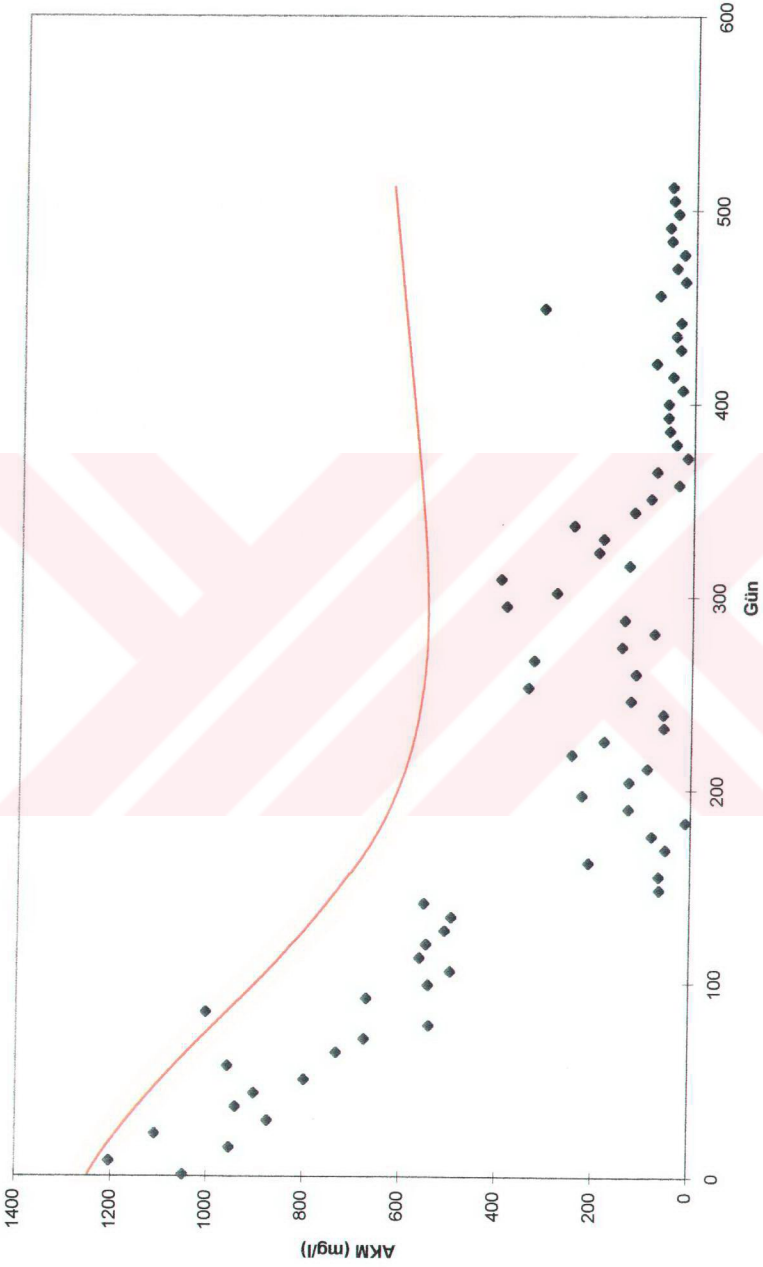
Şekil 7-4 Sülfat konsantrasyonunun tarafımızdan geliştirilen matematik modelin değişken R hali için uygulanması



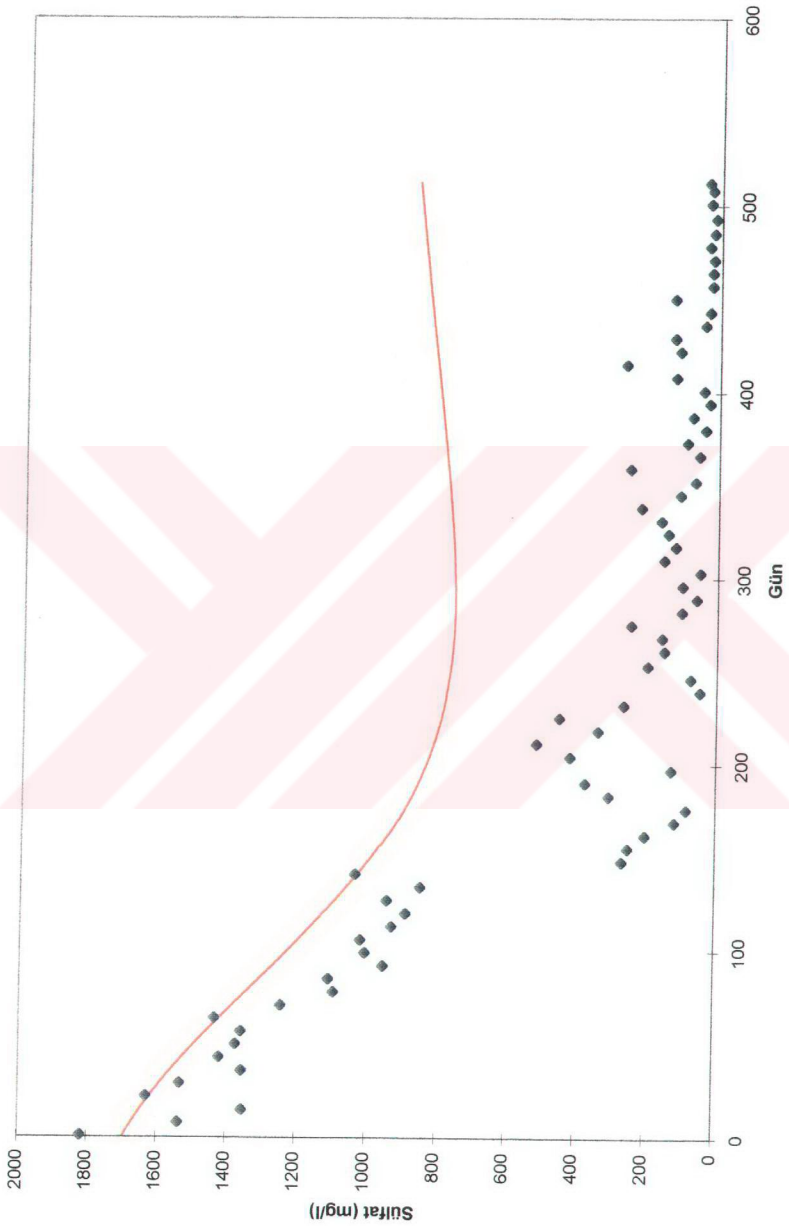
Şekil 7-5 Sülfat konsantrasyonunun tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin sabit R, hali için uygulanması



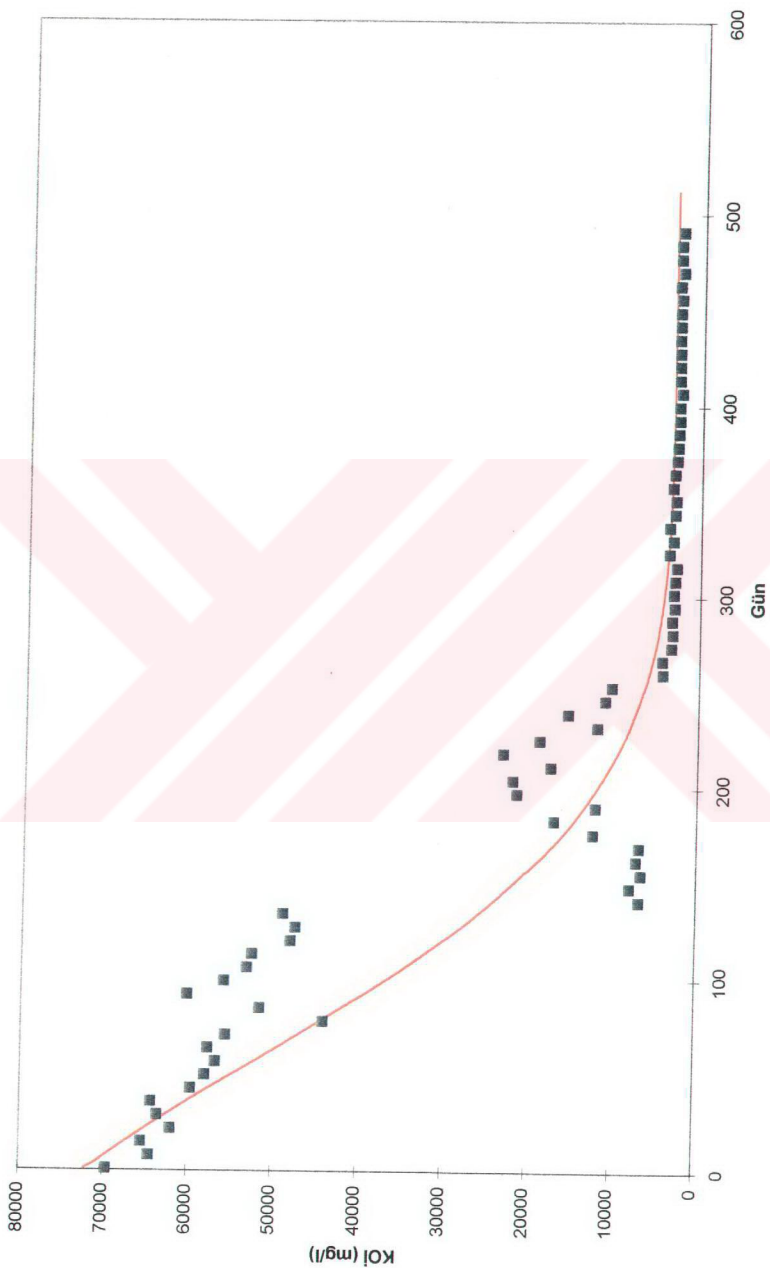
Şekil 7-6 Sülfat konsantrasyonunun Straub ve Lynch tarafından geliştirilmiş matematiksel modelin değişken R² hali için uygulaması



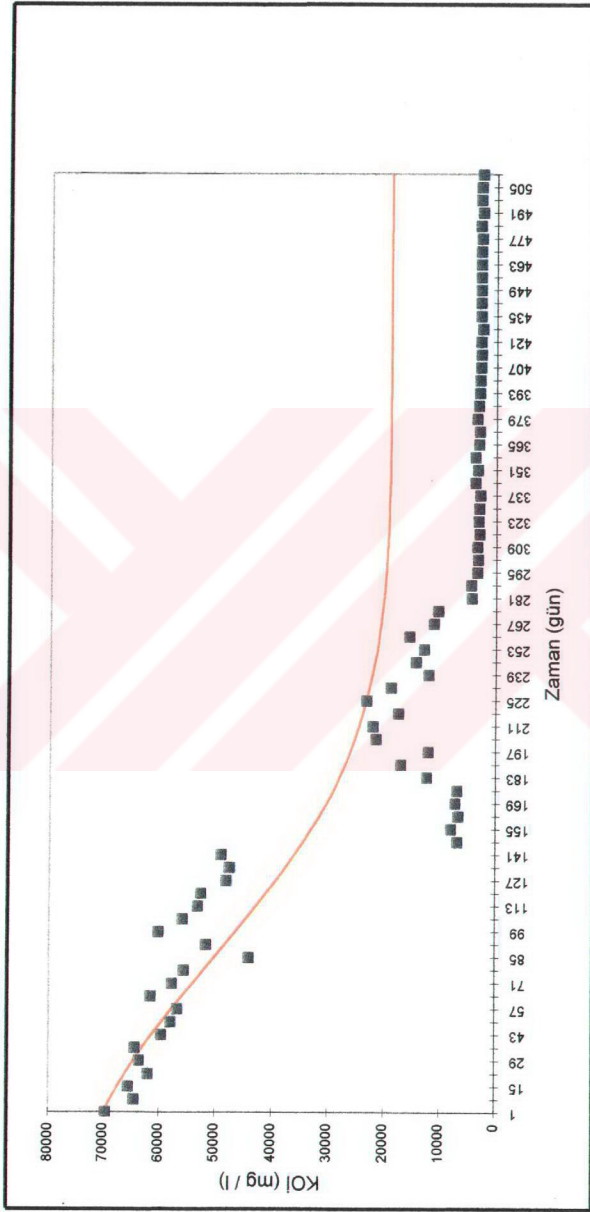
Şekil 7-7 AKM konsantrasyonunun modelin analitik çözümü için uygulanması



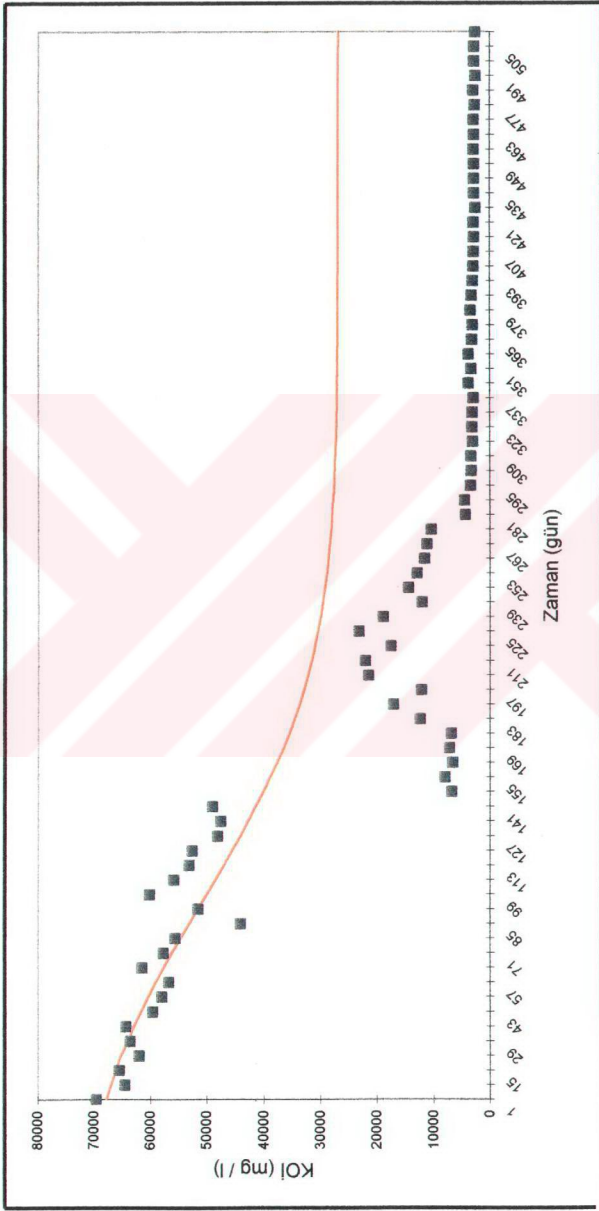
Şekil 7-8 Sulfat konsantrasyonunun modelin analitik çözümü için uygulanması



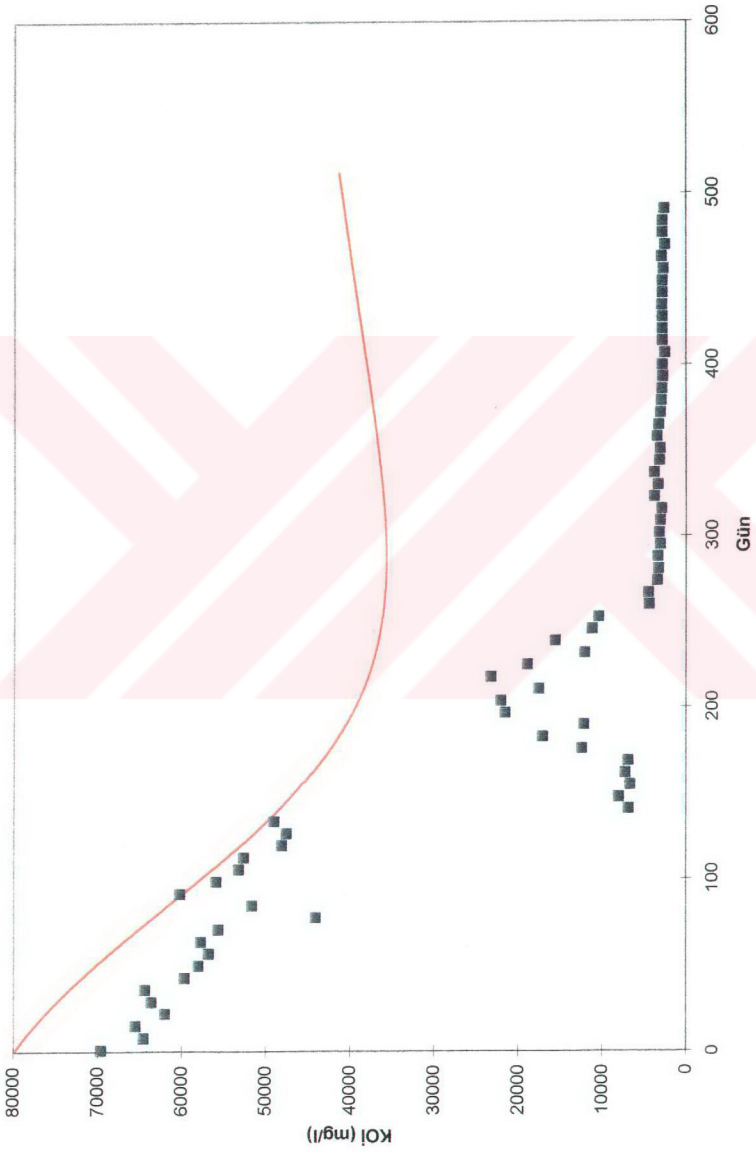
Şekil 7-9 KOI konsantrasyonunun tarafımızdan geliştirilen matematik modelin değişken R, hali için uygulanması



Şekil 7-10 KOL konsantrasyonunun tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin sabit R_1 hali için uygulanması



Şekil 7-11 KOL konsantrasyonun Straub ve Lynch tarafından geliştirilmiş matematiksel modelin değişken R_i hali için uygulaması



Şekil 7-12 KOI konsantrasyonunun modelin analitik çözümü için uygulanması

7.5.3. Ağır Metallerin Değişimi ile İlgili Geliştirilen Matematiksel Modelin Uygulanması ve Deneysel Çalışmalarla Karşılaştırılması

Ağır metaller için geliştirilen matematiksel modelin uygulamasında, nikel, kurşun ve kadmiyum parametreleri göz önüne alınmıştır. Bunun için tarafımızdan geliştirilen bağıntı;

$$C(t) = C_{\max} \exp (-0.5 ((t - B) / A)^2) + R t \quad (5.16)$$

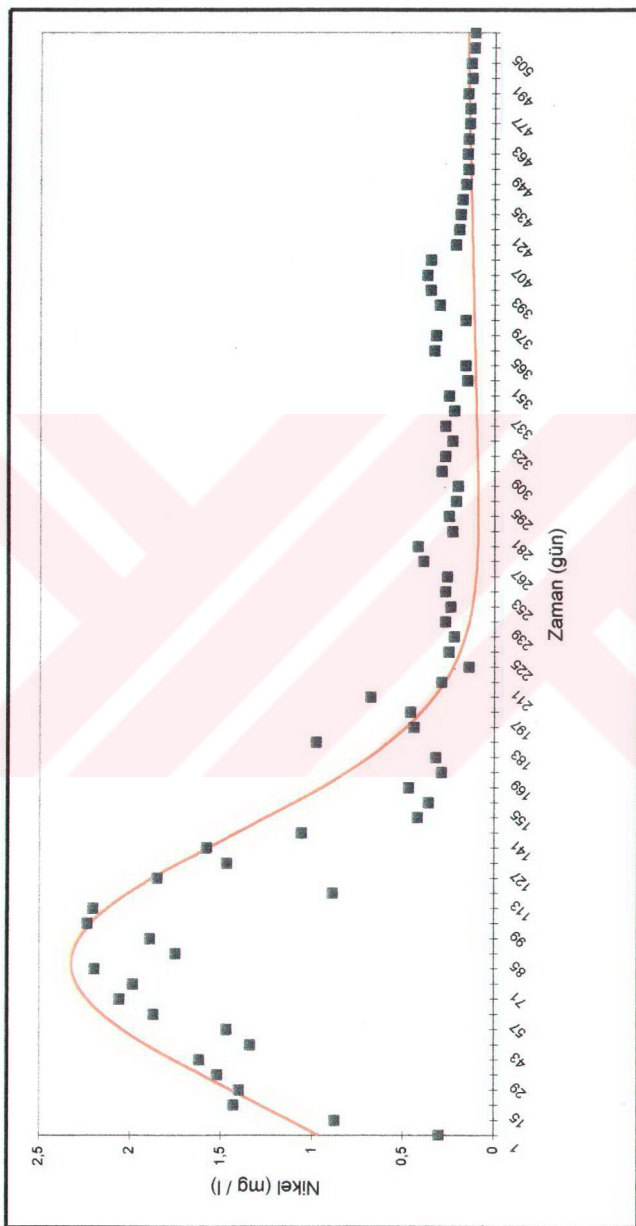
şeklinde dir.

Yapılan benzetme çalışmalarında, sabit kirletici üretim hızı için, Tablo 7-5'de verilen değerler kullanılmıştır.

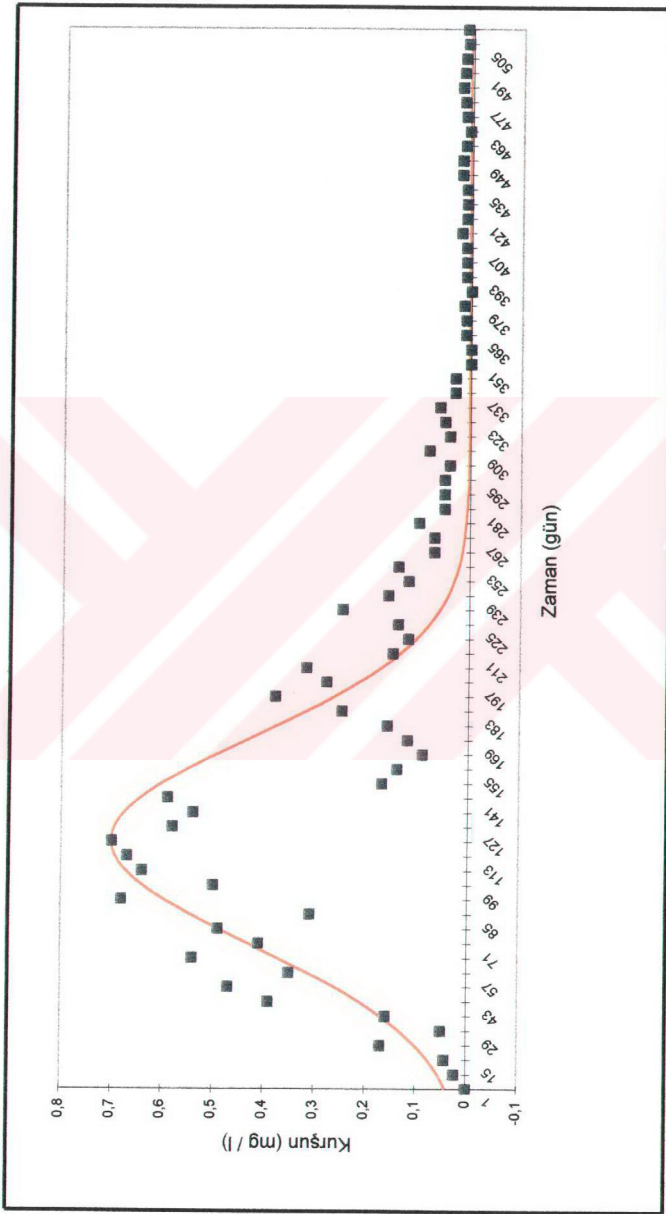
Tablo 7-5 Ağır metaller için hesaplanan sabit parametreler

Parametreler	$C_{\max}$ (mg/l)	B	A	R (mg/l/gün)
Nikel	2.3	80	60	0.0003
Kurşun	0.7	120	50	0.00001
Kadmiyum	0.042	42	18	0.000001

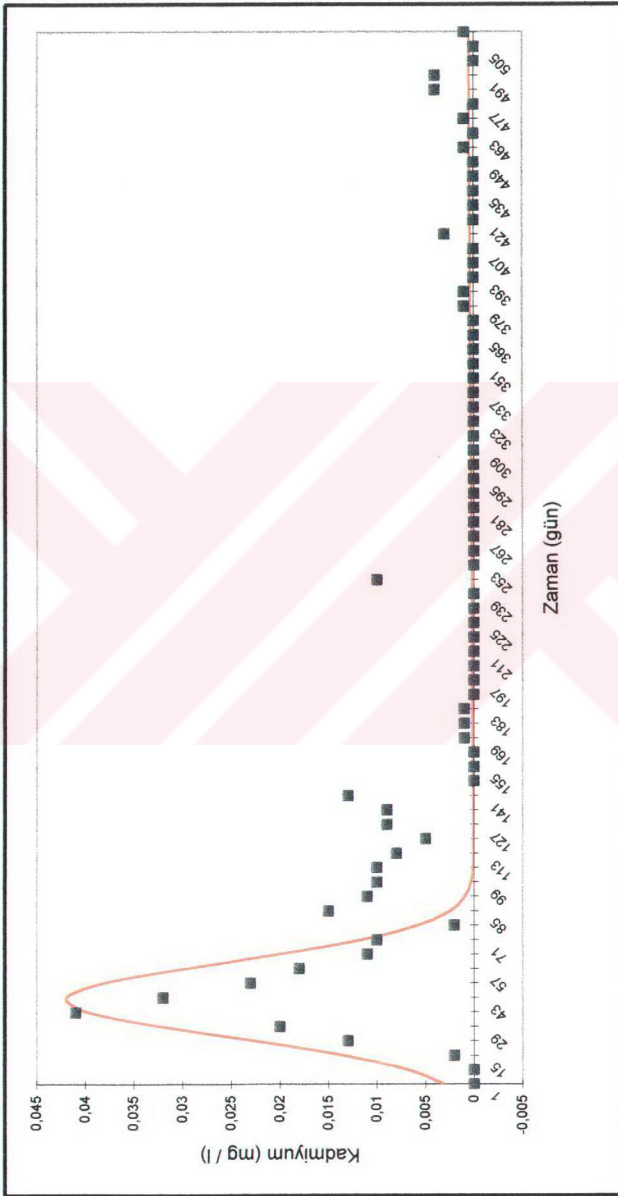
Yapılan benzetme çalışmaları nikel için, Şekil 7-13'de kurşun için, Şekil 7-14'de ve kadmiyum için, Şekil 7-15'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, yukarıda verilen değerlerle, tarafımızdan geliştirilen bağıntılar uygulandığı zaman son derece uyumlu grafikler elde edilmiştir.



Şekil 7-13 Nikel konsantrasyonunun tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin sabit R_1 için uygulaması



Şekil 7-14 Kurşun konsantrasyonunun tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin sabit R^2 için uygulaması



Şekil 7-15 Kadmiyum konsantrasyonunun tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin sabit R₁ için uygulaması

7.6. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME

İki değişken arasındaki ilişkinin ölçülerinden biri korelasyon katsayısıdır. Uygulanan matematik modellerin, deneysel çalışma sonuçları ile arasındaki ilişkinin derecesini tespit etmek için belli anlam seviyelerine göre (r) korelasyon katsayıları testi ile uygunluk analizleri yapılmıştır. [87]

Korelasyon katsayısı (r) 'nin değeri mutlak değerce 0 ile 1 arasında bulunacağından 1 'e yaklaştıkça ilişkinin derecesi yükselir. Yüksek korelasyon ile düşük korelasyon derecesi arasında genellikle kabul edilen aralıklar ve anlamları Tablo 7-6'de verilmiştir.

Tablo 7-6 Korelasyon derecesi aralıkları ve anlamları [87]

r	Anlamı
0.90 - 1.00	Çok yüksek korelasyon
0.70 - 0.90	Yüksek korelasyon
0.40 - 0.70	Orta derecede korelasyon
0.20 - 0.40	Zayıf korelasyon
0.00 - 0.20	Çok zayıf korelasyon

Tablo 7-7 Teorik ($r_{0.001}$) değerleri ile parametreler için hesaplanarak bulunan değerlerin karşılaştırılması (Numune sayısı $n = 72$)

Teorik $r_{0.001}$	AKM	KOI	Sülfat	Kurşun	Nikel	Kadmiyum
0.380	0.927	0.945	0.967	0.859	0.938	0.845

Tablodan da görülebileceği gibi, istatistik analizler sonucunda hesaplanan değerler teorik değerlerin oldukça üzerinde çıkmıştır. Bu da yapılan matematik model ile deney sonuçları arasında oldukça yakın bir ilişki olduğunu göstermektedir.

7.7. HASSASİYET ANALİZLERİ

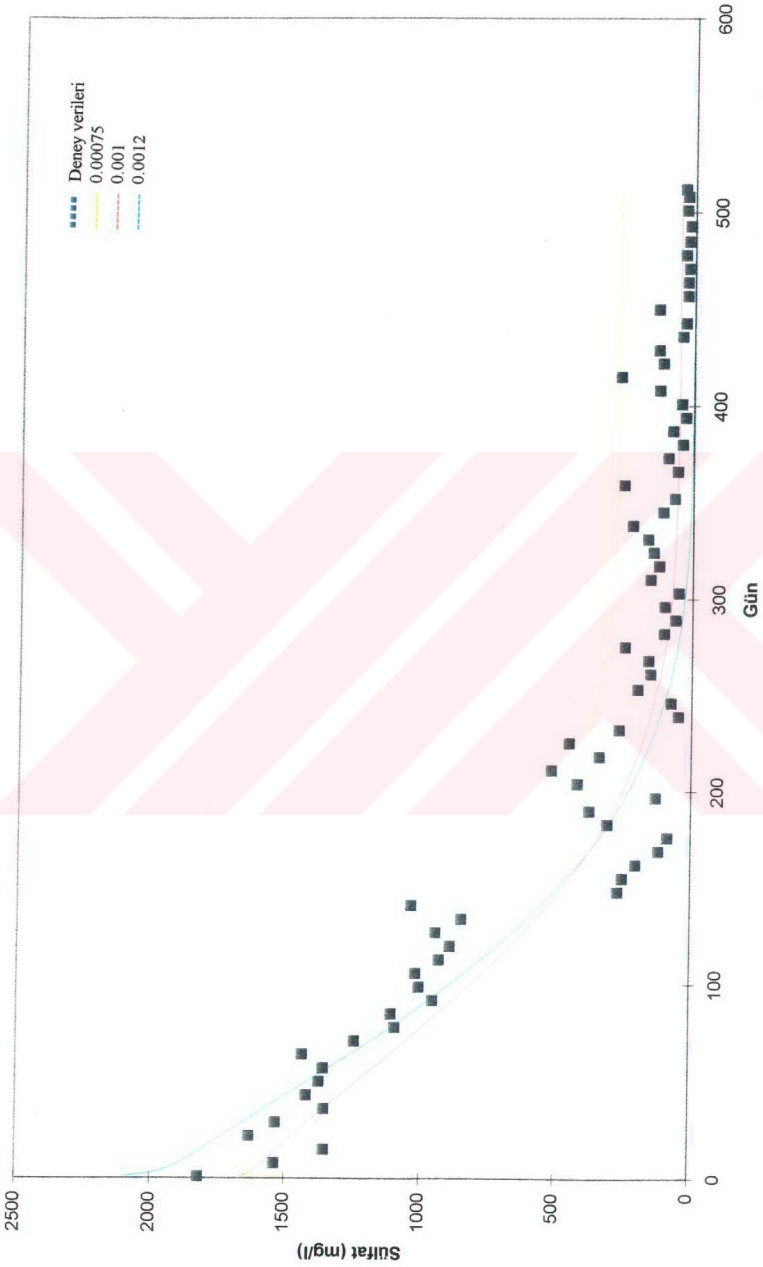
Geliştirilen matematik modelin, aşağıda belirtilen parametreleri üzerinde değişik değerler uygulanarak hassasiyet analizleri yapılmıştır. Şekil 7.16 ve 7.17'de kütle transfer katsayısına ait, Şekil 7.18 ve 7.19'da Cmax'a ait ve Şekil 7.20 ve 7.21'de Co'a ait hassasiyet analizlerinin grafikleri verilmiştir.

Tablo 7-8 Hassasiyet analizi için kullanılan parametreler ve uygulanan değerler

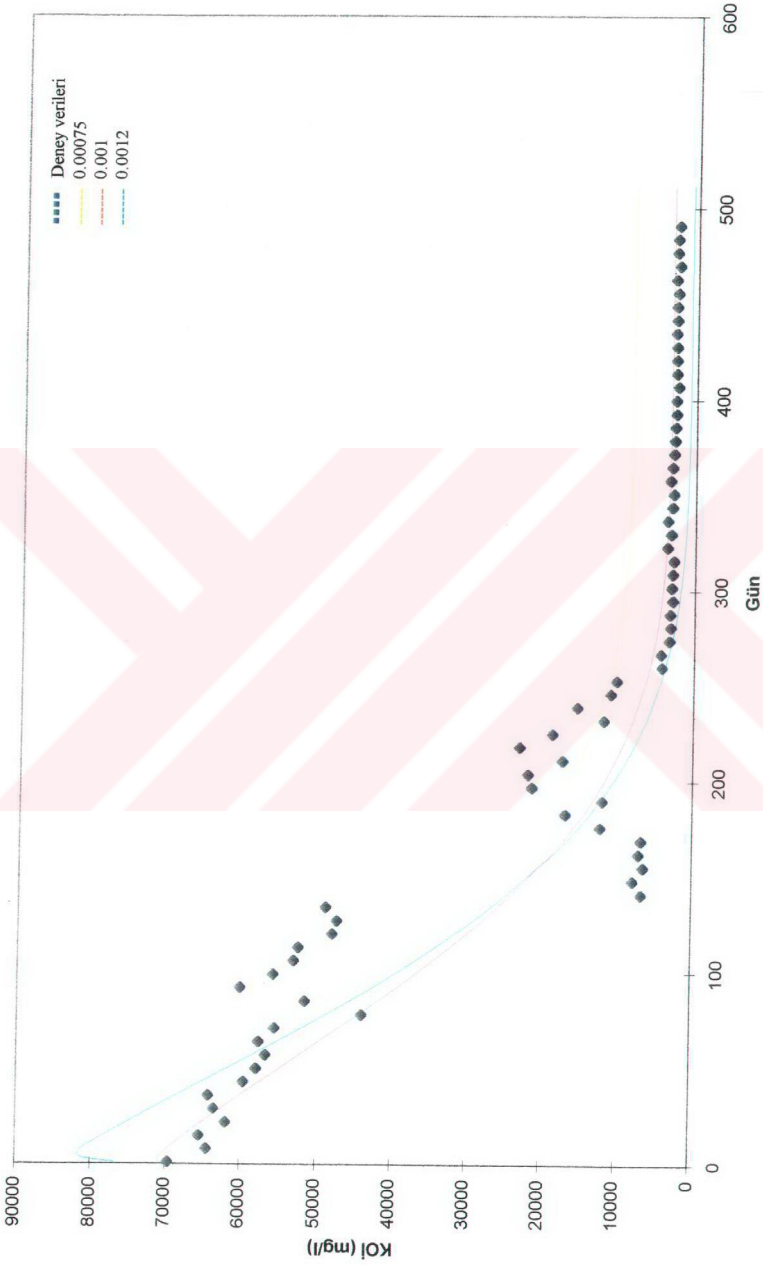
	SÜLFAT			KOİ		
Parametre	Uygulanan Değerler					
k (kütle transferi hız katsayısı)	0.00075	0.001	0.0012	0.00075	0.001	0.0012
Cmax (maksimum konsantrasyon)	1800	1950	2150	73000	84000	100000
Co (başlangıç konsantrasyonu)	1650	1800	1950	65000	73000	90000

7.8 MODELİN GERÇEKLENMESİ

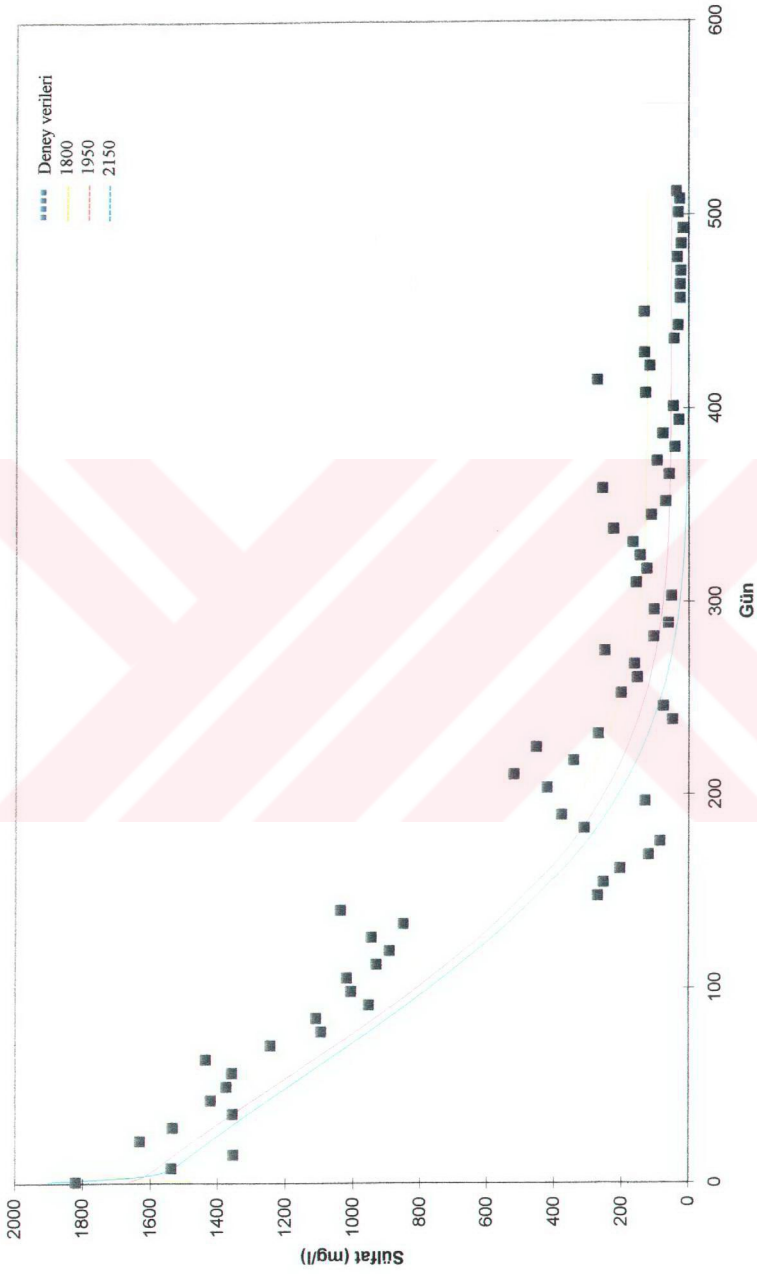
Geliştirilen Matematik modelin geçerliliği , Bursa Büyükşehir Belediyesi'ne ait düzenli depolama sahası hakkında alınan bilgiler doğrultusunda denenmiştir. [13] Bursa katı atık düzenli depolama sahasından kaynaklanan sızıntı sularındaki kirlenici parametrelerin zamanla değişimi depo sahası kapatıldıktan yaklaşık 60 haftalık süre içinde deneyler yapılarak laboratuarda belirlenmiştir. Yapılan deneylere ait sonuçla Tablo 7.9 'da verilmiştir. [13] Depolama sahasına, katı atık kompozisyonuna ve miktarına ait bilgiler model içinde kullanılarak, deney sonuçları ile karşılaştırılmış



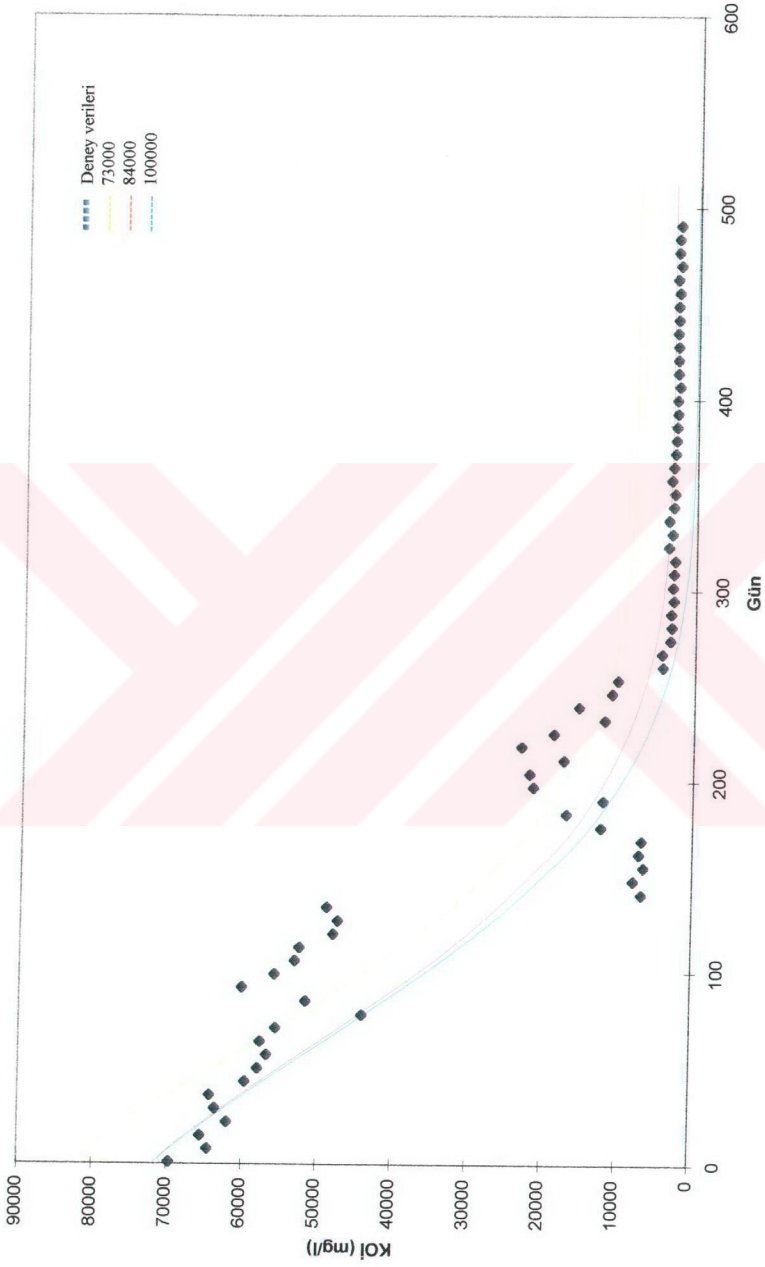
Şekil 7-16 Sülfat parametresi üzerinde (k) kütle transferi hız katsayısına ait hassasiyet analizi



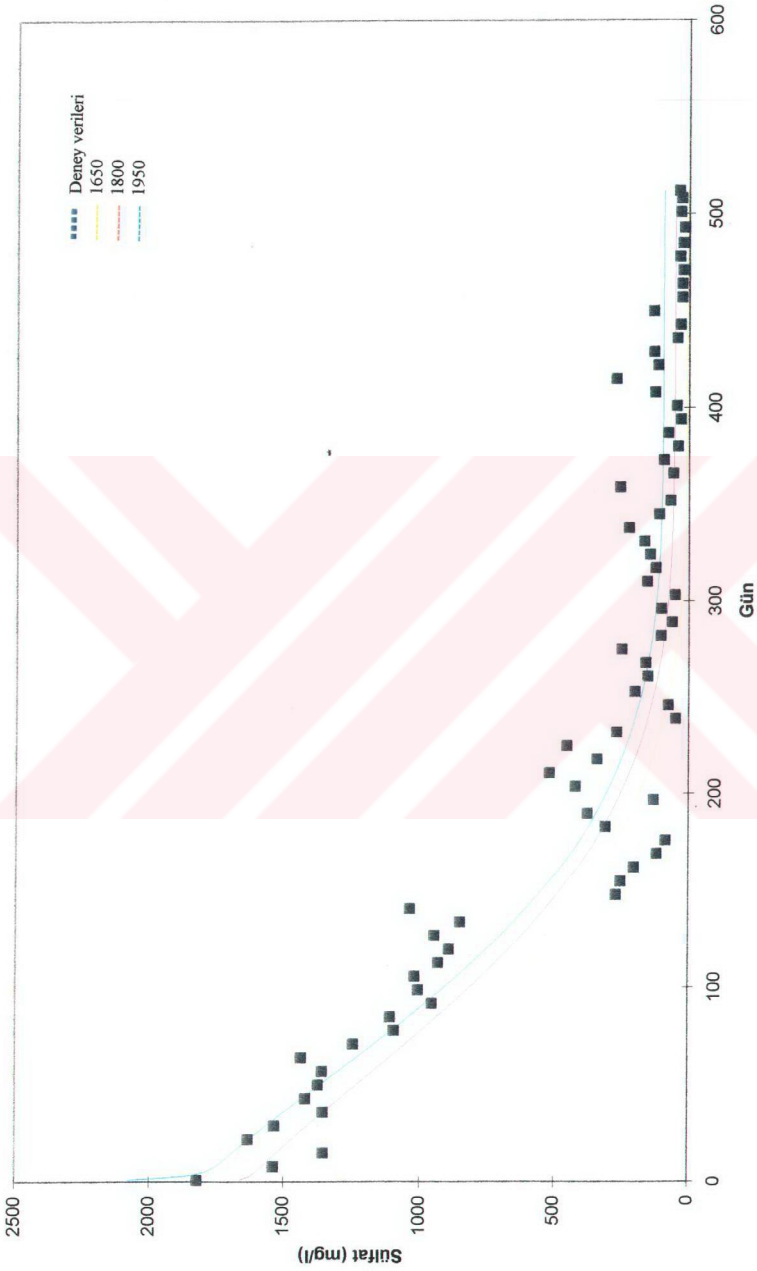
Şekil 7-17 KOI parametresi üzerinde (k) kütle transferi hız katsayısına ait hassasiyet analizi



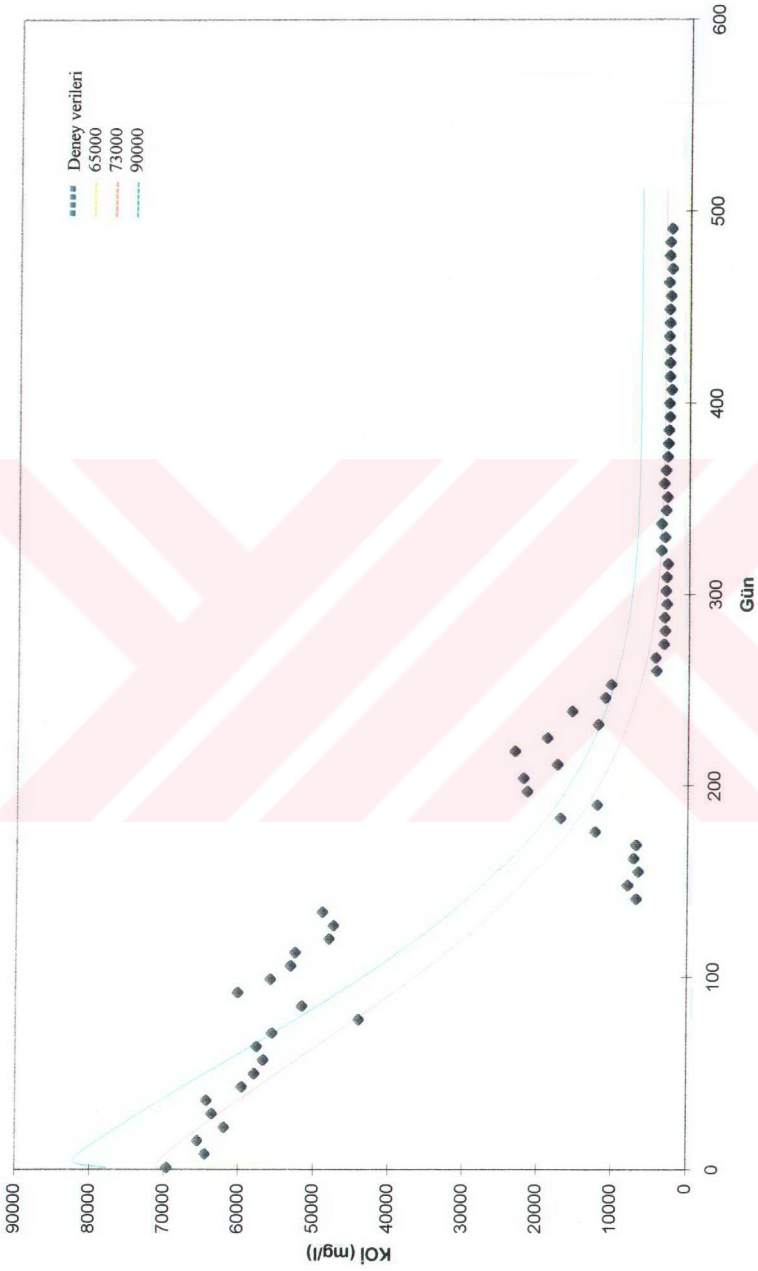
Şekil 7-18 Sülfat parametresi üzerinde C_{max} 'a ait hassasiyet analizi



Şekil 7-19 KOI parametresi üzerinde Cmax'a ait hassasiyet analizi



Şekil 7-20 Sülfat parametresi üzerinde Co'a ait hassasiyet analizi



Şekil 7-21 KOI parametresi üzerinde Co'a ait hassasiyet analizi

Tablo 7.9 Bursa Büyükşehir Belediyesi depo sahasından kaynaklanan sızıntı suyu değerleri[13]

PARAMETRELER	MAKSİMUM	MİNIMUM	ORTALAMA
KOI	47909	11200	25230
SÜLFAT	1989	838	910
KURŞUN	77.1	0.1	1.55
Ph	8.68	6.45	--

ve son derece uyumlu oldukları saptanmıştır. Şekil 7.22'de bu durum görülmektedir. Tablo 7.10' da Bursa depolama sahasına ait Bursa Büyükşehir Belediyesinden sağlanan bilgiler verilmiştir.

Tablo 7-10. Bursa Belediyesi 'ne ait depolama sahası özellikleri. [13]

Yüzey Alanı A , m2	21000
Katı Atık Ağırlığı	210.000
Katı Atık Hacmi , V , m3	175.000
Katı Atık Yüksekliği , h , m	8
Katı atık yaş Yoğunluğu ton /m3	1.2
Katı Atık Rutubet İçerengi , %	65

Yapılan hesaplamalar sonucunda Tablo 7.11 'da verilen değerler elde edilmiştir. Bu değerler ve uygulanan kabuller kullanılarak , KOİ kirlilik parametrelerinin zamanla değişimini gösteren grafik meydana gelmiştir. Bu grafik ile Bursa Belediyesi tarafından yapılan laboratuvar deney sonuçları karşılaştırıldığında (Tablo 7.12) çok uyumlu oldukları görülmektedir. Ayrıca yapılan r korelasyon katsayısının tespiti için uygunluk analizi yapılmıştır. Buna göre ;

Teorik $r_{0.001} = 0.380 < 0.91$

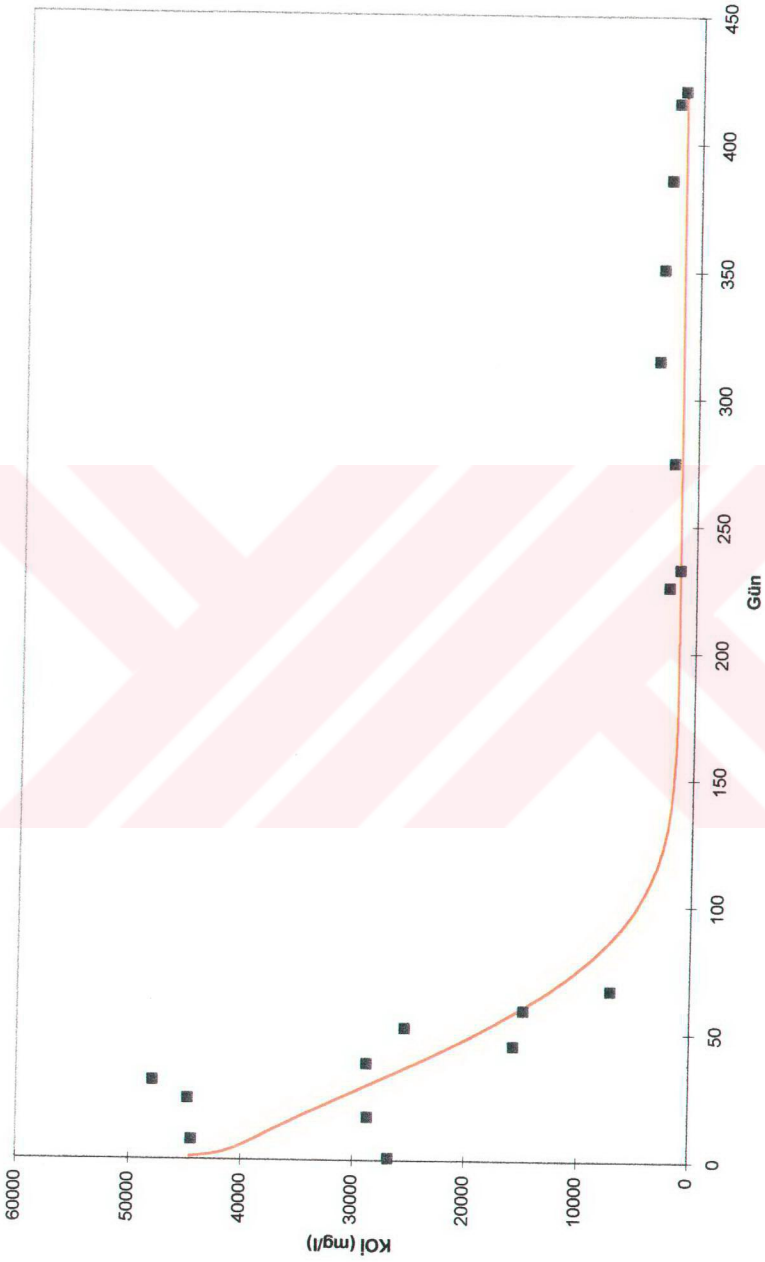
elde edilmiştir.

Tablo 7-11 Matematik model içinde kullanılmak için kabul edilen ve hesaplanarak bulunan değerler.

θ_f	0.813
R	3.42
C*	1500
T	438
C ₀	48000
C _{max}	55000
K	0.0009
S/S ₀	0.5

Tablo 7-12 Bursa depo sahasına ait, depo kapatıldıktan hemen sonra yaklaşık 420 gün süre ile ölçülen değerler[13]

Tarih	Ph	KOl (mg/l)
28.09.1996	8,68	22577
05.10.1996	8,74	16759
12.10.1996	6,45	44417
21.10.1996	6,6	28686
28.10.1996	6,64	44744
04.11.1996	6,99	47909
11.11.1996	6,74	28812
18.11.1996	7,29	15716
25.11.1996	7,58	25435
02.12.1996	7,78	14876
10.12.1996	7,6	7129
17.05.1997	8,48	2380
24.05.1997	8,46	1440
05.07.1997	8,5	2066
14.08.1997	8,38	3510
19.09.1997	8,58	3200
23.10.1997	8,6	2616
22.11.1997	8,02	2012
27.11.1997	8,1	1515



Şekil 7-22 KOI değerleri için geliştirilen matematik model ile Bursa depo sahası verilerinin karşılaştırılması

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, katı atık düzenli alanlarından kaynaklanan sızıntı sularının özelliklerinin zamanla değişimini tahmin etmek için uygun bir matematik model araştırılmıştır. Bu değişimin doğru tahmin edilmesi, bilhassa sızıntı suyu arıtma sistemlerinin planlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Literatürde mevcut matematik modellerin, olabildiğince fazla miktarda katı atık kullanılarak, ülkemiz çöp bileşiminin yapısına göre ve tamamen gerçek doğal koşullar altında kurulmuş olan depolama sahasına uygunluğu araştırılmıştır. Ancak, mevcut, matematik modellerin yukarıdaki koşullara uygun çözüm vermediği tespit edilmiş ve bunun üzerine, doğal koşullar altında uygun çözüm veren bir matematik model araştırılmıştır.

Modelin uygulanmasında kullanılacak deneysel verilerin elde edilmesi amacıyla İzmir Harmandalı Düzenli Katı Atık Depolama Tesisinde, Haziran ve Temmuz aylarına ait, 72500 ton katı atıktan, özel olarak düzenli depolama sahası oluşturulmuştur.

Öncelikle, depolanan katı atıkların bileşimi incelenmiş ve organik madde içeriği %71, su içeriği %68 olarak bulunmuştur. Yüksek su içeriğine sahip katı atıklardan kaynaklanan sızıntı sularındaki debi değişiminin tespiti için, 5000 ton kapasiteli ayrı bir depolama sahası oluşturulmuş ve kurak döneme ait debi ölçümleri yapılmıştır. Bu değerler, büyük depo sahasına uyarlanarak debinin zamanla değişimini veren deneysel verilere dayanan bir matematiksel bağıntı geliştirilmiştir. Elde edilen bu denkleme, yağıştan kaynaklanan infiltrasyon miktarları da ilave edilerek , çıkan sonuçlar matematik modellerin çözümünde kullanılmıştır.

Depolama sahasından kaynaklanan sızıntı suyundan, başlangıçtan itibaren 512 gün süreyle numuneler alınmıştır. Bu numunelerde askıda katı madde, sülfat, kimyasal oksijen ihtiyacı, nikel, kurşun, kadmiyum ve pH parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Deney verilerinden elde edilen sonuçlar başlıca şunlardır;

- Sızıntı sularının çok kirli sular olduğu ve ilk başlarda hızlı bir değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Kirlilik parametrelerinin değişim aralıklarının,

AKM = 1110 - 14 mg / l

Sülfat = 1820 - 17 mg / l

KOİ = 69640 - 2496 mg / l

Nikel = 2.234 - 0.11 mg / l

Kurşun = 0.68 - 0 mg / l

Kadmiyum = 0.041 - 0 mg / l

pH = 8.7 - 5.5

şeklinde olduğu belirlenmiştir.

- Literatür bilgileri ile kıyaslandığında başlangıç fazı ile geçiş fazının iç içe olduğu ve asit formasyonu fazının kısa sürdüğü görülmüştür. Buna bağlı olarak, kararlı hal konsantrasyon değerlerine ulaşma süresinin çok daha kısa olduğu ve ayrıca ulaşılan kararlı hal konsantrasyon değerlerinin oldukça düşük olduğu saptanmıştır. Bu durumun en büyük nedeni olarak, katı atığın bileşiminde organik madde ve su içeriğinin yüksek olması söylenebilir.

- Ağır metallerin, depo alanı içinde asidik faz başladığında, sızıntı suyunda daha yüksek konsantrasyonlarda ortaya çıktığı görülmüştür. Bunun sebebi, asit üretiminin artmasından dolayı ortamın pH'nın düşmesidir. Ancak, metan faz başlayıp alkalinite ve pH artmaya başladığı zaman, katı atıktan sıvıya geçen metal konsantrasyonlarında düşmeler görülmüştür. Bu beklenen bir sonuçtur. Ağır metal konsantrasyonlarının, başlangıçtan itibaren yaklaşık 100 gün sonra, kadmiyum için 40 gün sonra ortaya çıktığı görülmüştür. Metal konsantrasyonlarının nispeten kararlı hale gelmesi için geçen süre ise kurşun ve nikel için yaklaşık 230 gün, kadmiyum için 150 gün olarak tespit edilmiştir

- Elde edilen deneysel veriler değerlendirildikten sonra sızıntı suyu konsantrasyon salınımlarını ve depo yaşı ile değişimini yansıtacak matematiksel modeller geliştirilmiştir. İnorganik, organik ve ağır metal bileşiklerinin katıdan sıvı faza geçiş hızlarına göre aşağıdaki matematiksel ifadeler elde edilmiştir.

- İnorganik bileşikler için:

$$C(t) = C_0 \exp (-G(t)) - R(t)V\theta_f / Q_{ort} \quad (5.7)$$

- Organik bileşikler için:

$$C(t) = C_0 \exp (-G(t)) - \sum (R+R'+R'')_{(t)} V\theta_f / Q_{ort} \quad (5.15)$$

- Ağır metaller için:

$$C(t) = C_{max} \exp (-0.5 ((t - B) / A)^2) + R t \quad (5.16)$$

şeklinde bulunmuştur.

- Geliştirilen matematiksel yaklaşımlar, laboratuarda kurulan deney tesislerinde yürütülen deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve çok iyi uyum sağladıkları görülmüştür. Ayrıca Bursa Büyükşehir Belediyesinin düzenli depolama sahasına ait alınan verilerin matematik model üzerinde uygulanması ile elde edilen grafiğin deney sonuçları ile çok uyumlu oldukları saptanmıştır. Yapılan istatistik analizlerle de bu durum ispatlanmıştır.

- Ağır metallerin mekanizmasının çok karmaşık olmasından ve bu konuda daha önce çalışma yapılmamasından dolayı bunların konsantrasyonlarındaki değişim bu çalışmada ampirik olarak modellenmiştir.

- Anaerobik ayrışma ve kinetiği, pH ve metal konsantrasyonu değişiminin birlikte ele alındığı daha karmaşık modellerin geliştirilmesi, konunun aydınlatılması açısından faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] TCHOBANOGLOUS, G., THEISEN, H., ELIASSEN, R., 1977. "Solid Wastes." McGraw-Hill Book Company.
- [2] ÖZKIDIK , H.Ö., 1995. ' Katı Atık Yönetimi ve Belediyeler ' , Uzmanlık Tezi , Devlet planlama Teşkilatı Müsteşarlığı , Ankara.
- [3] POHLAND, F.G. and S.R. HARPER, 1995. "Critical Review and Summary of Leachate and Gas Production from Landfills", Final Report. U.S. Environmental Protection Agency, Project No: CR-809997, Washington, DC.
- [4] FARQUHAR, C.J. and ROVERS, F.A. 1973. "Gas Production During Refuse Decomposition", Water, Air and Soil Pollution 2.
- [5] EHRLING, H.J. 1984. "Laboratory Scale Tests for Anaerobic Degradation of Municipal Solid Waste", Proceedings from the International Solid Wastes and Public Cleaning Association Congress, Philadelphia, September.
- [6] GIANNI ANDREOTTOLA and PIERO CANNAS . 1992. ' Chemical and Biological Characteristics of Landfill Leachate " Edited by T. H . Christensen , R.Cossu and R. Stegmann , Landfilling of Waste : Leachate , London , akademik Press .
- [7] ZINDER, S.H., 1990. "Thermophilic Waste Treatment Systems", in T. Brock (Eds.), Handbook of Chemical Society.
- [8] BUIVID, M.G. 1980. "Laboratory Simulation of Fuel Gas Production Enhancement from Municipal Solid Waste Landfills", Dynatech R and D Co., Chambridge, MA, USA.
- [9] THOMAS, H., CHRISTENSEN and ETER KJELDSSEN. Department of Environmental Engineering, Bldg. 115, Technical University of Denmark, 2800-Lyngby, Denmark.
- [10] METRY, A., CROSS, F.L., 1976. "Leachate Control and Treatment." Environmental Monograph Series, V.7, Technomic Publishing Co., Inc., Westport.
- [11] CAMERON, R.D., KOCH, F.A., 1980. "Toxicity of Landfill Leachates." Journal WPCF, V.52, No:4, April.
- [12] SALVATO, J., WILLIE, W.G., MEAD, B.E., 1971. "Sanitary Landfill Leaching Preventing and Control." Journal WPCF, V.43, No:10.

- [13] Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılan yayınlanmamış depo sahası bilgileri ve deney sonuçları, 1998, BURSA.
- [14] ÖZTÜRK, Y., KANAT, G., ARITAN, O., 1995 "İstanbul Evsel Katı Atıklarında Havasız Ortamda Kompostlanabilirlik ve Bioenerji Geri Kazanımı ile Mevcut Düzenli Depolama Sahaları Arıtımı Araştırması Projesi Ara Raporu", İSTANBUL.
- [15] HOPKINS, G.J., POPALISKY, J.R., , 1970. "Influence of Industrial Waste Landfill Operation on a Public Water Supply," Journal WPCF; .42, No:3.
- [16] GÖNÜLLÜ, M.T., BAŞTÜRK, A., SAN, H.A., 1986. "Sızıntı Suyu Problemi Bakımından İstanbul Katı Atık Depo Yerlerinin İncelenmesi", Çevre'86 Sempozyumu, 2-5 Haziran , İzmir.
- [17] ALLER, L., T. BENNET, J.H. LEHR, R.J. PETTY, and G. HACKETT, 1987, DARSTIC: "A Standardized System for Evaluation Ground Water Pollution Potential Using Hydrological Settings", EPA-600/2-87-035, Kerr Environmental Research Lab, U.S. EPA, Ada Oklahoma.
- [18] ROVERS, F.A., FARQUHAR, G.J.; "Infiltration and Landfill Behavior", Journal of Environmental Engineering Division, ASCE, V.99, No:EE5, October, 1973.
- [19] LORBITT, A.R., Standard Handbook of Environmental Engineering, McGraw Hill, New York, 1990.
- [20] RAVEH , A., AVNIMELECH, Y.; "Leaching of Pollutants from Sanitary Landfill Models", Journal WPCF, V.51, No:11, November, 1979.
- [21] WILLIAMS, N.D., F.G. POHLAND, K.C. MCGOWAN and F.M. SAUNDERS, 1987; "Simulation of Leachate Generation from Municipal Solid Waste", EPA/600/2-87/059, U.S. EPA, Cincinnati, OH.
- [22] MULKEY, L.A., A.S. DONIGIAN, Jr. T.L. ALLISON and C.S. RAJU 1989; "Evaluation of Source Term Initial Conditions for Modelling Leachate Migration from Landfills", U.S. EPA, Athens, Georgia.
- [23] Mc Creanor , P.T. and Reinhart , D.R. , (1997) 'Mathematical Modeling of Waste Heterogeneities in Leachate Recirculating Landfills' Proceedings of The Thirteenth International Conference on Solid Waste Technology and Management Volume November 16-19 , 1997 , Philadelphia , PA U.S.A. .
- [24] TCHOBANOGLOUS, G., THEISEN H., VIGIL, S.A., "Integrated Solid Waste Management", Engineering Principles and Management Issues. McGraw Hill, 1993.

- [25] FUNGAROLLI, A.A., STEINER, R.K.; "Labrotory Study for the Behavior of a Sanitary Landfill ", Journal WPCF, V.43, No:2, February, 1971.
- [26] REPORT EPS 4-EC-80-4 : "Study of Effects of Septic Tank Pumping Additions on Solid Waste Landfill Leachates, A Summary ", Environment, Canada, December. 1980.
- [27] REPORT EPS 4- EC- 82-7 : "Toxicity of Landfill Leachates ", Environment Canada, December, 1982.
- [28] BLAKEY , N.C. , (1992) 'Model Prediction of Landfill Leachate Production', Landfilling Edited by T. H . Christensen , R.Cossu and R. Stegmann , Landfilling of Waste : Leachate , London , academikl Press .
- [29] FARQUHAR, G.J. and SYKES, J.F., "Landfill Leachate Migration in Soil ", Proceedings of Leachate Management Seminar, Toronto-Ontario, 20-21 November, Ontario University of Toronto, 1980.
- [30] CURI, K., "Katı Atıklar ", Cevre ve İnsan, No:9, September, 1988.
- [31] LU, J.C.S., B.EICHENBERGER, and R.J. STEARNS, 1985; "Leachate Migration from Municipal Landfills." Pollution Technology Review, no.19, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey.
- [32] FENN D.G., K.J. HANLEY and T.V. DeGECRE, 1975," Use of the Water Balance Method for Predicting Leachate Generation from Solid Wastes Disposal Sites". EPA/630/SW-168, U.S. EPA, Cincinatti, Ohio.
- [33] CURI, K., "La Prise en Copute du Potential Dechets a Revaloriser an Niveau d'uve Metropole; Relexion sur les Procede Techniques de Cette Revalorisation ", Proceeding of Actes du Collaqqe Gestion des Rechets Managers dans les pays en Developpment, Paris,9-10 September 1987, Rexcop 1987.
- [34] BLIGHT , G.E. , HOJEM , D.J. , BALL , J.M. , (1992) 'Production of Landfill Leachate in Water - Deficient Areas ' , Landfilling Edited by T. H . Christensen , R.Cossu and R. Stegmann , Landfilling of Waste : Leachate , London , academikl Press .
- [35] CANZIANI, R., "Landfill Hydrology and Leachate Production " in T.H. CHRISTENSEN, R. COSSU and R. STEGMAN (Eds.), Sanitary Landfill ; Process, Technology and Environmental Impact, London, academic Press, 1989.
- [36] GALBIATI, G.L. and GRUPPO, M. (1979)."Verifica della validita a livello locale di una nota legge di essiccamento del terreno agrario".In AIGR, 'L' impegno eil contri buto del ganio rurale allo suiluppo del Mezzogiorni, Attidel 3^o Convegno Nazionale, Catania, I Vol.

- [37] CANCELLI, A. and COSSU, R. (1985). "Problemi di Stabilità Negli Scarichi Controllati", Ingegneria Ambientale 13.
- [38] LU, J.C.S., et al. (1982). "Leachate Production and Management from Municipal Landfills", Summary and Assessment", Report in Fulfillment of US-EPA, Contract no 68-03-2881, US-EPA, Cincinnati, Ohio.
- [39] DEMETRACOPOULOS, A.C., SEHAYEK, L. and ERDOĞAN, H. (1986), "Modelling Leachate Production from Municipal Landfill", ASCE, Env. Eng., 110(4)
- [40] KORFIATIS, G.P., DEMETRACOPOULOS, A.C., BOURODIMOS, E.L. and NAVY, E.G. (1984), "Moisture Transport in a Solid Waste Column", ASCE, Env. Eng., 110(4)
- [41] DASS, P., TANKE, G.R., and C.M. STOFFEL, "Leachate Production at Sanitary Landfill Sites", Journal of Environmental Engineering Division, Vol.EE6, December, 1977.
- [42] MILLER, D.W., (ed.) 1980, "Waste Disposal Effects on Ground Water", Premier Press, Berkeley, California.
- [43] QUASIM, S.R., BURCHINAL, J.C.; "Leaching of the pollutants from Refuse Beds", J. Of the Sanitary Engineering Division, ASCE, V.96, No. SA1, February, 1970.
- [44] POHLAND, F.G., "Leachate Recycle as Landfill Management Option", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, V.106, No:EE6, December, 1980.
- [45] TITTLEBAUM, M.E., "Organic Carbon Content Stabilization Through Landfill Leachate Recirculation", Journal WPCF, V.54, No:5, 1982.
- [46] JIN, Y.C., Virannaghavan, Tand Bailey, d.d., (1997). 'Modelling Leachate Quantity and Water Quality at Landfill - Two Case Studies', Proceedings of The Thirteenth International Conference on Solid Waste Technology and Management Volume November 16-19, 1997, Philadelphia, PA U.S.A..
- [47] KINCAID, C.T., J.R. MORREY, and J.E. ROGERS. 1984. "Geohydrochemical Models for Solute Migration", V.1; "Process Description and Computer Code Selection", EA-3417, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California.
- [48] KINCAID, C.T., J.R. MORREY, S.B. YABUSAKI, A.R. FELMY, and J.E. ROGERS, 1984. Geohydrochemical Models for Solute Migration V.2; "Preliminary Evaluation of Selected Computer Codes", EA-3417, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California.

- [49] BORDEN, R.C., and P.B. BEDIENT, 1986. "Transport of Dissolved Hydrocarbons Influenced by Oxygen-Limited Biodegradation". 2. Field Application. Water Resources Research, 22(13): 1973-1982.
- [50] van der HJEIDE, P.K., EL-KADI, A.I., and S.A. WILLIAMS, 1988. "Groundwater Modeling: An Overview and Status Report". EPA/600/2-89/028, U.S. EPA, Ada, Oklahoma.
- [51] BOUWER, E.J., and P.L. McCARTY, 1984. "Modeling of Trace Organics Biotransformation in the Subsurface". Ground Water, 22
- [52] MOLZ, F.J., M.A. WIDDOWSON, and L.D. BENEFIELD, 1986. "Simulation of Microbial Growth Dynamics Coupled to Nutrient and Oxygen Transport in Porous Media". Water Resources Research, 22(8)
- [53] GÖNÜLLÜ , M.T. 1997. "Bir Çöp Lizimetresinden Toksik Bileşiklerin (Fenol, Bakır ve Krom) Sızmasının İncelenmesi". Türkiye' de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu 2 Cilt , 22-23 Mayıs 1997 , Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü Gebze , Kocaeli.
- [54] Somjai Karnchonowong , Takashi Ikoguchi , Seni Karnchonowong and Suporn Koottatep , (1997) ; 'Leachate Characteristics Variation Over Waste Layer Depth in Simulated Landfill in tropical Country' , Proceedings of The Thirteenth International Conference on Solid Waste Technology and Management Volume November 16-19 , 1997 , Philadelphia , PA U.S.A. .
- [55] NUMARA . JENSEN , D.L. , CHRISTENSEN , T.H. , (1997) 'Speciation of Heavy Metals in Landfill Leachate' , Proceedings Sardinia 97, Sixth International Landfill Symposium , 13-17 October 1997 , Cagliari , Italy .
- [56] CHEN , T. , ESNAUL T. , D. , and KOENIG , A . ,(1997) . 'First Year Operation of The New Landfill Leachate Treatment Works in Hong Kong' Proceedings Sardinia 97, Sixth International Landfill Symposium , 13-17 October 1997 , Cagliari , Italy.
- [57] Kruse K. Junge J. , and Maak D. (1994) 'Leachate quality from municipal solid waste landfills - Results of recent data evaluations (in German)'. Korrespondenz Abwasser , Vol . 41 , No. 5 , pp 780 - 786 .
- [58] BEAMAN , M.S. , LAMBERT . S.D. , GRAHAM, N.J.D. , ANDERSON, R. , SOLLARS , C.J. , (1997) 'Treatment of Landfill Leachates By Ozone and Recirculation' , Proceedings Sardinia 97, Sixth International Landfill Symposium , 13-17 October 1997 , Cagliari , Italy.

- [59] GROVE, D.B., and K.G. STOLLENWERK, 1987. "Chemical Reactions Simulated by Groundwater Quality Models", Water Resources Bulletin, 23(4)
- [60] VALOCCHI, A.J., P.V. ROBERTS, G.A. PARKS, and R.L. STREET, 1981. "Simulation of the Transport of Ion-Exchanging Solutes Using Laboratory-Determined Chemical Parameter Values", Groundwater 17(3)
- [61] VALOCCHI, A.J., P.V. ROBERTS, and R.L. STREET, 1981. "Transport of Ion-Exchanging Solutes in Groundwater: Chromatographic Theory and Field Simulation", Water Resources Research, 17(5)
- [62] HASAN BELEVI, PETER BACCINI, (1992) 'Long - Term Leachate Emission From Municipal Solid Waste Landfills' Edited by T. H. Christensen, R. Cossu and R. Stegmann, Landfilling of Waste: Leachate, London, Academic Press.
- [63] DASS, P., G.R. TAMKE, and C.M. STOFFEL, 1977. "Leachate Production at Sanitary Landfill Sites", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, 103(EE6)
- [64] PERRIER, E.R., and A.C. GIBSON, 1980. "Hydrologic Simulation on Solid Waste Disposal Sites", EPA-SW-868, U.S. EPA, Cincinnati, Ohio.
- [65] KORFIATIS, G.P., E.L. BOURODIMOS, E.G. NAWY and A.C. DEMETRACOPOULOS, 1984. "Moisture Transport in a Solid Waste Column", Journal of Environmental Engineering, 110(4)
- [66] KORFIATIS, G.P. and A.C. DEMETRACOPOULOS, 1986. "Flow Characteristics of Landfill Leachate Collection Systems and Liners", Journal of Environmental Engineering, 112(3)
- [67] YEH, G.T. and D.S. WARD, 1981. "FEMWASTE: A Finite-Element Model of Waste Transport Through Saturated-Unsaturated Porous Media", ORNL-5601, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- [68] YEH, G.T., and D.S. WARD, 1987. "FEMWATER: A Finite-Element Model of Water Flow Through Saturated-Unsaturated Porous Media", ORNL-5567/R1, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- [69] Phelps, D. H. (1982). 'Solid waste leaching model', Department of Civil Engineering, University of British Columbia, Canada.
- [70] STRAUB, W.A., LYNCH, D.R., "Models of Landfill Leaching: Moisture flow and Inorganic Strength", Journal of Environmental Engineering Division, ASCE, V.108, No:EE2, April, 1982.

- [71] STRAUB, W.A., LYNCH, D.R., 1982, "Models of Landfill Leaching: Organic Strength", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, V.108, No:EE2, April.
- [72] GÖNÜLLÜ, M.T., "Katı Atık Depo Yerlerinde Oluban Sızıntı Suyu Kirlenici Özelliklerinin Belirlenmesi ve Bunların Zamanla Değişimini İfade Eden Matematiksel Modellerin Araştırılması", Doktora Tezi, Yıldız Üniversitesi, Fen Bilimleri, İstanbul, 1987.
- [73] GÖNÜLLÜ, M.T., 1994, "Analytical Modelling of Organic Contaminants in Leachate", Waste Management & Research, 12, 141-150.
- [74] HAVERKAMP, R., RENDON, L. And VACHAUD, G., 1987. "Infiltration Equations and Their Applicability for Predictive Use", Infiltration Development and Application, Y.S. Fok. University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii.
- [75] PHILIP, J.R., 1969. "Theory of Infiltration", Advances in Hydrosience, V.T. Chow, ed., Academic Press, New York, NY.
- [76] DEMETRACOPOULOS, A.C., 1988. "Overview of Landfill Bottom Liners Hydraulics", Water Resources Bulletin 24(1)
- [77] WILLIS, R., and YEH, W.G., 1987. "Groundwater Systems Planning and Management", Prentice-Hall, Inc., Englewood, Cliffs, NJ.
- [78] JENSEN, K.H., 1983. "Simulation of Water Flow In the Unsaturated Zone Including the Root Zone", Ser. Paper no:33, Technical University of Denmark.
- [79] CAMPBELL, G.S., 1974. "A Simple Method for Determining Unsaturated Conductivity from Moisture Retention Data", Soil Science, 117(6)
- [80] SCHROEDER, A.C., A.C. GIBSON, and M.D. SMOLEN, 1984, "The Hydraulic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model, Volume I and II", EPA/530/SW-009 and EPA/530/SW-010, U.S. EPA, Cincinnati, Ohio.
- [81] JAVANDEL, I., C. DOUGHTY, and C.F. TSANG, 1984. "Groundwater Transport: Handbook of Mathematical Models", Water Resources Monogram 10, American Geophysical Union, Washington, DC.
- [82] HUYAKORN, P.S., H.O. WHITE, Jr., V.M. GUVANESSEN, and B.H. LESTER, 1986. "TRAFRAP: A Two-Dimensional Finite Element Code for Simulating Fluid Flow and Transport of Radionuclides in Fractured Porous Media", FOS-33, International Groundwater Modeling Center, Holcomb Research Institute, Butler University, Indianapolis, Indiana.

- [83] AYDIN, M. ,(1987) 'Diferansiyel Denklemler ve Uygulamaları', Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Kitapları Yayınları, No=14 Bornova,İZMİR
- [84] İzmir Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Projesi, Boğaziçi Üniversitesi, 1991.
- [85] İzmir Harmandalı Çöp Depolama Alanı Zemin Araştırmaları Raporu, KARST Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Hacettepe Üniversitesi, Aralık, 1990, Ankara.
- [86] Standard Methods, "For Examination of Water and Wastewater", 16. Edition..
- [87] AKALIN , S. , (1997) 'İşletme İstatistiği ' , Ege Üniversitesi Matbaası , Bornova , İZMİR.

EKLER

EK A

Tablo A.1 Sızıntı Suyu Kirlenici Özelliklerindeki Değişimlerin Tespiti için Yapılan Deneysel Çalışmaların Sonuçları

PARAMETRELER							
GÜN	KOİ	AKM	SÜLFAT	KURŞUN	NİKEL	pH	KADMIYUM
1	69640	1050	1820	0	0.3	7.3	0
8	64520	1204	1538	0.023	0.876	7.2	0
15	65520	953	1354	0.043	1.429	7.3	0.002
22	61980	1110	1631	0.17	1.4	7.1	0.013
29	63600	874	1534	0.05	1.52	6.8	0.02
36	64350	941	1356	0.16	1.619	6.7	0.041
43	59620	902	1421	0.39	1.34	6.6	0.032
50	57980	798	1374	0.47	1.47	6.6	0.023
57	56740	958	1359	0.35	1.87	6.4	0.018
64	61530	732	1436	0.54	2.057	6.3	0.011
71	57680	675	1245	0.41	1.984	6.2	0.01
78	55610	541	1095	0.49	2.196	6.3	0.002
85	44080	1004	1110	0.31	1.75	6.1	0.015
92	51610	671	954	0.68	1.89	6.1	0.011
99	60200	543	1007	0.5	2.234	5.9	0.01
106	55870	498	1020	0.64	2.203	5.6	0.01
113	53180	562	932	0.67	0.89	5.7	0.008
120	52600	548	892	0.7	1.85	5.5	0.005
127	48090	510	946	0.58	1.47	5.9	0.009
134	47520	497	851	0.54	1.58	6.1	0.009
141	49020	554	1038	0.59	1.06	6.2	0.013
148	6840	65	271	0.17	0.42	6.4	0
155	7995	66	254	0.14	0.36	6.6	0
162	6630	213	205	0.09	0.47	6.9	0
169	7220	53	120	0.12	0.29	7.1	0.001
176	6903	82	86	0.16	0.32	7	0.001
183	12402	11	311	0.25	0.98	7.5	0.001
190	17082	131	379	0.38	0.44	7.8	0
197	12168	228	131	0.28	0.46	8.3	0
204	21550	130	423	0.32	0.68	7.9	0
211	22080	92	520	0.15	0.29	7.9	0
218	17550	250	343	0.12	0.14	7.9	0
225	23250	183	455	0.14	0.25	7.9	0
232	18915	59	270	0.25	0.22	8	0
239	12090	60	49	0.16	0.27	8.1	0

Tablo A.1'in devamı

PARAMETRELER							
GÜN	KOI	AKM	SÜLFAT	KURŞUN	NİKEL	pH	KADMIYUM
246	14440	128	77	0.12	0.24	7.8	0.01
253	12920	342	202	0.14	0.27	8	0
260	15620	118	154	0.07	0.26	7.8	0
267	11180	331	162	0.07	0.39	7.8	0
274	10410	148	251	0.1	0.42	7.7	0
281	4370	80	105	0.05	0.23	8.2	0
288	4484	143	62	0.05	0.25	8.2	0
295	3392	389	104	0.05	0.21	8.2	0
302	3276	285	52	0.04	0.2	8.3	0
309	3373	401	157	0.08	0.29	8.3	0
316	3040	134	125	0.04	0.27	8.4	0
323	3173	198	146	0.05	0.23	8.4	0
330	3078	188	167	0.06	0.27	8.5	0
337	2907	250	224	0.03	0.22	8.4	0
344	3762	124	112	0.03	0.25	8.4	0
351	3306	90	69	0	0.15	8.6	0
358	3800	32	257	0	0.16	8.5	0
365	3139	78	58	0.01	0.33	8.7	0
372	3040	14	94	0.01	0.32	8.7	0
379	3439	38	41	0.014	0.16	8.6	0.001
386	3230	53	78	0	0.3	8.6	0.001
393	3021	56	30	0.01	0.35	8.6	0
400	2926	56	47	0.01	0.37	8.7	0
407	2850	27	128	0.01	0.35	8.2	0
414	2774	47	272	0.02	0.213	8.4	0.003
421	2812	82	116	0.01	0.195	8.4	0
428	2527	31	132	0.009	0.186	8.4	0
435	2788	40	44	0.01	0.178	8.4	0
442	2793	31	32	0.019	0.158	8.2	0
449	2793	316	133	0.019	0.146	8.3	0
456	2850	76	26	0.013	0.149	8.5	0.001
463	2793	22	26	0.005	0.145	8.4	0
470	2812	41	23	0.012	0.138	8.4	0.001
477	2683	25	34	0.015	0.135	8.3	0
484	2905	52	22	0.02	0.148	8.4	0.004
491	2496	56	17	0.016	0.125	8.4	0.004
498	2809	39	32	0.014	0.129	8.3	0
505	2785	48	28	0.009	0.115	8.4	0
512	2576	51	37	0.011	0.11	8.4	0.001

EK B

Tablo B.1 Çiğli Askeri Meydan Meteoroloji Müdürlüğü'nden Alınan Deney Dönemine

Ait Yağış ve Buharlaşma Verileri

Günler	Yağış	Buharlaşma	Günler	Yağış	Buharlaşma	Günler	Yağış	Buharlaşma
1	0	12	40	0	11	79	0	7
2	0	14	41	0	14	80	0.2	3.2
3	0	12	42	0	11.5	81	0	7
4	0	11.5	43	0	8	82	0	7
5	0	13	44	0	10	83	0	7
6	0	15	45	0	6	84	0	6.5
7	0	14	46	0	7.5	85	0	5
8	0	17	47	16.2	6.2	86	0	7
9	0	16	48	0	12	87	0	8
10	0	16.5	49	0	6	88	0	9
11	0	15	50	0	7	89	0	6
12	0	15	51	0	9	90	0	8
13	0	14	52	0	11.5	91	0	4
14	0	19	53	0	9	92	0	5
15	0	17	54	0	6	93	0	4
16	0	15	55	0	10	94	0	5
17	0	12.5	56	0.5	9	95	0	7
18	0	11	57	0	6	96	0	9
19	0	9	58	0	9	97	0	8
20	0	11	59	0	8	98	0	5
21	0	9	60	0	11.5	99	0	3
22	0	10	61	0	10	100	0	3
23	0	13	62	0	6	101	0	3
24	0	15	63	0	4	102	0	6.5
25	0	13	64	0	6	103	5.8	3.3
26	0	16	65	0	6	104	0	4
27	0	15	66	0	7	105	0	3
28	0	14	67	0	10	106	0.3	3
29	0	16	68	0	11	107	6.5	0.5
30	0	18	69	0	10	108	0	3
31	0	14	70	0	6.5	109	0	2.5
32	0	8.5	71	0	5.5	110	0	3
33	0	7	72	0	5	111	0	2.5
34	0	9	73	0	9	112	0	3
35	0	8	74	0	6	113	122.3	7.3
36	0	8	75	0	5	114	0.2	4.2
37	0	11	76	0	6	115	5.1	1
38	0	9	77	0	3	116	3.6	0.6
39	0	10	78	41.7	2.7	117	6.5	1

Tablo B.1'in devamı

Günler	Yağış	Buharlaşıma	Günler	Yağış	Buharlaşıma	Günler	Yağış	Buharlaşıma
118	2.2	0.7	162	0	2	206	11.5	0.4
119	0	2	163	0	3	207	1.5	0.5
120	0	2	164	0	2	208	21.3	1
121	0	2.5	165	0.1	2	209	7.9	0.3
122	0	1	166	0	1	210	6.8	0.4
123	0	2	167	0	2	211	0	2.3
124	0	2	168	0	8	212	0	2
125	47.8	1.8	169	8	0.5	213	0	2
126	6	1	170	1.3	2.3	214	0.8	2
127	0	2	171	0	2	215	0	0.2
128	2.1	2.1	172	2.5	1.5	216	0	1.3
129	0.9	2.9	173	2.8	0.8	217	0	0.7
130	0.2	1.2	174	6.2	0.2	218	1.7	1
131	4.1	1	175	0	2	219	0	1.5
132	0	1	176	0	2	220	0	1.1
133	0	1	177	0	1	221	0	1.5
134	0	1	178	0	1	222	0	3
135	0	2	179	0	0.5	223	24.7	5
136	0	2.5	180	0	1	224	6	7.5
137	0	1	181	0	2	225	1	0.7
138	0	1	182	0	2	226	0	0.8
139	4.5	0.5	183	0	2	227	0	2
140	0.2	1.2	184	0	1	228	0	2.5
141	0	1	185	0	2	229	0	2
142	0	2	186	0	2.5	230	0	3
143	0	2	187	0	2	231	0	2
144	0	0.6	188	0.1	1.1	232	0	1
145	1.6	0.6	189	0	0.5	233	1.4	1.4
146	2.6	2	190	0	1	234	0	2
147	0	4	191	0	0.8	235	8.4	0.4
148	0	3	192	0	1.5	236	0.6	2
149	0	3	193	0	1	237	0	2
150	0	2	194	0	1	238	0	5
151	0	2	195	0	0.5	239	0	4
152	0	1	196	0	2	240	0	3
153	0	0.5	197	0	2.5	241	0	3
154	0	2	198	8.3	0.3	242	0	4
155	0	2	199	0	0.5	243	8.5	1.5
156	0	2	200	0	2	244	0.2	1.5
157	0	2	201	3	0.5	245	0	1.5
158	0	2	202	2.7	2.7	246	0	2.5
159	7.2	0.2	203	0	2	247	12.2	1.2
160	20.5	0.5	204	2	2	248	0	3
161	0	3	205	10.1	0.2	249	0	2

Tablo B.1'in devamı

Günler	Yağış	Buharlaşıma	Günler	Yağış	Buharlaşıma	Günler	Yağış	Buharlaşıma
250	0	2	294	0	6	338	0	11
251	0	4	295	0	5	339	0	11
252	0	4	296	0	6	340	0	14
253	0	4	297	0	10	341	0	13
254	0	7	298	0	4	342	0	13
255	0	6	299	0	7	343	0	8
256	0	5	300	0	8	344	0	9
257	0	5	301	0	6	345	0	8
258	0	4	302	0	7	346	0	11
259	1.3	1.3	303	0	8	347	0	10
260	0	5	304	0	7	348	0	13
261	12.8	0.8	305	8.1	6.8	349	0	10
262	0	6.5	306	1.3	6.3	350	0	11
263	0	1	307	0	4	351	0	13
264	0	3	308	0	6	352	0	13
265	5.1	6.1	309	0	6	353	0	12.5
266	3.7	3.2	310	0	8	354	0	10
267	0	3	311	0	8	355	0	14
268	0	4	312	0	6	356	0	14
269	0	6	313	0	7	357	0	13
270	0	5	314	0	9	358	0	12
271	0	6	315	0	12	359	0	10
272	0	7	316	0	11	360	0	11
273	0	8	317	0	8	361	0	13
274	0	10	318	0	8	362	0	13.5
275	0	7	319	0	9	363	0	13
276	9.5	0.5	320	5.4	2.4	364	0	10
277	1.9	4.9	321	0	6	365	0	14
278	0	4	322	0	7	366	0	12
279	0	6	323	0	12	367	0	14
280	0	7	324	0	14	368	0	15
281	0	5	325	0	14	369	0	14
282	0	8	326	0	11	370	0	14
283	0	7	327	0	15	371	0	15
284	0	7	328	0	16	372	0	11
285	0	7	329	0	15	373	0	15
286	0	5	330	0	15	374	0	13
287	0	5	331	0	11	375	0	12
288	0	3	332	0	16	376	0	11
289	0	5	333	0	12	377	0	15
290	0	6	334	0	10	378	0	16
291	0	3	335	0	12	379	0	14
292	0	6	336	0	12	380	0	9
293	0	5	337	0	12	381	0	7

Tablo B.1'in devamı

Günler	Yağış	Buharlaşıma	Günler	Yağış	Buharlaşıma	Günler	Yağış	Buharlaşıma
382	0	9	436	0	8	480	0	5
383	0	10	437	0	9	481	0	3
384	0	9	438	0	7	482	0	4.5
385	0	13	439	0	6	483	0	2.5
386	0	15	440	0	6	484	0	3
387	0	11	441	0	6.5	485	0	4
388	0	16	442	3.3	4.3	486	0	3
389	0	15	443	0	3	487	0	3
400	0	12	444	0	5	488	0	2
401	0	13	445	2	5	489	0	2
402	0	11	446	0	5	490	0	2
403	0	9	447	0	3	491	0	2
404	0	10.5	448	0	4	492	0	2
405	0	9	449	8.5	2.5	493	0	3
406	0	11	450	0	5	494	0	3
407	0	7	451	0	6	495	0	2
408	0	9	452	0	6	496	0	2
409	0	12	453	2	1.8	497	0	1.5
410	0	13	454	0	2.5	498	0	1
411	0	9	455	0	3	499	0	1.5
412	0	11	456	0	5	500	0	1
413	0	8	457	0	5	501	0	2
414	0	6	458	0	3	502	2.9	2.4
415	0	6	459	0	3	503	0	5
416	0	9	460	0	5	504	3.5	5
417	0	12	461	5.7	1.7	505	0	2
418	0	15	462	8.1	2.1	506	0	3
419	0	14	463	0	4	507	0	3
420	0	8	464	0	6	508	18.6	2.5
421	0	10	465	0	4	509	0	4
422	0	9	466	0	4	510	25.7	2.2
423	0	9	467	0	3	511	0	3
424	0	7	468	0	2	512	1.1	2.6
425	0	8	469	0	3			
426	0	10.5	470	0	3			
427	4.7	9.2	471	0.7	3.7			
428	8.4	4.4	472	0	3			
429	10.6	5.6	473	2.4	0.4			
430	4.3	1.3	474	0	4			
431	0	7.5	475	0	2			
432	0	6	476	0	3			
433	0	4	477	0	4			
434	0	6	478	0	4			
435	0	6	479	0	5			

EK C

Tablo C.1 Geliştirilen Matematik Modeller ile Hesaplanan Sonuçlar

Gün	AKM	Sülfat	KOİ	Nikel	Kurşun	Kadmiyum
1	1044.049	1728.955	67757.93	0.966966	0.041227	0.003139
2	1029.828	1705.761	67540.99	0.988576	0.043238	0.003558
3	1024.255	1696.625	67327.34	1.010376	0.045328	0.00402
4	1020.448	1690.361	67112.32	1.032357	0.047499	0.004527
5	1016.976	1684.64	66894.94	1.054511	0.049753	0.005083
6	1013.542	1678.98	66674.99	1.07683	0.052092	0.00569
7	1010.083	1673.279	66452.43	1.099304	0.054519	0.006349
8	1006.587	1667.517	66227.26	1.121925	0.057035	0.007063
9	1003.051	1661.689	65999.47	1.144682	0.059643	0.007832
10	999.4753	1655.795	65769.07	1.167567	0.062344	0.008659
11	995.8588	1649.834	65536.06	1.190568	0.065141	0.009543
12	992.202	1643.807	65300.46	1.213675	0.068036	0.010485
13	988.505	1637.713	65062.27	1.236878	0.07103	0.011484
14	984.7649	1631.549	64821.3	1.260166	0.074125	0.01254
15	980.9874	1625.323	64577.91	1.283527	0.077324	0.01365
16	977.1707	1619.032	64332	1.30695	0.080629	0.014813
17	973.3147	1612.677	64083.56	1.330422	0.08404	0.016026
18	969.4193	1606.256	63832.57	1.353932	0.08756	0.017285
19	965.4848	1599.772	63579.07	1.377468	0.091191	0.018585
20	961.5115	1593.223	63323.06	1.401016	0.094933	0.019921
21	957.4995	1586.61	63064.56	1.424564	0.09879	0.021287
22	953.4491	1579.935	62803.58	1.448099	0.102761	0.022677
23	949.3606	1573.196	62540.15	1.471608	0.10685	0.024083
24	945.2342	1566.395	62274.27	1.495078	0.111056	0.025498
25	941.0703	1559.533	62005.98	1.518494	0.115381	0.026913
26	936.8692	1552.609	61735.29	1.541843	0.119826	0.028319
27	932.6311	1545.624	61462.21	1.56511	0.124392	0.029706
28	928.3565	1538.579	61186.79	1.588283	0.129081	0.031066
29	924.0457	1531.474	60909.02	1.611347	0.133893	0.032387
30	919.6991	1524.31	60628.95	1.634287	0.138828	0.033661
31	915.317	1517.088	60346.6	1.657089	0.143887	0.034877
32	910.8999	1509.808	60061.98	1.679739	0.14907	0.036026
33	906.4481	1502.47	59775.14	1.702222	0.154379	0.037098
34	901.9621	1495.077	59486.09	1.724523	0.159812	0.038084
35	897.4423	1487.628	59194.86	1.746628	0.165371	0.038976
36	892.8892	1480.123	58901.49	1.768522	0.171054	0.039766
37	888.3032	1472.565	58606	1.79019	0.176861	0.040447
38	883.6849	1464.953	58308.43	1.811617	0.182793	0.041014
39	879.0347	1457.289	58008.8	1.83279	0.188847	0.04146
40	874.3531	1449.573	57707.16	1.853693	0.195024	0.041782
41	869.6407	1441.806	57403.53	1.874312	0.201323	0.041976

42	864.8979	1433.989	57097.94	1.894632	0.207742	0.042042
43	860.1254	1426.123	56790.44	1.914639	0.214279	0.041978
44	855.3236	1418.209	56481.07	1.934319	0.220934	0.041786
45	850.4932	1410.247	56169.84	1.953657	0.227705	0.041466
46	845.6347	1402.239	55856.81	1.97264	0.234589	0.041022
47	840.7487	1394.186	55542.02	1.991253	0.241585	0.040457
48	835.8359	1386.089	55225.5	2.009484	0.24869	0.039778
49	830.8967	1377.948	54907.28	2.027317	0.255901	0.03899
50	825.932	1369.764	54587.42	2.044741	0.263216	0.0381
51	820.9422	1361.54	54265.96	2.061742	0.270632	0.037116
52	815.928	1353.275	53942.93	2.078308	0.278146	0.036046
53	810.8902	1344.971	53618.37	2.094425	0.285754	0.034899
54	805.8293	1336.629	53292.34	2.110082	0.293453	0.033685
55	800.746	1328.25	52964.87	2.125266	0.301238	0.032413
56	795.641	1319.835	52636.01	2.139966	0.309107	0.031094
57	790.515	1311.385	52305.8	2.154171	0.317055	0.029736
58	785.3686	1302.902	51974.3	2.16787	0.325077	0.028351
59	780.2027	1294.386	51641.53	2.181052	0.333168	0.026947
60	775.0179	1285.839	51307.56	2.193706	0.341325	0.025534
61	769.8148	1277.261	50972.42	2.205823	0.349542	0.024121
62	764.5944	1268.655	50636.17	2.217394	0.357813	0.022717
63	759.3571	1260.021	50298.85	2.228408	0.366134	0.021329
64	754.1039	1251.361	49960.5	2.238858	0.374498	0.019965
65	748.8355	1242.675	49621.19	2.248736	0.382901	0.018631
66	743.5525	1233.966	49280.95	2.258033	0.391335	0.017333
67	738.2558	1225.233	48939.84	2.266742	0.399796	0.016076
68	732.9461	1216.479	48597.9	2.274857	0.408276	0.014865
69	727.6242	1207.704	48255.19	2.28237	0.41677	0.013704
70	722.2908	1198.911	47911.75	2.289276	0.42527	0.012596
71	716.9467	1190.099	47567.63	2.29557	0.43377	0.011542
72	711.5927	1181.271	47222.89	2.301246	0.442264	0.010545
73	706.2295	1172.427	46877.56	2.3063	0.450743	0.009605
74	700.8579	1163.57	46531.72	2.310729	0.459202	0.008723
75	695.4787	1154.7	46185.39	2.314528	0.467633	0.007898
76	690.0926	1145.818	45838.65	2.317695	0.476027	0.007131
77	684.7005	1136.926	45491.52	2.320227	0.48438	0.006419
78	679.3031	1128.024	45144.07	2.322123	0.492681	0.005762
79	673.9012	1119.116	44796.35	2.323381	0.500925	0.005157
80	668.4956	1110.201	44448.41	2.324	0.509103	0.004603
81	663.087	1101.28	44100.29	2.323981	0.517208	0.004098
82	657.6763	1092.356	43752.05	2.323323	0.525232	0.003638
83	652.2641	1083.429	43403.74	2.322027	0.533168	0.003221
84	646.8513	1074.501	43055.4	2.320095	0.541007	0.002845
85	641.4387	1065.573	42707.1	2.317528	0.548742	0.002506
86	636.027	1056.646	42358.87	2.314329	0.556366	0.002203
87	630.6169	1047.721	42010.77	2.3105	0.56387	0.001932
88	625.2092	1038.8	41662.84	2.306046	0.571246	0.001692

Gün	AKM	Sülfat	KOİ	Nikel	Kurşun	Kadmiyum
89	619.8048	1029.884	41315.14	2.30097	0.578489	0.001478
90	614.4043	1020.974	40967.72	2.295276	0.585588	0.00129
91	608.6154	1011.424	40595.45	2.28897	0.592539	0.001124
92	603.1444	1002.396	40243.47	2.282057	0.599332	0.000979
93	597.745	993.4866	39896.15	2.274542	0.605961	0.000852
94	592.3663	984.611	39550.21	2.266433	0.612418	0.000741
95	586.9981	975.7525	39204.98	2.257736	0.618697	0.000645
96	581.6389	966.9083	38860.35	2.248458	0.624791	0.000563
97	576.2889	958.0789	38516.34	2.238608	0.630693	0.000491
98	570.9486	949.2653	38172.98	2.228194	0.636396	0.00043
99	565.6189	940.4686	37830.32	2.217223	0.641894	0.000378
100	560.2887	931.6707	37487.66	2.205706	0.647181	0.000334
101	554.9795	922.9072	37146.38	2.193652	0.652251	0.000296
102	549.6849	914.1671	36806.05	2.18107	0.657098	0.000264
103	544.4039	905.4491	36466.63	2.167971	0.661717	0.000238
104	539.1369	896.7537	36128.14	2.154366	0.666102	0.000215
105	533.8844	888.0818	35790.6	2.140266	0.670248	0.000197
106	528.6471	879.4346	35454.07	2.125682	0.674151	0.000182
107	523.4256	870.8129	35118.59	2.110625	0.677805	0.000169
108	518.2205	862.218	34784.19	2.095108	0.681207	0.000159
109	513.0325	853.6508	34450.91	2.079142	0.684353	0.00015
110	507.8622	845.1122	34118.8	2.062741	0.687239	0.000143
111	502.7102	836.6034	33787.9	2.045917	0.689861	0.000138
112	497.577	828.1252	33458.23	2.028684	0.692217	0.000134
113	492.4633	819.6786	33129.85	2.011053	0.694303	0.000131
114	487.3696	811.2646	32802.78	1.99304	0.696118	0.000128
115	482.2965	802.8841	32477.06	1.974657	0.697659	0.000126
116	477.2445	794.5379	32152.74	1.955919	0.698924	0.000125
117	472.2142	786.2271	31829.83	1.936839	0.699911	0.000124
118	467.2061	777.9524	31508.38	1.917432	0.70062	0.000124
119	462.2207	769.7147	31188.42	1.897712	0.70105	0.000123
120	457.2585	761.5148	30869.98	1.877693	0.7012	0.000124
121	452.3201	753.3536	30553.1	1.85739	0.70107	0.000124
122	446.5343	743.7956	30182	1.836817	0.70066	0.000124
123	441.4644	735.4135	29856.69	1.81599	0.699971	0.000125
124	436.5618	727.3086	29542.19	1.794922	0.699004	0.000125
125	431.719	719.3027	29231.57	1.773628	0.697759	0.000126
126	426.9095	711.3516	28923.12	1.752123	0.696238	0.000127
127	422.128	703.4463	28616.51	1.730422	0.694443	0.000128
128	417.3736	695.5854	28311.67	1.708539	0.692377	0.000128
129	412.6466	687.7691	28008.62	1.686489	0.690041	0.000129
130	407.9472	679.998	27707.38	1.664287	0.687439	0.00013
131	403.2759	672.2727	27407.97	1.641947	0.684573	0.000131
132	398.633	664.5938	27110.41	1.619483	0.681447	0.000132
133	394.0188	656.962	26814.73	1.59691	0.678065	0.000133
134	389.4338	649.3777	26520.95	1.574243	0.674431	0.000134

Gün	AKM	Sülfat	KOI	Nikel	Kurşun	Kadmiyum
135	384.8783	641.8416	26229.1	1.551494	0.670548	0.000135
136	380.3525	634.3542	25939.18	1.528678	0.666422	0.000136
137	375.8568	626.9161	25651.23	1.505808	0.662057	0.000137
138	371.3916	619.5276	25365.26	1.482899	0.657458	0.000138
139	366.957	612.1894	25081.28	1.459964	0.652631	0.000139
140	362.5534	604.9019	24799.33	1.437016	0.647581	0.00014
141	358.1811	597.6655	24519.41	1.414068	0.642314	0.000141
142	353.8402	590.4807	24241.54	1.391132	0.636836	0.000142
143	349.5311	583.3478	23965.73	1.368222	0.631153	0.000143
144	345.254	576.2674	23692.01	1.34535	0.625271	0.000144
145	341.0092	569.2397	23420.38	1.322527	0.619197	0.000145
146	336.7967	562.2651	23150.87	1.299766	0.612938	0.000146
147	332.5093	555.1667	22876.58	1.277078	0.606501	0.000147
148	328.3398	548.2617	22609.88	1.254475	0.599892	0.000148
149	324.2215	541.4411	22346.49	1.231968	0.593119	0.000149
150	320.1348	534.6724	22085.15	1.209567	0.586188	0.00015
151	315.9682	527.7718	21818.73	1.187282	0.579109	0.000151
152	311.9298	521.0815	21560.55	1.165125	0.571886	0.000152
153	307.9452	514.4801	21305.84	1.143104	0.56453	0.000153
154	303.9988	507.9415	21053.59	1.12123	0.557046	0.000154
155	300.0871	501.46	20803.61	1.099511	0.549442	0.000155
156	296.2096	495.0346	20555.84	1.077957	0.541727	0.000156
157	290.2025	485.0976	20171.88	1.056576	0.533908	0.000157
158	285.9357	478.0153	19899.42	1.035376	0.525992	0.000158
159	281.9827	471.4582	19646.99	1.014366	0.517988	0.000159
160	278.1508	465.1041	19402.29	0.993553	0.509903	0.00016
161	274.322	458.7562	19157.82	0.972944	0.501745	0.000161
162	270.5961	452.5778	18919.95	0.952546	0.493521	0.000162
163	266.0319	445.0173	18628.5	0.932366	0.48524	0.000163
164	262.2442	438.7309	18386.82	0.91241	0.476907	0.000164
165	258.6502	432.7675	18157.5	0.892684	0.468533	0.000165
166	255.1248	426.9191	17932.57	0.873194	0.460122	0.000166
167	251.6411	421.1401	17710.32	0.853946	0.451683	0.000167
168	248.1935	415.4206	17490.4	0.834943	0.443224	0.000168
169	244.7806	409.7582	17272.72	0.816192	0.43475	0.000169
170	240.6056	402.8386	17006.34	0.797695	0.42627	0.00017
171	236.9939	396.8418	16776.1	0.779458	0.41779	0.000171
172	233.6302	391.2566	16561.7	0.761484	0.409316	0.000172
173	230.3122	385.7489	16350.21	0.743776	0.400856	0.000173
174	227.051	380.3352	16142.35	0.726337	0.392415	0.000174
175	223.8402	375.005	15937.74	0.709171	0.384001	0.000175
176	220.6038	369.6326	15731.51	0.69228	0.375618	0.000176
177	217.4554	364.4049	15530.93	0.675666	0.367274	0.000177
178	214.3527	359.2527	15333.28	0.659331	0.358973	0.000178
179	211.2864	354.1607	15137.98	0.643277	0.350722	0.000179

Gün	AKM	Sülfat	KOİ	Nikel	Kurşun	Kadmiyum
180	208.2545	349.1254	14944.89	0.627505	0.342525	0.00018
181	205.2564	344.146	14753.98	0.612016	0.334388	0.000181
182	202.2921	339.2221	14565.24	0.596811	0.326317	0.000182
183	199.3613	334.3535	14378.66	0.58189	0.318315	0.000183
184	196.393	329.4231	14189.7	0.567255	0.310387	0.000184
185	193.5108	324.6339	14006.27	0.552905	0.302538	0.000185
186	190.6763	319.9239	13825.9	0.538839	0.294773	0.000186
187	187.8781	315.2739	13647.86	0.525059	0.287094	0.000187
188	185.1135	310.6794	13471.97	0.511562	0.279506	0.000188
189	182.3571	306.0985	13296.63	0.498349	0.272012	0.000189
190	179.6128	301.5375	13122.07	0.485417	0.264616	0.00019
191	176.9369	297.0889	12951.9	0.472767	0.257321	0.000191
192	174.3011	292.7068	12784.3	0.460396	0.25013	0.000192
193	171.6992	288.381	12618.87	0.448303	0.243045	0.000193
194	169.1298	284.1087	12455.53	0.436487	0.236069	0.000194
195	166.5924	279.8894	12294.24	0.424944	0.229205	0.000195
196	164.0868	275.7225	12134.99	0.413674	0.222454	0.000196
197	161.6127	271.6078	11977.77	0.402674	0.215819	0.000197
198	159.1701	267.5451	11822.56	0.391941	0.209302	0.000198
199	156.7587	263.534	11669.36	0.381473	0.202903	0.000199
200	154.3784	259.5743	11518.14	0.371267	0.196624	0.0002
201	152.0289	255.6656	11368.91	0.361321	0.190467	0.000201
202	149.7101	251.8076	11221.64	0.351631	0.184433	0.000202
203	147.4219	248.0001	11076.33	0.342194	0.178521	0.000203
204	145.058	244.0679	10926.19	0.333008	0.172734	0.000204
205	142.5068	239.8254	10764.14	0.324068	0.167071	0.000205
206	140.2396	236.0496	10620.29	0.315372	0.161532	0.000206
207	138.0575	232.4162	10481.82	0.306917	0.156119	0.000207
208	135.9169	228.8525	10345.98	0.298698	0.15083	0.000208
209	133.8082	225.342	10212.17	0.290712	0.145667	0.000209
210	131.7277	221.8782	10080.16	0.282956	0.140628	0.00021
211	129.6772	218.4642	9950.071	0.275425	0.135713	0.000211
212	127.6557	215.0982	9821.832	0.268116	0.130921	0.000212
213	125.6626	211.7793	9695.413	0.261026	0.126252	0.000213
214	123.5835	208.3186	9563.505	0.25415	0.121706	0.000214
215	121.6035	205.0203	9437.961	0.247484	0.117281	0.000215
216	119.6853	201.8248	9316.348	0.241024	0.112976	0.000216
217	117.7667	198.6292	9194.695	0.234768	0.10879	0.000217
218	115.8652	195.4619	9074.142	0.228709	0.104721	0.000218
219	113.9409	192.2568	8952.138	0.222846	0.10077	0.000219
220	112.12	189.2222	8836.756	0.217173	0.096933	0.00022
221	110.3424	186.2601	8724.117	0.211687	0.093211	0.000221
222	108.5949	183.348	8613.383	0.206383	0.0896	0.000222
223	106.8743	180.4808	8504.364	0.201258	0.0861	0.000223
224	105.1798	177.6568	8397.006	0.196307	0.082709	0.000224
225	103.5109	174.8755	8291.286	0.191528	0.079424	0.000225

Gün	AKM	Sülfat	KOI	Nikel	Kurşun	Kadmiyum
226	101.8675	172.1364	8187.187	0.186915	0.076245	0.000226
227	100.2493	169.439	8084.693	0.182465	0.07317	0.000227
228	98.65602	166.7831	7983.788	0.178174	0.070196	0.000228
229	97.08745	164.1683	7884.458	0.174038	0.067321	0.000229
230	95.54334	161.594	7786.687	0.170053	0.064544	0.00023
231	94.02347	159.06	7690.458	0.166215	0.061863	0.000231
232	92.52621	156.5635	7595.669	0.162521	0.059275	0.000232
233	91.05377	154.1083	7502.461	0.158967	0.056779	0.000233
234	89.60506	151.6925	7410.764	0.155549	0.054372	0.000234
235	88.17967	149.3154	7320.55	0.152264	0.052053	0.000235
236	86.77731	146.9766	7231.801	0.149107	0.049819	0.000236
237	85.39774	144.6757	7144.502	0.146076	0.047668	0.000237
238	84.04069	142.4122	7058.636	0.143167	0.045598	0.000238
239	82.70595	140.1858	6974.187	0.140375	0.043607	0.000239
240	81.39325	137.996	6891.141	0.137699	0.041694	0.00024
241	80.10237	135.8425	6809.482	0.135134	0.039855	0.000241
242	78.72207	133.5415	6722.116	0.132678	0.038088	0.000242
243	77.44992	131.4181	6641.687	0.130326	0.036393	0.000243
244	76.21792	129.362	6563.788	0.128076	0.034766	0.000244
245	74.97105	127.2819	6484.923	0.125925	0.033205	0.000245
246	73.74106	125.2296	6407.142	0.12387	0.031709	0.000246
247	72.56651	123.269	6332.894	0.121907	0.030276	0.000247
248	71.41978	121.3551	6260.402	0.120033	0.028904	0.000248
249	70.26822	119.4335	6187.59	0.118247	0.02759	0.000249
250	69.02423	117.3592	6108.89	0.116544	0.026333	0.00025
251	67.75708	115.2454	6028.757	0.114922	0.025131	0.000251
252	66.63151	113.3649	5957.674	0.113379	0.023981	0.000252
253	65.2898	111.1287	5872.761	0.111911	0.022884	0.000253
254	64.0939	109.1311	5797.231	0.110517	0.021835	0.000254
255	62.95908	107.2356	5725.555	0.109193	0.020835	0.000255
256	61.94074	105.5335	5661.272	0.107938	0.01988	0.000256
257	60.96196	103.8985	5599.459	0.106748	0.01897	0.000257
258	60.00568	102.3015	5539.053	0.105621	0.018102	0.000258
259	59.06794	100.7356	5479.817	0.104556	0.017275	0.000259
260	58.13734	99.18182	5421.029	0.10355	0.016488	0.00026
261	57.23193	97.66974	5363.844	0.1026	0.015739	0.000261
262	56.34512	96.18873	5307.836	0.101706	0.015027	0.000262
263	55.47531	94.73605	5252.903	0.100864	0.014349	0.000263
264	54.60003	93.2746	5197.615	0.100072	0.013706	0.000264
265	53.75803	91.86807	5144.451	0.099329	0.013094	0.000265
266	52.93571	90.49446	5092.531	0.098633	0.012514	0.000266
267	52.12992	89.14848	5041.654	0.097983	0.011963	0.000267
268	51.33979	87.82863	4991.767	0.097375	0.01144	0.000268
269	50.24881	86.01173	4922.703	0.096809	0.010945	0.000269
270	49.34305	84.497	4865.581	0.096283	0.010476	0.00027
271	48.55359	83.17602	4815.817	0.095795	0.010032	0.000271

Gün	AKM	Sülfat	KOİ	Nikel	Kurşun	Kadmiyum
272	47.81388	81.93911	4769.162	0.095344	0.009611	0.000272
273	47.0963	80.73983	4723.881	0.094929	0.009213	0.000273
274	46.3946	79.56732	4679.597	0.094547	0.008837	0.000274
275	45.70724	78.4188	4636.217	0.094198	0.008482	0.000275
276	45.03371	77.29339	4593.712	0.093879	0.008146	0.000276
277	44.356	76.16127	4550.934	0.093591	0.007829	0.000277
278	43.70548	75.07407	4509.89	0.093331	0.00753	0.000278
279	42.96489	73.8383	4463.097	0.093098	0.007249	0.000279
280	42.31325	72.74841	4422.013	0.092891	0.006983	0.00028
281	41.6987	71.72075	4383.261	0.09271	0.006733	0.000281
282	41.10206	70.72338	4345.626	0.092552	0.006498	0.000282
283	40.51894	69.74874	4308.84	0.092417	0.006276	0.000283
284	39.94821	68.79485	4272.837	0.092304	0.006068	0.000284
285	39.38949	67.86101	4237.591	0.092211	0.005872	0.000285
286	38.84254	66.94681	4203.089	0.092139	0.005689	0.000286
287	38.20043	65.87548	4162.519	0.092086	0.005517	0.000287
288	37.65043	64.95515	4127.863	0.09205	0.005355	0.000288
289	37.13195	64.08789	4095.182	0.092032	0.005204	0.000289
290	36.62896	63.24687	4063.465	0.092031	0.005062	0.00029
291	35.98513	62.17335	4022.766	0.092045	0.004929	0.000291
292	35.47121	61.3127	3990.409	0.092075	0.004806	0.000292
293	34.99407	60.51423	3960.348	0.092118	0.00469	0.000293
294	34.53302	59.74315	3931.284	0.092175	0.004582	0.000294
295	34.08335	58.99129	3902.931	0.092245	0.004481	0.000295
296	33.64389	58.25654	3875.222	0.092328	0.004387	0.000296
297	33.21424	57.53819	3848.131	0.092422	0.0043	0.000297
298	32.79418	56.83587	3821.646	0.092527	0.004219	0.000298
299	32.38354	56.14928	3795.755	0.092643	0.004144	0.000299
300	31.98214	55.47813	3770.447	0.092769	0.004074	0.0003
301	31.58981	54.82214	3745.713	0.092904	0.004009	0.000301
302	31.2064	54.18104	3721.542	0.093049	0.003949	0.000302
303	30.83175	53.55457	3697.923	0.093202	0.003893	0.000303
304	30.44956	52.9158	3673.819	0.093364	0.003842	0.000304
305	30.08838	52.31168	3651.057	0.093533	0.003795	0.000305
306	29.57976	51.46402	3618.894	0.093709	0.003752	0.000306
307	29.20342	50.83309	3595.23	0.093893	0.003712	0.000307
308	28.8625	50.2621	3573.771	0.094083	0.003676	0.000308
309	28.53548	49.71489	3553.168	0.09428	0.003643	0.000309
310	28.15446	49.07878	3529.114	0.094482	0.003612	0.00031
311	27.78469	48.46058	3505.802	0.09469	0.003585	0.000311
312	27.46882	47.93151	3485.923	0.094904	0.00356	0.000312
313	27.17048	47.43218	3467.133	0.095122	0.003537	0.000313
314	26.88151	46.94875	3448.926	0.095345	0.003517	0.000314
315	26.6	46.47789	3431.186	0.095573	0.003499	0.000315
316	26.32543	46.01864	3413.883	0.095805	0.003482	0.000316
317	26.05756	45.57061	3397.002	0.096041	0.003468	0.000317

Gün	AKM	Sülfat	KOİ	Nikel	Kurşun	Kadmiyum
318	25.79625	45.13355	3380.536	0.096281	0.003455	0.000318
319	25.54137	44.70723	3364.474	0.096525	0.003444	0.000319
320	25.29278	44.29142	3348.809	0.096772	0.003435	0.00032
321	24.9336	43.69286	3326.098	0.097022	0.003427	0.000321
322	24.64809	43.21457	3308.135	0.097275	0.00342	0.000322
323	24.4068	42.81008	3292.962	0.097531	0.003414	0.000323
324	24.17977	42.42997	3278.669	0.09779	0.00341	0.000324
325	23.96029	42.06271	3264.844	0.098051	0.003407	0.000325
326	23.74678	41.70551	3251.392	0.098315	0.003404	0.000326
327	23.53878	41.35757	3238.288	0.098581	0.003403	0.000327
328	23.33613	41.01857	3225.52	0.098849	0.003402	0.000328
329	23.13869	40.68828	3213.081	0.099119	0.003402	0.000329
330	22.94635	40.36651	3200.963	0.099391	0.003403	0.00033
331	22.75899	40.05307	3189.159	0.099664	0.003405	0.000331
332	22.5765	39.74779	3177.662	0.09994	0.003407	0.000332
333	22.39879	39.45049	3166.466	0.100217	0.00341	0.000333
334	22.22574	39.16099	3155.565	0.100495	0.003414	0.000334
335	22.05725	38.87912	3144.951	0.100775	0.003418	0.000335
336	21.89323	38.60471	3134.618	0.101056	0.003422	0.000336
337	21.73356	38.33759	3124.559	0.101339	0.003427	0.000337
338	21.57816	38.07761	3114.77	0.101622	0.003432	0.000338
339	21.42693	37.82459	3105.243	0.101907	0.003438	0.000339
340	21.27977	37.57839	3095.973	0.102192	0.003444	0.00034
341	21.13659	37.33884	3086.954	0.102479	0.00345	0.000341
342	20.9973	37.1058	3078.18	0.102766	0.003457	0.000342
343	20.86181	36.87911	3069.646	0.103055	0.003464	0.000343
344	20.73003	36.65863	3061.345	0.103344	0.003471	0.000344
345	20.60187	36.44421	3053.272	0.103634	0.003478	0.000345
346	20.47726	36.23571	3045.423	0.103924	0.003486	0.000346
347	20.3561	36.03299	3037.791	0.104215	0.003493	0.000347
348	20.23831	35.83591	3030.372	0.104507	0.003501	0.000348
349	20.12382	35.64435	3023.161	0.104799	0.00351	0.000349
350	19.91381	35.29488	3009.865	0.105092	0.003518	0.00035
351	19.76799	35.0502	3000.706	0.105385	0.003526	0.000351
352	19.65458	34.85974	2993.589	0.105679	0.003535	0.000352
353	19.55067	34.68558	2987.053	0.105973	0.003543	0.000353
354	19.4511	34.51889	2980.785	0.106268	0.003552	0.000354
355	19.35469	34.35755	2974.714	0.106563	0.003561	0.000355
356	19.26113	34.20098	2968.822	0.106858	0.00357	0.000356
357	19.17028	34.04897	2963.1	0.107154	0.003579	0.000357
358	19.08207	33.90137	2957.545	0.10745	0.003588	0.000358
359	18.99643	33.75807	2952.151	0.107746	0.003598	0.000359
360	18.9133	33.61896	2946.915	0.108043	0.003607	0.00036
361	18.8326	33.48393	2941.833	0.10834	0.003616	0.000361
362	18.75428	33.35287	2936.901	0.108637	0.003626	0.000362
363	18.67828	33.22569	2932.114	0.108934	0.003635	0.000363

Gün	AKM	Sülfat	KOİ	Nikel	Kurşun	Kadmiyum
364	18.60453	33.10229	2927.47	0.109231	0.003645	0.000364
365	18.46733	32.87398	2918.784	0.109529	0.003654	0.000365
366	18.38339	32.73285	2913.522	0.109827	0.003664	0.000366
367	18.31285	32.61446	2909.093	0.110125	0.003674	0.000367
368	18.24686	32.50389	2904.941	0.110423	0.003683	0.000368
369	18.1834	32.39765	2900.946	0.110721	0.003693	0.000369
370	18.12198	32.29487	2897.079	0.111019	0.003703	0.00037
371	18.06247	32.19527	2893.331	0.111318	0.003712	0.000371
372	18.00478	32.09874	2889.698	0.111617	0.003722	0.000372
373	17.94887	32.00518	2886.177	0.111915	0.003732	0.000373
374	17.89469	31.9145	2882.765	0.112214	0.003742	0.000374
375	17.84218	31.82663	2879.459	0.112513	0.003752	0.000375
376	17.7913	31.7415	2876.255	0.112812	0.003761	0.000376
377	17.74202	31.65902	2873.151	0.113111	0.003771	0.000377
378	17.69428	31.57912	2870.145	0.11341	0.003781	0.000378
379	17.64804	31.50174	2867.233	0.113709	0.003791	0.000379
380	17.60325	31.4268	2864.413	0.114009	0.003801	0.00038
381	17.55989	31.35423	2861.683	0.114308	0.003811	0.000381
382	17.51791	31.28397	2859.039	0.114607	0.003821	0.000382
383	17.47727	31.21596	2856.48	0.114907	0.003831	0.000383
384	17.43792	31.15012	2854.003	0.115206	0.003841	0.000384
385	17.39985	31.0864	2851.605	0.115506	0.003851	0.000385
386	17.363	31.02473	2849.285	0.115805	0.003861	0.000386
387	17.32735	30.96506	2847.04	0.116105	0.00387	0.000387
388	17.29285	30.90733	2844.867	0.116404	0.00388	0.000388
389	17.25948	30.85149	2842.766	0.116704	0.00389	0.000389
390	17.2272	30.79747	2840.734	0.117004	0.0039	0.00039
391	17.19599	30.74523	2838.768	0.117303	0.00391	0.000391
392	17.1658	30.69471	2836.867	0.117603	0.00392	0.000392
393	17.13661	30.64586	2835.029	0.117903	0.00393	0.000393
394	17.10839	30.59863	2833.252	0.118203	0.00394	0.000394
395	17.08111	30.55298	2831.535	0.118502	0.00395	0.000395
396	17.05475	30.50885	2829.875	0.118802	0.00396	0.000396
397	17.02927	30.46621	2828.27	0.119102	0.00397	0.000397
398	17.00464	30.425	2826.72	0.119402	0.00398	0.000398
399	16.98085	30.38518	2825.222	0.119702	0.00399	0.000399
400	16.95787	30.34672	2823.775	0.120002	0.004	0.0004
401	16.93567	30.30956	2822.377	0.120301	0.00401	0.000401
402	16.91422	30.27367	2821.027	0.120601	0.00402	0.000402
403	16.89352	30.23901	2819.723	0.120901	0.00403	0.000403
404	16.87352	30.20555	2818.464	0.121201	0.00404	0.000404
405	16.85421	30.17324	2817.248	0.121501	0.00405	0.000405
406	16.83558	30.14204	2816.075	0.121801	0.00406	0.000406
407	16.81759	30.11194	2814.942	0.122101	0.00407	0.000407
408	16.80022	30.08288	2813.849	0.122401	0.00408	0.000408
409	16.78347	30.05483	2812.794	0.122701	0.00409	0.000409

Gün	AKM	Sülfat	KOI	Nikel	Kurşun	Kadmiyum
410	16.7673	30.02778	2811.776	0.123001	0.0041	0.00041
411	16.7517	30.00167	2810.794	0.123301	0.00411	0.000411
412	16.73666	29.97649	2809.846	0.123601	0.00412	0.000412
413	16.72214	29.9522	2808.932	0.1239	0.00413	0.000413
414	16.70815	29.92877	2808.051	0.1242	0.00414	0.000414
415	16.69465	29.90618	2807.201	0.1245	0.00415	0.000415
416	16.68163	29.8844	2806.382	0.1248	0.00416	0.000416
417	16.66909	29.8634	2805.592	0.1251	0.00417	0.000417
418	16.65699	29.84316	2804.83	0.1254	0.00418	0.000418
419	16.64534	29.82365	2804.097	0.1257	0.00419	0.000419
420	16.6341	29.80485	2803.389	0.126	0.0042	0.00042
421	16.62328	29.78673	2802.708	0.1263	0.00421	0.000421
422	16.61285	29.76927	2802.051	0.1266	0.00422	0.000422
423	16.6028	29.75246	2801.418	0.1269	0.00423	0.000423
424	16.59312	29.73626	2800.809	0.1272	0.00424	0.000424
425	16.5838	29.72066	2800.222	0.1275	0.00425	0.000425
426	16.57482	29.70563	2799.657	0.1278	0.00426	0.000426
427	16.56618	29.69117	2799.113	0.1281	0.00427	0.000427
428	16.55786	29.67724	2798.589	0.1284	0.00428	0.000428
429	16.54985	29.66383	2798.085	0.1287	0.00429	0.000429
430	16.54214	29.65092	2797.599	0.129	0.0043	0.00043
431	16.53472	29.6385	2797.132	0.1293	0.00431	0.000431
432	16.52758	29.62655	2796.682	0.1296	0.00432	0.000432
433	16.52071	29.61505	2796.25	0.1299	0.00433	0.000433
434	16.51409	29.60399	2795.833	0.1302	0.00434	0.000434
435	16.50774	29.59334	2795.433	0.1305	0.00435	0.000435
436	16.50162	29.58311	2795.048	0.1308	0.00436	0.000436
437	16.49574	29.57326	2794.678	0.1311	0.00437	0.000437
438	16.49008	29.5638	2794.322	0.1314	0.00438	0.000438
439	16.48464	29.55469	2793.979	0.1317	0.00439	0.000439
440	16.47942	29.54594	2793.65	0.132	0.0044	0.00044
441	16.47439	29.53753	2793.334	0.1323	0.00441	0.000441
442	16.46956	29.52945	2793.03	0.1326	0.00442	0.000442
443	16.46492	29.52168	2792.738	0.1329	0.00443	0.000443
444	16.46046	29.51422	2792.457	0.1332	0.00444	0.000444
445	16.45618	29.50704	2792.187	0.1335	0.00445	0.000445
446	16.45206	29.50015	2791.928	0.1338	0.00446	0.000446
447	16.44811	29.49354	2791.679	0.1341	0.00447	0.000447
448	16.44431	29.48718	2791.44	0.1344	0.00448	0.000448
449	16.44066	29.48108	2791.21	0.1347	0.00449	0.000449
450	16.43716	29.47522	2790.99	0.135	0.0045	0.00045
451	16.4338	29.46959	2790.778	0.1353	0.00451	0.000451
452	16.43057	29.46419	2790.575	0.1356	0.00452	0.000452
453	16.42748	29.45901	2790.38	0.1359	0.00453	0.000453
454	16.42451	29.45403	2790.193	0.1362	0.00454	0.000454
455	16.42165	29.44926	2790.014	0.1365	0.00455	0.000455

Gün	AKM	Sülfat	KOİ	Nikel	Kurşun	Kadmiyum
456	16.41892	29.44468	2789.841	0.1368	0.00456	0.000456
457	16.41629	29.44029	2789.676	0.1371	0.00457	0.000457
458	16.41378	29.43607	2789.518	0.1374	0.00458	0.000458
459	16.41136	29.43203	2789.366	0.1377	0.00459	0.000459
460	16.40904	29.42815	2789.22	0.138	0.0046	0.00046
461	16.40682	29.42444	2789.08	0.1383	0.00461	0.000461
462	16.40469	29.42087	2788.946	0.1386	0.00462	0.000462
463	16.40265	29.41746	2788.817	0.1389	0.00463	0.000463
464	16.34375	29.31999	2785.068	0.1392	0.00464	0.000464
465	16.22749	29.12685	2777.698	0.1395	0.00465	0.000465
466	16.07197	28.86774	2767.865	0.1398	0.00466	0.000466
467	15.98412	28.71975	2762.369	0.1401	0.00467	0.000467
468	15.96339	28.68357	2761.117	0.1404	0.00468	0.000468
469	15.95759	28.67322	2760.773	0.1407	0.00469	0.000469
470	15.95514	28.66892	2760.625	0.141	0.0047	0.00047
471	15.95348	28.66609	2760.523	0.1413	0.00471	0.000471
472	15.95205	28.66367	2760.433	0.1416	0.00472	0.000472
473	15.95071	28.66143	2760.349	0.1419	0.00473	0.000473
474	15.94944	28.65929	2760.269	0.1422	0.00474	0.000474
475	15.94822	28.65726	2760.193	0.1425	0.00475	0.000475
476	15.94706	28.65531	2760.119	0.1428	0.00476	0.000476
477	15.94594	28.65344	2760.049	0.1431	0.00477	0.000477
478	15.94487	28.65166	2759.982	0.1434	0.00478	0.000478
479	15.9039	28.58386	2757.374	0.1437	0.00479	0.000479
480	15.89407	28.56701	2756.77	0.144	0.0048	0.00048
481	15.89118	28.56194	2756.596	0.1443	0.00481	0.000481
482	15.86563	28.51959	2754.973	0.1446	0.00482	0.000482
483	15.85932	28.50875	2754.586	0.1449	0.00483	0.000483
484	15.85729	28.50522	2754.463	0.1452	0.00484	0.000484
485	15.85625	28.50341	2754.399	0.1455	0.00485	0.000485
486	15.75254	28.33186	2747.797	0.1458	0.00486	0.000486
487	15.72902	28.29144	2746.355	0.1461	0.00487	0.000487
488	15.72329	28.28126	2746.014	0.1464	0.00488	0.000488
489	15.72152	28.27809	2745.91	0.1467	0.00489	0.000489
490	15.69644	28.23654	2744.316	0.147	0.0049	0.00049
491	15.69043	28.22621	2743.947	0.1473	0.00491	0.000491
492	15.68866	28.22311	2743.841	0.1476	0.00492	0.000492
493	15.68785	28.22171	2743.792	0.1479	0.00493	0.000493
494	15.68727	28.22073	2743.756	0.1482	0.00494	0.000494
495	15.68677	28.21987	2743.724	0.1485	0.00495	0.000495
496	15.68629	28.21908	2743.694	0.1488	0.00496	0.000496
497	15.68584	28.21832	2743.666	0.1491	0.00497	0.000497
498	15.61643	28.1035	2739.247	0.1494	0.00498	0.000498
499	15.50272	27.91443	2732.045	0.1497	0.00499	0.000499
500	15.47723	27.87038	2730.49	0.15	0.005	0.0005
501	15.47129	27.85975	2730.14	0.1503	0.00501	0.000501

Gün	AKM	Sülfat	KOİ	Nikel	Kurşun	Kadmiyum
502	15.4697	27.85685	2730.048	0.1506	0.00502	0.000502
503	15.46909	27.85575	2730.012	0.1509	0.00503	0.000503
504	15.4687	27.85509	2729.989	0.1512	0.00504	0.000504
505	15.46838	27.85454	2729.968	0.1515	0.00505	0.000505
506	15.46808	27.85404	2729.95	0.1518	0.00506	0.000506
507	15.4678	27.85357	2729.932	0.1521	0.00507	0.000507
508	15.45907	27.83911	2729.376	0.1524	0.00508	0.000508
509	15.45693	27.83546	2729.245	0.1527	0.00509	0.000509
510	15.42724	27.78628	2727.357	0.153	0.0051	0.00051
511	15.42048	27.77466	2726.943	0.1533	0.00511	0.000511
512	15.41881	27.7717	2726.844	0.1536	0.00512	0.000512

**** Bu sonuçlar Bölüm 5'teki tarafımızdan geliştirilen matematik modeller kullanılarak EXCEL 7.0 bilgisayar programı yardımı ile hesaplanmıştır.**

ÖZGEÇMİŞ

Orhan KÜÇÜKGÜL, 1964 yılında Kars'da doğdu. 1980 yılında Eskişehir Atatürk Lisesi'nden ve aynı yıl girdiği Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 1985 yılında mezun oldu. 1986 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya ve aynı yıl Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde lisans üstü çalışmalarına başladı ve 1988 yılında bitirdi. 2 yıl süre ile İstanbul'da özel bir arıtma şirketinde proje sorumlusu olarak görev yaptı ve yaklaşık bir yıl süre ile İngiltere'de yabancı dil eğitimi gördü. 1991 yılında İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'ne girdi ve Atıksu Arıtma Ruhsat Denetim Daire Başkanlığı'nda 4 yıl süre ile görev yaptı. 1995 yılında İzmir Büyükşehir Belediyesine girdi.

Halen İzmir Büyükşehir Belediyesi Katı Atık İşletmeler Müdürlüğü'ne bağlı Harmandalı Düzenli Katı Atık Depolama Tesisleri'nde Teknik Sorumlu olarak görev yapmaktadır.