

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Katı Atık Depo Yer, Olu, Sız, Suyu
Kir, Öze, Bel, ve Bun, Zam, Deg. İf.
Eden Mat. Mod. Araş.

DOKTORA TEZİ

M. Talha Gönüllü

1988

150
136

4.1.10
150
20

ins
6000 TL.

T.C.

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATI ATIK DEPO YERLERİNDE OLUŞAN SIZINTI SUYU
KİRLETİCİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE
BUNLARIN ZAMANLA DEĞİŞİMİNİ İFADE EDEN
MATEMATİKSEL MODELLERİN ARAŞTIRILMASI

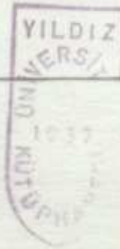
DOKTORA TEZİ

YÜK.MÜH. M. TALHA GÖNÜLLÜ

İSTANBUL 1987

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 150
: 136
Alındığı Yer : FEN BİL. ENS.
Tarih : 14.10.1991
Fatura : - - - -
Fiyatı : 6000.1L.
Ayniyat No : 1/15
Kayıt No : 47727
UDC : 624. 378.242
Ek :



T.C.

45502

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATI ATIK DEPO YERLERİNDE OLUŞAN SIZINTI SUYU
KİRLETİCİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE
BUNLARIN ZAMANLA DEĞİŞİMİNİ İFADE EDEN
MATEMATİKSEL MODELLERİN ARAŞTIRILMASI



DOKTORA TEZİ

YÜK.MÜH. M. TALHA GÖNÜLLÜ

İSTANBUL 1987



Bu çalışmayı yöneten ve tezin her safhasında yakın ilgilerini gördüğüm sayın hocam Doç. Dr. Adem BAŞTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Bütün çalışma boyunca büyük teşvik ve ilgilerini gördüğüm hocalarım Prof. Dr. M. Halit GÖKNİL ve Doç. Dr. Veysel EROĞLU'na da teşekkürlerimi sunarım.

Kıymetli fikirlerinden faydalandığım muhterem hocalarım Prof.Dr. Ahmet SAMSUNLU, Prof.Dr.Yılmaz MUSLU ve Doç.Dr.Derin ORHON' na teşekkürlerimi arz ederim. Ayrıca, değerli fikir ve yardımlarından istifade ettiğim Doç.Dr.Aziz BENER, Doç.Dr.H.Ali SAN, Y.Doç.Dr.İzzet ÖZTÜRK ve Y.Doç.Dr.Mustafa ÖZTÜRK'e de teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	I
SUMMARY	II
SEMBOLLER	III
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM	
SIZINTI SULARININ TEŞEKKÜLÜ VE KONTROLÜ	2
1.1. Sızıntı Sularının Teşekkülü	2
1.2. Sızıntı Sularının Kontrolü	5
2. BÖLÜM	
SIZINTI SUYU KİRLETİCİ ÖZELLİKLERİNİ BELİRLEME İLE İLGİLİ MODELLEME ÇALIŞMALARI	7
2.1. Genel	7
2.2. Kirletici Özelliklerini Belirlemek İçin Yapılmış Fiziksel Modelleme Çalışmaları	8
2.3. Kirletici Özelliklerin Belirlenmesi İle İlgili Olarak Yapılmış Matematiksel Modelleme Çalışmaları	14
3. BÖLÜM	
SIZINTI SUYU KİRLETİCİ ÖZELLİKLERİNİN ZAMANLA DEĞİŞİMİNİN BELİRLENMESİ İÇİN MATEMATİKSEL MODELLERİN GELİŞTİRİLMESİ	23
3.1. Matematiksel Modellerin Geliştirilmesi	23
3.1.1. Kolay Çözünen İnorganik Katı Atık Bileşenlerinin Sızması İle İlgili Olarak Bir Matematiksel Modelin Geliştirilmesi	25
3.1.2. Su İlâvesi Devam Ettikçe Sudaki Çözünmesi Devam Eden İnorganik Katı Atık Bileşenlerinin Sızması İle İlgili Olarak Bir Matematiksel Modelin Geliştirilmesi	26



3.1.3. Suda Kolay Çözünen Organik Katı Atık Bileşenlerinin Sızması İle İlgili Olarak Bir Matematiksel Modelin Geliştirilmesi	30
3.1.4. Su İlâvesi Devam Ettikçe Sudaki Çözünmesi Devam Eden Organik Katı Atık Bileşenlerinin Sızması İle İlgili Olarak Bir Matematiksel Modelin Geliştirilmesi	32
4. BÖLÜM	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
4.1. Materyal Ve Metotlar	33
4.1.1. Deney Tesislerinin Hazırlanması	33
4.1.2. Katı Atıkların Suyu Doyurulması Ve Günlük Su İlâvelerinin Yapılması	36
4.1.3. Geliştirilen Modellerle İlgili Olan Kirletici Parametrelere Ait Değerlerin Belirlenmesi İçin Yapılan Çalışmalar	37
4.2. Elde Edilen Deney Sonuçları	37
5. BÖLÜM	
GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELLERİN TATBİKİ VE LABORATUARDA YÜRÜTÜLEN DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI İLE MUKAYESESİ	47
5.1. Geliştirilen Matematiksel Modellere Ait Parametrelerin Belirlenmesi	47
5.1.1. Katı Atık Karışımlarına Ait Rutubete Doyma Kapasitesinin(θ_f) Belirlenmesi	47
5.1.2. Kolonlardaki Ortalama Rutubet Bekleme Süresinin(T_{ort}) Belirlenmesi	48
5.1.3. Kütle Transferi Hızının(R) Belirlenmesi	49
5.1.4. Biyolojik Bozunma Kinetik Parametrelerinin Belirlenmesi	51
5.2. Matematiksel Modellerin Deneysel Sonuçlarla Mukayesesinde Kullanılan İstatistikî Analiz Yöntemleri	52



5.3. Geliştirilen Matematiksel Modellerin Uygulanması Ve Deneysel Çalışmalarla Mukayesesinden Elde Edilen Sonuçlar	52
5.3.1. Suda Kolay Çözünen İnorganik Bileşikler İçin Geliştirilen Matematiksel Modelin Uygulanması Ve Deneysel Çalışma Sonuçları İle Mukayesesi	52
5.3.2. Su İlâvesi İle Çözünmesi Devam Eden İnorganik Bileşikler İçin Geliştirilen Matematiksel Modelin Uygulanması Ve Deneysel Çalışma Sonuçları İle Mukayesesi	60
5.3.3. Suda Kolay Çözünen Organik Bileşikler İçin Geliştirilen Modelin Uygulanması	70
5.3.4. Su İlâvesi İle Çözünmeye Devam Eden Organik Katı Atık Bileşenleri İçin Geliştirilen Matematiksel Modelin Uygulanması Ve Deneysel Çalışma Sonuçları İle Mukayesesi	71
6. BÖLÜM	
SONUÇLAR	74
EKLER	77
REFERANSLAR	84
HAL TERCÜMESİ	



ÖZET

Bu çalışmada, katı atık depolarından sızan suların kirletici özelliklerinin depo yaşı ile değişimi, deneysel ve teorik olarak tesbit edilmeye çalışılmıştır.

Birinci bölümde, katı atık depo yerlerinde sızıntı suyu teşekkülü, miktarı ve bunların değişkenliği, çevrede ortaya çıkan problemler, depo yerinde alınması lüzumlu kontrol tedbirleri ve uygun tasfiye alternatiflerinden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde, sızıntı suyu kirletici özelliklerinin zamanla değişiminin tesbiti için yapılmış fiziksel ve matematiksel modelleme çalışmaları araştırılmıştır.

Üçüncü bölümde, sızıntı suyu kirletici özelliklerinin, depo yaşı ve mevsimlik yağış farklılıkları sebebi ile değişimini tesbit etmek üzere depoya girecek suda kolay çözünüp, çözünmeme halleri için inorganik ve organik katı atık bileşenlerinin sızmasını belirlemeye yarayacak farklı matematiksel modeller geliştirilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde, laboratuarda iki adet deney tesisi kurulmuş ve geliştirilen matematiksel modellerle ilgili bir çok kirletici parametrelere ait değerler uygun deney teknikleri ile belirlenmiştir. Deney neticeleri, şekil ve tablolar halinde sunulmuştur.

Beşinci bölümde ise, geliştirilen modellerin deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla uyumluluğu istatistikî metotlarla belirlenmiştir.

Altıncı bölümde, bu çalışmada elde edilen sonuçlar özet halinde verilmiştir.



SUMMARY

In this study, the variation of landfill leachates composition and the fill age have been studied both experimentally and theoretically.

In the first chapter, the production of leachate from landfill sites, the quality and quantity of landfill leachates, their variations and effects in the environment, control measures to have to be taken in landfill areas, and appropriate treatment methods have been explained.

In the second chapter, previous experimental and theoretical studies on the variation of leachate composition with time have been summarized.

In the third chapter, different mathematical models dealing with both inorganic and organic components of leachable solid wastes with different solubility rates have been developed to determine the variation of leachate composition due to fill age and the seasonal precipitation differences.

In the fourth chapter, the experimental results obtained from two lab-scale experimental plants set up to monitor the pollutant parameters to be used in mathematical models have been presented in various figures and tables.

In the fifth chapter, the experimental results and simulated results obtained from mathematical models have been compared, and the goodness of fit of the models have been statistically tested.

The last chapter, summarizes the main findings of thesis.



SEMBOLLER

a, b	: Katsayılar
C^x	: En çok karşılaşılan konsantrasyon, mg/l
C_i	: Giriş konsantrasyonu, mg/l
C	: Çıkış konsantrasyonu, mg/l
C_{max}	: Maksimum kirletici konsantrasyonu, mg/l
C_0	: Başlangıç konsantrasyonu, mg/l
$D(\theta)$	: Rutubet Diffüzivitesi
f_e	: Katı atık porozitesi
$G(t)$	: Kümülatif yağış miktarı ile ilgili bir ifade
H	: Sabit
J	: Sabit
J'	: Birleştirilmiş diffüzyon-dispersiyon akısı, $mg/m^2 gün$
k	: Kütle transferi hız katsayısı, $gün^{-1}$
k_d	: Endojen ölme hızı, $gün^{-1}$
K	: İntegrasyon sabiti
$K(\theta)$	: Doymamışlık rutubet iletkenliği
K_s	: Yarı doyumluk sabiti, mg/l
q	: Dikey rutubet akısı
Q_i	: Giriş debisi
Q	: Çıkış debisi
Q_{ort}	: Yıllık ortalama debi
r	: Rutubet kaybı
R	: Kirletici üretim hızı, mg/l gün
R'	: Substrat kullanma hızı, mg/l gün
R''	: Mikroorganizma çoğalma hızı, mg/l gün
$S(t)$	: T anında sızabilir katı madde miktarı, kg
S_0	: Başlangıçtaki sızabilir katı madde miktarı, kg
t	: Zaman, gün
T_{ort}	: Kolonda ortalama rutubet bekleme müddeti, gün
v	: Katı atık kütlesi hacmi(Qasim), cm su
V'	: Kütleyi doyurmak için gerekli su miktarı(Qasim), cm su
V	: Kolon hacmi, m^3
X	: Mikroorganizma konsantrasyonu, mg/l



GİRİŞ

Sürekli artan sosyal refah arzusu, insanoğlunun bir arada toplanıp, yeni teknikler geliştirmelerini gerektirmiş, buna bağlı olarak da çevreye verilen atıkların cinsi, miktarı ve yoğunlukları artmıştır. Tabiatla insan eli ile yapılan bu kirlenme, insanoğlunun yaşamını doğrudan ve dolaylı olarak zorlaştırır hale gelince, kirletici kaynakları kontrol altına alma ve kirliliği gidermek için hal çareleri aranmaya başlanmıştır.

Dünyamızı kirleten atıklar gaz, sıvı ve katı formlarda bulunmaktadır. Çevre için çok değişik zararları olan bu fiziksel atık formlarının her biri için çok yoğun kontrol ve berteraf etme çalışmaları gerekmektedir.

Çevre mühendisliği terminolojisinde çeşitli kaynaklarda oluşan çöpler ve atıksu tasfiye tesislerinde meydana gelen arıtma çamurları "katı atık" olarak mütalaa edilmektedir. Katı atıkların berterafı için depolama, ısıtma işlemlere tabi tutma, kompost yapma ve tekrar kullanılabilir maddeleri kazanma gibi teknolojiler tatbik edilmektedir. Depolama tekniği ekonomik ve kolay uygulanır oluşu sebebiyle en çok tatbik edilen bir metottur. Hatta; diğer teknolojiler uygulanırken teşekkül eden kül v.s. gibi bir takım atıkların nihaî berterafı için de depolama zorunlu olarak gerekmektedir.

Genelde atıkları zararsız hale getirmek için yapılan kontrol ve berteraf etme faaliyetleri esnasında kaçınılmaz olarak değişik formlarda atıkların tezahür etmekte olduğu ve bunların da çevre için çok önemli boyutlarda potansiyel zararlar doğurabildikleri görülmüştür. Katı atıkların boş ve çukur yerlerde depolanması ile de depoda, çevre için birçok zararları sözkonusu olabilen gaz ve sıvı atıkların teşekkül ettiği görülmüştür.

Bu çalışmada, laboratuvar ölçeğinde kurulan iki adet deney tesisinde, depo yerlerinden teşekkül eden sızıntı sularında bulunan organik ve inorganik kirletici maddelerin, depo yaşına bağlı olarak değişimi belirlenmiş ve bu değişimleri ifade eden matematiksel modeller geliştirilmiştir.

1. BÖLÜM



teratürde KOİ için 750 000 mg/l ve BOİ için 720 000 mg/l gibi çok yüksek konsantrasyonlara tesadüf edilebilmektedir(4). Tablo 1.1'deki değerlerden, mukayese ile, sızıntı sularının evsel atıksulardan takriben 100 misli daha fazla kirletici özellikte olabildiği görülmektedir.

Tablo 1.1 Sızıntı suyu kirletici özellikleri(2, 3).

Parametre	Birim	Genel Aralık	Tipik Değer
BOİ ₅	mg/l	2000-30000	10000
TOK	mg/l	1500-20000	6000
KOİ	mg/l	3000-45000	18000
T. Süspansiyon M.	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
T. Fosfor	mg/l	1-70	30
O. Fosfat Fosforu	mg/l	1-50	20
Alkalinite, CaCO ₃	mg/l	1000-10000	3000
pH	-	5.3-8.5	6.0
T. Sertlik, CaCO ₃	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
Klorür	mg/l	100-3000	500
Sülfat	mg/l	100-1500	300
T. Demir	mg/l	50-600	60
Toksisite, 96 saat	%v/v	100-0.062	5

Teşekkül eden sızıntı suyunun miktarına ve kompozisyonuna, bölgenin iklim ve topoğrafyası, toprak cinsi, depo yeri hidrojeolojisi, depo üstünde toprak örtü kullanılması ve bu toprağın cinsi, depolanan katı atıkların cinsi, öğütme ve sıkıştırmanın uygulanması v.s. gibi bir çok faktör tesirli olmaktadır(5). Meselâ; yıllık yağış miktarı 750 mm civarında olan Orta Avrupa Ülkelerinde, % 100 infiltrasyon kabulü ile takriben 20 m³/ha-gün

sızıntı suyu üretimi beklenir iken, alınan muhtelif kontrol tedbirleri ile bu miktar 0.4 ilâ 10.6 m³/ha-gün seviyesine indirilebilmiştir(6, 7).

Tablo 1.1'den çok büyük seyrelmelerde dahi sızıntı sularının yüzeysel sulardaki canlılar için toksisite doğurabileceği görülmektedir. Sızıntı sularının yüzeysel sulara karışması halinde, bu kaynaklardan içme suyu temini zorlaştırmakta ve ilâve arıtmalar gerekmektedir. Üstelik ilâve arıtma yapılmasına rağmen, yine de tat ve koku şikâyetleri olmaktadır(8). Ayrıca; su ortamının estetik görüntüsü bozulmakta, tarımsal ve endüstriyel kullanımlar sınırlandırılmakta ve hayvan sağlığı tehdit edilmektedir(9).

Suya doymuş katı atık kütlesinden sızan suların yeraltısularına karışması yeraltısuyu derinliği, yeraltısuyu akım hızı ve yeraltısuyundaki mevsimlik seviye değişimleri, katı atık kütlesi altındaki toprak cinsi ve permeabilitesi gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Eğer; toprak, permeabilitesi yüksek olan çakıl veya iri kumdan ibaretse sızıntı suyu toprak içinde dikey olarak hareket edip yeraltısularına karışmaktadır. Yağışın fazla düştüğü yani su miktarının arttığı zamanlarda ve toprak cinsinin düşük permeabiliteli kil veya silt türünden olması halinde sızıntı suları yatay harekete doğru zorlanabilmekte ve yüzeye çıkabilmektedirler(10).

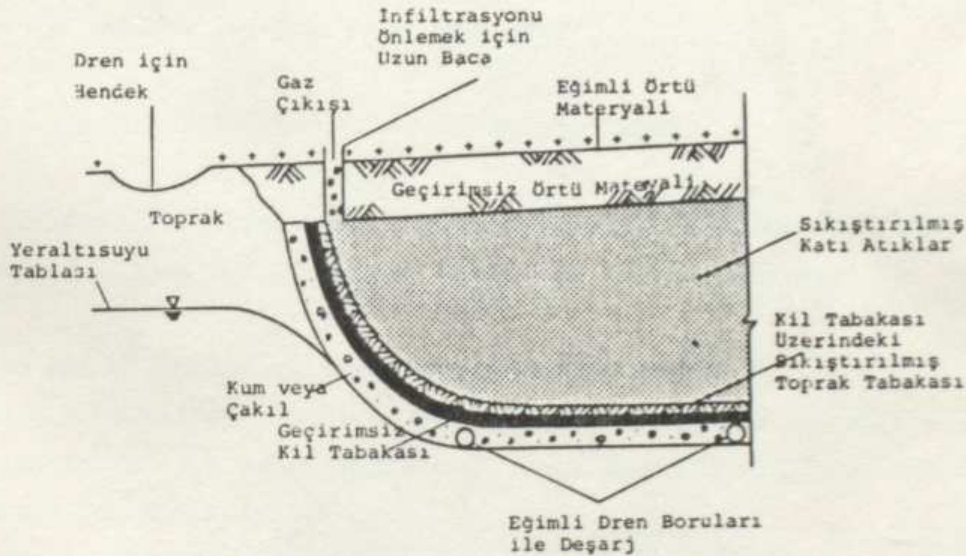
Yeraltısuyu üzerindeki toprak tabakasının sızıntı suyundaki kirletici maddeleri tutabilme özelliği de vardır. Zeminin granülometresi, katyon değiştirme kapasitesi(CEC), pH ve sızıntı suyunun miktarı(zemindeki bekleme müddeti) gibi faktörler kirletici maddelerin adsorbsiyonunda önemli rol oynarlar(10). Zeminin partikül boyutu küçüldükçe organik ve inorganik kirletici maddelerin kolay tutulduğu görülmüştür. Kil gibi CEC değeri yüksek (30 meq/100gr) (4) toprak türleri Cu, Pb, Zn ve Fe gibi ağır metalleri ve NH₄⁺, Mg⁺⁺, K⁺ ve Na⁺ gibi katyonları büyük ölçüde tutarlarken, BO₃⁻, KO₃⁻, NO₃⁻, Cl⁻ ve SO₄⁼ gibi kirletici maddelerin tutulmasında pek etkili olmamaktadırlar(11, 12). Zeminden geçen suyun bekleme süresi azaldıkça da adsorbsiyonda azalma olmaktadır(10). Sızıntı sularının alkali pH'da olması halinde, metallerin tamamen tutulabildiği görülmüş, fakat bu durumun zemin gözeneklerini tıkaması sebebi ile, en iyi verimin nötral pH'da elde edilebileceği tesbit edilmiştir. Fakat, her halükârda, belli bir süre sonra zeminin kirletici maddeleri adsorblayıcı ömrü dolmak-

ta ve artık kirletici maddeler tutulamamaktadır.

Sızıntı suları yeraltısuyuna karıştıklarında, kirletici maddeler yeraltısuyu akımı yönünde, yeraltısuyu akım hızına bağlı olarak dispersiyon, biyolojik bozunma ve adsorbsiyon tesirleri altında artan mesafe ile giderek seyrelmektedirler(10).

1.2. SIZINTI SULARININ KONTROLÜ

Sızıntı sularını yüzeysel ve yeraltı sularından tecrit etmek ve teşekkül eden sızıntı suyu miktarını azaltmak için uygulanan teknikler Şekil 1.2'de görülmektedir(2). Uygulanan bu faaliyetler ile, oluşan sızıntı suları çevreye zarar vermeden toplanıp, uzaklaştırılabilmektedir.



Şekil 1.2 Bir düzenli depoya ait kesit

Sızıntı sularının depo üzerine tekrar püskürtülerek verilmesi sırasında meydana gelecek evapotranspirasyon ve biyolojik bozunmalarla sızıntı suyu miktarı ve konsantrasyonunun düşürülebileceği birçok araştırmacı tarafından iddia edilmiştir(13, 14, 15).

Sızıntı sularını zararsız hale getirmek ve alıcı ortamlara verilme-
lerini temin etmek için, evsel ve endüstriyel atıksuların tasfiyesinde
kullanılan klasik metotlar üzerinde bir hayli deneysel çalışmalar ya-
pılmıştır(16, 17, 18, 19, 20). Bu çalışmalarda; biyolojik arıtma metot-
larının organik madde gideriminde çok başarılı olduğu, fizikokimyasal
metotların organik madde giderimi yapamadıkları, ancak, tamamlayıcı bir
arıtma kademesi olarak kullanılabilecekleri ve sızıntı sularının bir
tasfiye işlemine tabi tutulmadan araziye uygulanıp, uygulanamayacağı
hususunda tereddütler olduğu ifade edilmiştir.



2. BÖLÜM

2. SIZINTI SUYU KİRLETİCİ ÖZELLİKLERİNİ BELİRLEME İLE İLGİLİ MODELLEME ÇALIŞMALARI

2.1. GENEL

Katı atık depo yerlerinin çevreye zarar vermeden yönetilebilmesi için, depoda meydana gelebilecek çevreye zarar verici unsurların davranışlarının iyice analiz edilmiş olması gerekmektedir. Literatürde:

- Depoda gaz teşekkülü,
- Depoda sızıntı suyu teşekkülü ve
- Depoda zamanla meydana gelen çökmeler

hususlarında incelemelerin yapıldığı görülmüştür.

Yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarında doğabilecek zararları önceden tahmin edebilmek için, sızıntı suları ile ilgili olarak:

- Depo içi hidroliği ve sızıntı sularının teşekkülü,
- Sızıntı sularının kirletici özellikleri ve değişme durumları,
- Sızıntı suyu toplama sistemlerinin teşkili ve depo altına serilen geçirimsiz tabakanın fonksiyonu,
- Sızıntı sularının zeminden geçerkenki davranışları ve
- Yeraltı suyuyla karışan sızıntı sularının davranışı

gibi birçok konuların araştırılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu konuların tam anlamıyla tahmin edilebilmesi ve çözüm sağlanabilmesi için, modelleme çalışmaları gerekmektedir. Modelleme çalışmaları, laboratuarda fiziksel modeller kurup, bunlardan elde edilen deneysel sonuçları geliştirilmiş matematiksel modellerle mukayese ederek yürütülmektedir.



Sızıntı sularının kirletici özelliklerinin bilinmesi, uygun arıtma sistemlerine karar verilebilmesi ve çevrede doğurabileceği zararların tam tahmin edilebilmesi bakımlarından önemlidir. Kirletici özelliklerin bilinmesi ile, sızıntı sularının karışabileceği ortamlarda meydana gelebilecek olaylar hakkında fikirler ileri sürülebilir.

2.2. KIRLETİCİ ÖZELLİKLERİNİ BELİRLEMEK İÇİN YAPILMIŞ FİZİKSEL MODELLEME ÇALIŞMALARI

Laboratuarda yürütülen fiziksel modelleme ile sızıntı suyu karakterizasyon çalışmaları, genellikle, 0.2-1.8 m çapında ve 0.4-6.0 m yüksekliğinde olan ve içine sıkıştırılmış katı atıkların konulduğu pleksiglass, beton ve çelik malzemeden kolonlarda yapılmışlardır. Bu çalışmalar esnasında depo içinde gaz oluşumu, çökme olayları v.s. de araştırılmıştır.

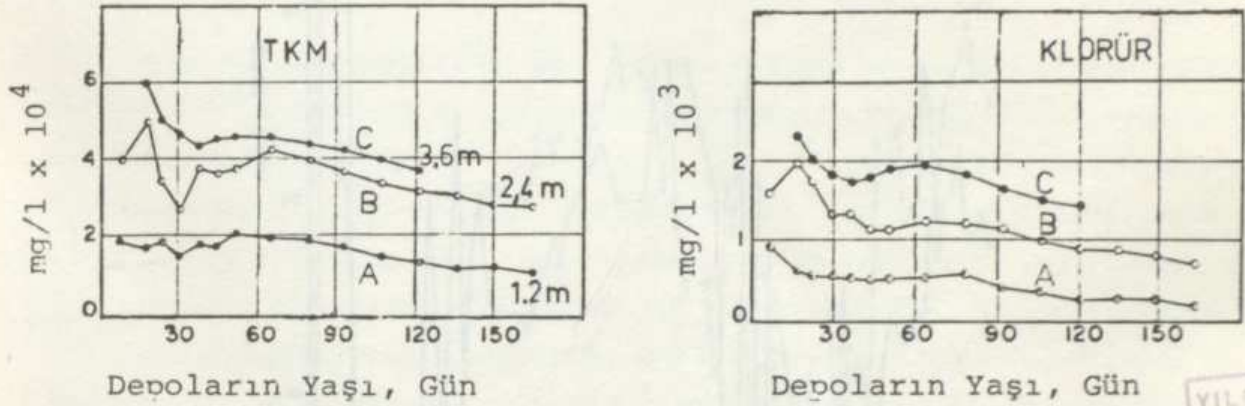
Deney tesislerine su uygulamaları, sunî ve tabiî olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Sunî su uygulamaları, üzeri açık veya kapalı kolonlarda tatbik edilmektedir.

Çalışmalarda katı atıklarla beraber arıtma çamurları, fosseptik çamurları v.s. gibi maddeler de karıştırılmış ve tesirleri incelenmiştir. Kullanılan katı atıkların bileşimlerinin ve uygulanan sıkıştırma oranının her çalışmada farklı oluşu da elde edilen sonuçların farklı, fakat, katı atıkların davranışları hakkında fikirler edinebilme imkânı vermesi bakımından faydalı olmuştur.

Sızıntı suyu kirletici özelliklerini tahmin için, depolarda meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik bütün etkileri ifade eden girift ve daha gerçekçi matematik modeller geliştirilirken, depolarda meydana gelen olayların iyi anlaşılmasına ihtiyaç vardır. Bu bakımdan, fiziksel modelleme çalışmalarında elde edilen bütün bulgular, yapılacak matematiksel tahmin çalışmalarına yön vereceğinden büyük önemi haizdirler.

Laboratuarda benzetilmiş depo çalışmalarının ilki Qasim ve Burchinal(21) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, 0.90 m çapında ve 1.20, 2.40 ve 3.60 m yüksekliğinde üç kolona benzer özellikte yaz mevsimi katı

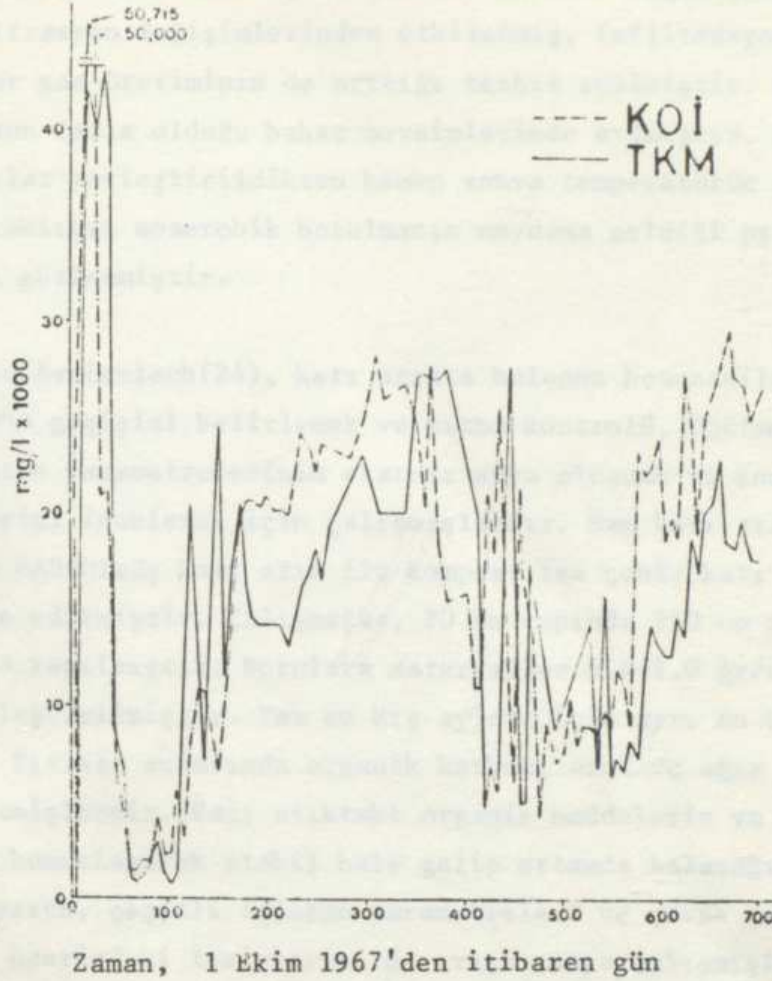
atıkları $345-370 \text{ kg/m}^3$ kuru yoğunlukta olacak şekilde yerleştirilmiş, yükseklik farkının sızıntı suyu oluşumu ve kirletici özelliğindeki etkisi araştırılmıştır. Kolonlara uygulanan yağış, sıcaklık v.s. çevre şartları aynı olduğundan, kolon derinliği arttıkça kirletici konsantrasyonların arttığı görülmüştür. Şekil 2.1'den, Toplam Katı Madde ve Klorürün kolon yüksekliğine bağlı olarak değişimi görülmektedir. Kolon yükseklik-



Şekil 2.1 Toplam Katı Madde ve Klorür konsantrasyonlarının depo yüksekliğine bağlı olarak değişimi(21).

lerindeki farklılıkların ise, oluşan sızıntı suyu miktarına tesirli olmadığı tesbit edilmiştir.

Fungaroli ve Steiner(22) ise 4.0 m yüksekliğindeki bir tankın içine laboratuvarda belli bir bileşime uyarak hazırlanan(kuru olarak yoğunluğu 225 kg/m^3) katı atıkları yerleştirmiş ve sızıntı suyu oluşumunu ve kirletici özelliklerini incelemişlerdir. Depodaki anaerobikleşmenin seyrini tesbit etmek için, farklı derinliklerdeki gaz bileşimleri ve sıcaklık değişimleri de ölçülmüştür. Depoda su ilâvesi yapılmaya başlandıktan takriben 200 gün sonra, sızıntı suyu görülebilmektedir. Su uygulamaları mevsimlik yağış ve buharlaşma durumlarına göre yapıldığı için, kirletici konsantrasyonlarında mevsimlik şartların etkili olduğu görülmüştür. Şekil 2.2, Toplam Katı Madde ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı konsantrasyonlarının mevsimlik şartlardan etkilenecek değişmesini göstermektedir. Temperatur ölçümlerinde ise ilk hafta içinde sıcaklığın hızlı yükselip(68°C) ve zamanla yavaş yavaş düştüğü tesbit edilmiştir. Tempera-



Şekil 2.2 Mevsimlik yağış farklılıklarının, Toplam Katı Madde ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı konsantrasyonları üzerindeki etkisi(22).

tür ve gaz ölçümlerinden, anaerobik şartların takriben 4 ay sonra hakim hale geldiği çıkarılmıştır. Anaerobik şartlar önce kolonun alt ve orta kısımlarında oluşmuştur.

Rovers ve Farquhar(23), yaptıkları çalışmada mevsimlere göre değişen infiltrasyon hızının, sızıntı suyu üretimi ve kompozisyonu, gaz üretimi, temperatur değişimi ve depoda meydana gelen çökmeler üzerindeki tesirlerini araştırmışlardır. İnfiltrasyon hızının düşük olduğu mevsimlerde pH ve alkalinite haricinde bütün kirletici parametreler için yükselme eğilimleri elde edilmiştir. Yaş yoğunlukları $530-570 \text{ kg/m}^3$ arasında olan, 1.85-3.25 m yüksekliğindeki üç kolonda rutubet oranı % 50-62

olan katı atıkları doyurmak için, 100-140 mm/m su uygulanmıştır. Gaz üretimi infiltrasyon değişimlerinden etkilenmiş, infiltrasyonun fazla olduğu zamanlar gaz üretiminin de arttığı tesbit edilmiştir. Çökme olayı da infiltrasyonun fazla olduğu bahar mevsimlerinde artmıştır. Bu çalışmada da katı atıklar yerleştirildikten hemen sonra sıcaklığın arttığı ve daha sonra sıcaklığın anaerobik bozulmanın meydana geldiği psikrofilik bölgede kaldığı gözlenmiştir.

Raveh ve Avnimelech(24), katı atıkta bulunan bozunabilir maddelerin sızıntı suyuna geçişini belirlemek ve sızma kontrolü, öğütme ve sıkıştırma gibi işletme parametrelerinin sızıntı suyu oluşumu ve konsantrasyonlarına tesirlerini incelemek için çalışmışlardır. Ham katı atık şehirden toplanmış ve öğütülmüş katı atık ile kompost ise şehir katı atık tesislerinden elde edilmiştir. Çalışmalar, 20 cm çapında 250 cm yüksekliğinde PVC borularda yapılmıştır. Borulara materyaller 0.4-1.0 gr/cm³ yağ yoğunluklarında yerleştirilmiştir. Yaz ve kış ayları için ayrı su uygulamaları yapılmıştır. Sızıntı sularında organik karbon, azot ve ağır metal yüklerini takip etmişlerdir. Katı atıktaki organik maddelerin ya su ile çözüleceği ya da humuslaşarak stabil hale gelip ortamda kalacağını ileri sürmüşlerdir. Ayrıca, çeşitli işletme parametreleri ve çevre şartlarının bu reaksiyonlar üzerindeki tesirlerini de araştırmaya çalışmışlardır. Fazla sıkıştırılmamış ve öğütülmemiş katı atık kolonlarında, nisbeten mevcut olan aerobik ortam ve dolayısıyla asidikleşmenin olmaması sebebiyle humuslaşmanın meydana geldiğini deneylerle tespit etmişlerdir. Sıkıştırma ve öğütmenin uygulanması halinde, ortam anaerobik ve asidik olduğundan çözülme reaksiyonu tesirli olmuştur. Kompost ile yapılan tecrübeler, sonuçların öğütülmüş katı atık sonuçlarına benzediğini göstermiştir.

Cameron ve arkadaşları(25, 26), çapı 30 cm ve yüksekliği 38 ilâ 114 cm olan 10 adet PVC boruya katı atıklarla birlikte değişik oranlarda fosseptik çamurları karıştırarak; bu oranların ve yıllık yağış miktarları 381 ve 1143 mm değerlerinin sızıntı suyu kirletici konsantrasyonları ve oluşan gaz miktarları ve bileşimleri üzerindeki tesirlerini araştırmışlardır. Katı atık yüksekliğinin tesirleri üzerinde de çalışılmıştır. Yağışlar fazla iken, pik konsantrasyonların seyrelme tesiri ile düştüğü ve biyolojik aktivitenin de azaldığı görülmüştür. Septik çukur çamurlarının

ilâvesi ile gaz teşekkülünde artış olduğu belirlenmiştir. Yağışların artışı ile gaz ve metan teşekkülünde azalma da gözlenmiştir. Yağışların artması ile oluşan yüzeydeki aerobik bölgede, amonyağın nitrata dönüşüp, daha derindeki anaerobik bölgelerde denitrifiye olduğu tesbit edilmiştir. Katı atık yüksekliğinin tesirini belirlemek için yapılan çalışmalarda, araştırma süresinin yeterince uzun olmayışı nedeniyle katı atık yüksekliğinin tesiri belirlenememiştir.

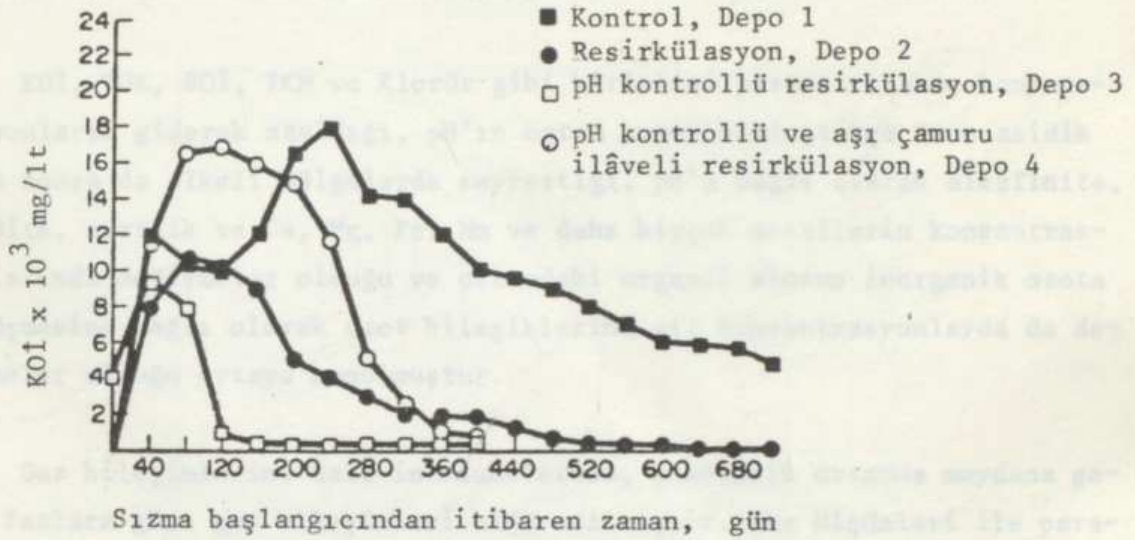
Bookter ve Ham(27) ise, değişik bir çalışma yapıp, depolardaki uzun süreli bozunmayı tesbit etmek için, katı atıktaki selülozun lignine dönüşümünü deneysel çalışmalarla araştırmışlardır. Bunun için 0, 1, 6 ve 9 yaşındaki katı atıklar depo yeri ve test lizimetrelerinden elde edilerek incelenmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildikten sonra gerçek depo yerlerinde yapılan incelemelerle mukayeseler yapılmıştır. Aynı araştırmacılar diğer bir çalışmalarında(28), 8 adet benzetilmiş depoda, sızıntı suyu ve gaz oluşumuna ve kompozisyonlarına katı atıkların öğütülmesi, örtülmesi ve yeniden katı atık ilâvesinin ne tesirlerde bulunabileceğini araştırmışlardır. 5 yaşındaki katı atıkların üzerine konulan yeni katı atıklardan gelebilecek KOİ'nin % 75'inin eski katı atık tarafından tutulduğunu deneylerle göstermişlerdir.

Collins ve Spillman(29), çapı 5 m ve yükseklikleri 5-6 m olan 10 adet lizimetre teşkil ederek, bunlara 2 m yüksekliğinde tabakalar halinde katı atık, arıtma çamurları ve kimyasal maddeleri karıştırarak yerleştirmişler ve sızıntı suyu oluşumunu araştırmışlardır.

Jackson ve arkadaşları(30), kolonlarla yapılan benzetmelerin dışına çıkıp, zararlı atıklar için belli ölçülerde kesikli ekstraksiyon deneylerinin belli bir hata payı ile faydalı olabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Depo yerinde sızıntı sularının tekrar yüzeye püskürtülmesi halinde meydana gelecek olayları anlamak için de bir çok deneysel benzetme çalışması yapılmıştır. Pohland ilk çalışmasında(13), 4 kolona öğütülmemiş katı atıkları koyup, bunlarda pH kontrolü ve başlangıçta ilâve edilen aşı çamurlarının tesirlerini incelemiştir. Bu çalışmasında sızıntı sularının

geri devredilmesinin katı atıkların stabilizasyonu bakımından faydalı olduğunu ve bu sırada pH'ı kontrol altında tutmanın ve aşı ilâve etmenin daha iyi sonuçlar vereceğini tesbit etmiştir(Şekil 2.3). Daha



Şekil 2.3 Geri devir ve additiflerin sızıntı suyu KOİ konsantrasyonuna tesiri(13).

sonra yaptığı bir çalışmada ise(14), üstü kapalı ve açık olan iki kolon-
da resirkülasyonu incelemiş ve kolonun kapalı olmasının kolonda anaero-
bikleşmeyi kolaylaştırması bakımından fayda verdiğini tesbit etmiştir.
Tittlebaum(15) ise, farklı olarak öğütülmüş katı atık ve besi maddeleri-
nin mevcudiyetinde stabilizasyonun nasıl değişeceğini belirlemeye çalış-
mıştır. Tittlebaum, çalışmalarında pH kontrolü ve aşı ilâvesinin gerek-
liliğini tesbit etmiş ve katı atıkların öğütülmesinin ve besi maddesi i-
lâve etmenin tekrar devretme sırasında depoda meydana gelen stabilizas-
yon reaksiyonlarına fazla bir etkide bulunamayacağı kanaatine varmıştır.

Yapılan bütün çalışmalarda, sızıntı suyu oluşumunun geciktiği, an-
cak, depodaki katı atıklar suya doyduktan sonra sızıntı sularının gözüük-
tüğü, bundan sonrada depoya giren su ile çıkan su miktarının hemen hemen
eşit olduğu tesbit edilmiştir.

Sızıntı sularında bulunan organik ve inorganik kirletici maddelerin
depo yaşıyla birlikte giderek azaldıkları, sızmanın başladığı zamana ya-

kın zamanlarda pik değerlerin meydana geldiği, mevsimlik yağış farklılıklarının konsantrasyon salınımlarına sebep olduğu, sızıntı sularının düşük konsantrasyonlara erişmesi için 20 seneden aşağı zaman geçmiyeceği hatta 40 sene civarında zaman gerekebileceği varılan ortak noktalardır.

KOİ, TOK, BOİ, TKM ve Klorür gibi kirletici parametrelerde konsantrasyonların giderek azaldığı, pH'ın ortam anaerobikleştikçe önce asidik daha sonra da alkali bölgelerde seyrettiği, pH'a bağlı olarak alkalinite, asidite, sertlik ve Ca, Mg, Fe, Mn ve daha birçok metallerin konsantrasyonlarında değişimler olduğu ve ortamdaki organik azotun inorganik azota dönüşmesine bağlı olarak azot bileşiklerine ait konsantrasyonlarda da değişimler olduğu ortaya konulmuştur.

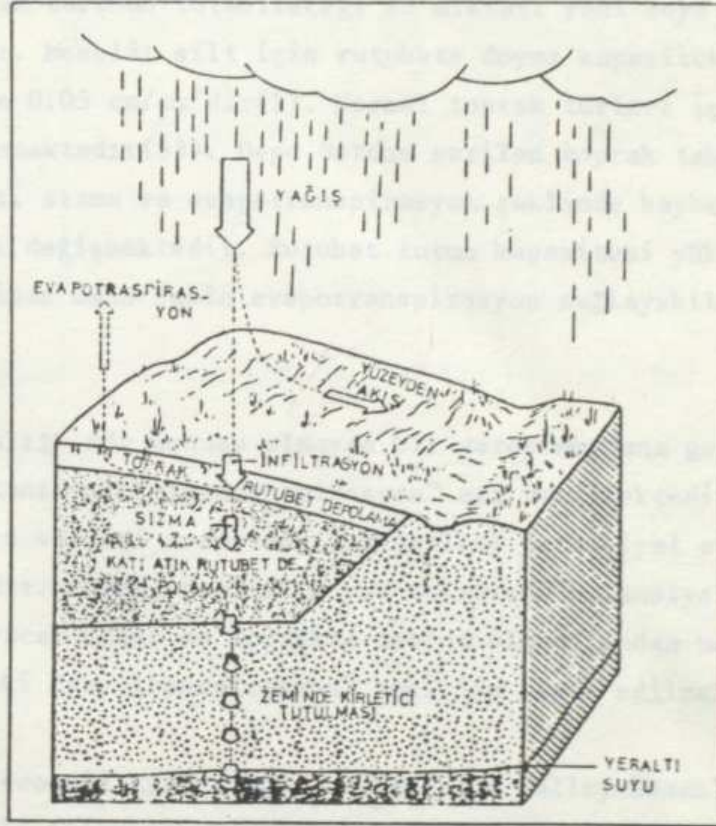
Gaz bileşimlerine dair incelemelerden, anaerobik ortamda meydana gelen fazlara göre gaz bileşimleri elde edilmiştir. Gaz ölçümleri ile paralel yürütülen temperatur ölçümlerinin, gaz ölçümlerini teyit eder şekilde neticeler verdiği belirlenmiştir.

2.3. KİRLETİCİ ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ İLE İLGİLİ OLARAK YAPILMIŞ MATEMATİKSEL MODELLEME ÇALIŞMALARI

Literatürden, sızıntı sularının su ortamlarını kirletebilme potansiyelini tahmin etmek için matematiksel ifadeler geliştirme çalışmalarının fiziksel modelleme çalışmalarına nisbetle çok az yapıldığı ve takriben 20 sene önce başlayan modelleme çalışmaları içinde ancak birkaç matematiksel modelleme çalışmasının bulunduğu görülmüştür. Depoda sızıntı suyu ve gaz oluşumunun nasıl meydana geldiğini inceleyen çalışmalar da yapılmıştır. Sızıntı suyu kirletici bileşenlerine ait konsantrasyonlar, depo hidroliği ve depoda meydana gelen reaksiyonların tamamından etkilenecek değişebilmektedirler. Sızıntı suyu kirletici özelliklerini iyi belirlebilmesi için depoda meydana gelen bütün olayların belirlenmiş olmasına da ihtiyaç vardır.

Teşekkül edecek sızıntı suyunun volumetrik değişimine dair ilk düşünceler, su kütlesine ait denge denklemlerinin kullanılabileceği şeklinde olmuştur(31, 32, 1). Bu metodda depoya su girişinin sadece yağışlarla

olacağı, yüzeysel ve yeraltı sularından depoya su girişi olmayacağı ve depodaki katı atık kütlesinin daha önceki senelerde doygunluk kapasitesine eriştiği kabul edilmektedir. Şekil 2.4'de tamamlanmış bir düzenli depoda su kütle bilânçosu parametreleri görülmektedir. Bu şekilde görü-



Şekil 2.4 Bir düzenli depoda su kütle bilânçosu komponentleri

len depo için kütle dengesi:

$$\text{Sızma} = (\text{Yağış}) - (\text{Yüzeyden Akış}) - (\text{Hakiki Evapotranspirasyon}) - (\text{Toprakta Tutulma}) \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Mevsim şartlarındaki değişimler senede bir devrettiği için, su kütle bilançosu hesaplarında bir senelik periyotlar esas alınmaktadır.

Yüzeyden akış parametresi, depo üzerine serilen toprak tabakanın cinsine, eğimine, depo üzerindeki bitki örtüsünün cinsine ve sıklığına bağlı olarak depo üzerine düşen yağışın akışa geçen kısmı olarak ifade edilmektedir.

Her toprak türünün tutabileceği su miktarı yani suya doyma kapasitesi farklıdır. Meselâ; silt için rutubete doyma kapasitesi 0.2 cm/cm iken, kum için 0.05 cm/cm'dir(1). Normal toprak türleri için bu değer 0.1 cm/cm alınmaktadır(33). Depo üstüne serilen toprak tabakasında tutulan su miktarı, sızma ve evapotranspirasyon şeklinde kaybedildiği için sürekli olarak değişmektedir. Rutubet tutma kapasitesi yüksek olan toprak türleri sayesinde daha fazla evapotranspirasyon sağlayabilmek mümkün olmaktadır.

Su noksanlığı söz konusu olmayan bir yerde meydana gelen evapotranspirasyona "Potansiyel Evapotranspirasyon" adı verilmektedir. Meteoroloji istasyonlarının verdiği evaporasyon değerleri potansiyel evapotranspirasyon değerleridir. Ancak, özellikle yaz aylarında potansiyel evapotranspirasyonu sağlayacak kadar su toprakta mevcut olmadığından meydana gelen kayıplar "Hakiki Evapotranspirasyon" şeklinde ifade edilmektedir(33).

A.B.D. Wisconsin eyaletinde bulunan Blue Valley Düzenli Deposu için yapılan su kütle bilançosu bir misal olarak Tablo 2.1'de verilmiştir(1). Bu depoda 15 cm kalınlığında toprak örtü kullanılmış ve yüzeyden akış katsayısı 0.065 olarak alınmıştır. Hesaplarda kar yağışları hesaba katılmamıştır.

Açık depoların üzerine düşen yağışların tamamı katı atık kütesine geçip, katı atıkları suya doyurduktan sonra depo altındaki zemine sızıntı suyu olarak geçmektedir. Salvato(5), açık depolarda yağışın % 100'ünün sızıntı suyuna dönüşebileceğini ifade etmiştir. Depoda katı atıkların doyması ile depoya giren ve çıkan su miktarları eşit hale gelmektedir. Katı atıkların suya doyması için gerekli rutubete doyma kapasitesi (θ_f , cm/cm) değerinin 0.40 cm/cm civarında olduğu ve yoğunluğa (ρ , gr/cm³) bağlı olarak:

$$\theta_f / \rho = 1.0 \text{ ilâ } 1.3 \text{ lt/kg}$$

(2.2)

Tablo 2.1 Blue Valley Düzenli Katı Atık Deposu için su kütle bilançosu(1).

Parametreler	A Y L A R												
	Oc.	Şu.	Ma.	Ni.	Ma.	Ha.	Te.	Ağ.	Ey.	Ek.	Ka.	Ar.	Yıllık
Ortalama Yağış	23	18	20	65	95	106	93	90	86	52	17	25	624
Yüzeyden Akış	B	B	2	5	6	6	6	5	6	3	1	B	40
İnfiltrasyon Olan Su	0	0	18	60	89	100	87	85	80	49	16	0	584
Başlangıç Toprak Rutubeti	27	27	27	27	27	27	27	0	0	11	27	27	
Toplam Mevcut Rutubet	27	27	45	87	116	127	114	85	80	60	43	27	
Potansiyel Evapotranspirasyon	0	0	0	28	64	99	117	102	69	30	0	0	509
Hakiki Evapotranspirasyon	0	0	0	28	64	99	114	85	69	30	0	0	489
Kalan Rutubet	27	27	45	59	52	28	0	0	11	30	43	27	
Sızma	0	0	18	32	25	1	0	0	0	3	16	0	95

Bütün değerler mm su seviyesi olarak verilmiştir.

B : Buzlanmayı göstermektedir.

şeklinde değiştiği tesbit edilmiştir(34).

Volumetrik sızıntı suyu değişimini tesbit etmek için, su kütle bilançosu metodundan başka, daha sonradan Straub ve Lynch(34) tarafından tam homojenize ve kısmen doymuş poroz bir ortam kabulüyle bir matematiksel model geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Straub ve Lynch tarafından geliştirilen bu model daha sonra başka araştırmacılar tarafından değişik şekillerde tatbik edilmiştir(35, 36, 37).

Straub ve Lynch'in ifade ettikleri matematiksel rutubet akım modeli:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial z} = - r$$

(2.3)

şeklindedir. Burada; θ : Volumetrik rutubet muhtevası(L/L),

t : Zaman(T),

Z : Uzunluk, aşağıya doğru pozitif(L).

q : Dikey rutubet akısı($L^3/L^2/T$) ve

r : Rutubet kaybı($L^3/L^3/T$)'nı göstermektedir. $K(\theta)$: Doymamışlık rutubet iletkenliği ve $D(\theta)$: Rutubet diffüzivitesi olmak üzere, dikey rutubet akısı:

$$q = K(\theta) - D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial Z} \quad (2.4)$$

ifadesinden, (2.3) denklemi:

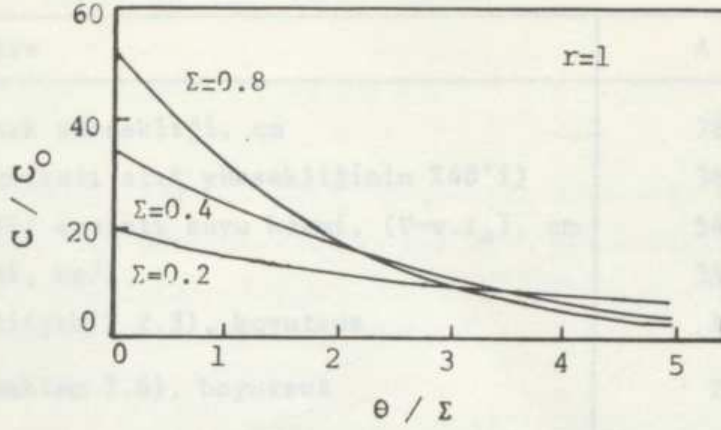
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{-\partial K(\theta)}{\partial Z} + \frac{\partial}{\partial Z} \left(D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial Z} \right) - r \quad (2.5)$$

şeklini almaktadır.

Sızıntı sularının kirletici özelliklerini matematiksel modelle ifade etmeye çalışan ilk araştırmacılar Qasim ve Burchinal(38)'dir. Bu araştırmacılar, Hiester(39)'in kütle transferi halleri için verdiği ampirik modeli 1.2, 2.4 ve 3.6 m yüksekliklerinde üç deneysel kolonda elde edilen klorür ve sonrada klorüre bağlı olarak 14 diğer kirletici parametre için tatbik etmişlerdir. C_0 : Doymunluk anındaki çözünmüş maddenin konsantrasyonu olmak üzere; r denge parametresi(boyutsuz), θ ve Σ sırayla solüsyonlar ve kolonlar için diffüzyonal hallerde kapasite parametreleri (boyutsuz)'ne bağlı olarak C/C_0 için matematiksel çözüm kullanılmıştır. Farklı r değerleri için boyutsuz C/C_0 ve θ/Σ parametreleri ile ifade edilen genel desorpsiyon eğrilerinden faydalanılmıştır. Şekil 2.5'de $r=1$ için Hiester ve Vermeulen tarafından verilen datadan elde edilen desorpsiyon eğrileri görülmektedir.

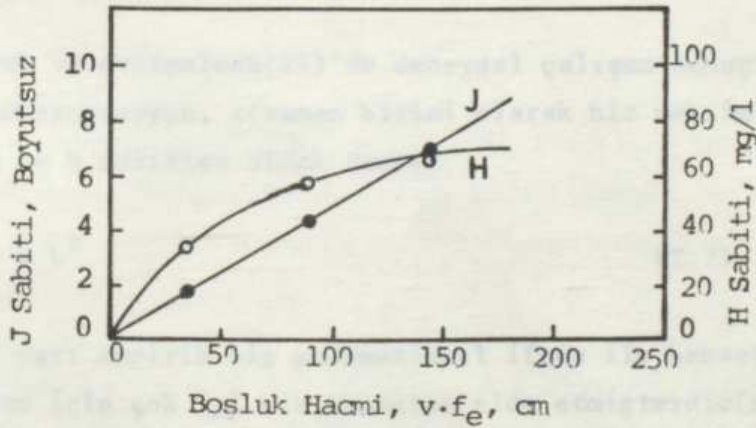
Qasim ve Burchinal, klorür konsantrasyonunu tahmin için;

$$\frac{\theta}{\Sigma} = J \cdot \frac{(V' - v \cdot f_e)}{v \cdot f_e} \quad (2.6)$$



Şekil 2.5 Genel Desorpsiyon Eğrileri(38).

denklemleri ve Şekil 2.6'dan da faydalanmışlardır. Tablo 2.2'de tahmini klorür değerinin bulunması için yapılan işlemler görülmektedir. Denklemlerde; J : boyutsuz bir sabiti, V' : kütleyi doyurmak için su miktarını(cm su eşdeğeri), v : katı atık kütlesi hacmini(cm) ve f_e : katı atıkta poroziteyi(boyutsuz) ifade etmektedir. Ayrıca, H 'da boyutsuz bir sabiti belirtmektedir.



Şekil 2.6 Üç kolondan elde edilen data ile klorür için çizilen J ve H değerleri(38).

Tablo 2.2 Kolonlarda 79. gün sızan numunedeki klorürün tahmini($\Sigma = 0.4$ ve $r = 1$ kabul)

Parametre	A	B	C
Katı atık yüksekliği, cm	78	192	303
$v.f_e$, cm(katı atık yüksekliğinin %48'i)	38	94	148
Kümülatif sızıntı suyu hacmi, $(V-v.f_e)$, cm	54	35	26
H sabiti, mg/l	35.2	58.9	68.0
J sabiti(Şekil 2.3), boyutsuz	1.9	4.5	7.2
$\frac{\theta}{\Sigma}$, (Denklem 2.6), boyutsuz	2.7	1.7	1.3
$\frac{C}{C_0}$, (Şekil 2.2), boyutsuz	13.4	19.4	22.2
Tahmini klorür konsantrasyonu, mg/l	472	1142	1510

Tabloda 79. gün için elde edilen tahmini klorür değerinin deneysel çalışma ile uyum gösterdiği ve diğer günler için de benzerliğin söz konusu olduğu tesbit edilmiştir. Diğer kirletici parametrelerin değişimini belirlemek için de klorüre bağlı olarak grafik yöntem geliştirilmiş ve bu yöntem için belli ölçülerde uyum görülebilmektedir. Fakat, bu çalışmada ampirik olarak elde edilmiş olan parametreler ancak aynı katı atık yükseklikleri, özellikleri ve rutubet uygulama akılarına cevap vermekle sınırlı kalmıştır.

Raveh ve Avnimelech(24)'de deneysel çalışma sonuçlarını; C (mgKarbon/l) konsantrasyon, t (zaman birimi olarak bir mevsim alınmıştır) zaman ve a ve b sabitler olmak üzere:

$$C = a.b^t \quad (2.7)$$

şeklinde yarı ampirik bir matematiksel ifade ile benzetmişlerdir. Organik karbon için çok iyi bir benzetme elde etmişlerdir($r = 0.99$). Diğer kirletici parametreler için de benzer şekilde benzetme yapılmış ve genelde belli ölçülerde iyi uyumlar gözlenebilmiştir. Ayrıca, Lu ve arkadaşları(37) da konsantrasyon değişimini ilk konsantrasyona bağımlı ola-

rak yine zamanın eksponansiyel bir fonksiyonu olduğunu; C_0 : başlangıçtaki konsantrasyon(mg/l), β : ampirik bir sabit(gün⁻¹) ve C : t anındaki kirletici konsantrasyonu olmak üzere:

$$C = C_0 \cdot \exp(-\beta t) \quad (2.8)$$

şeklinde ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalarda elde edilen model parametreleri deneysel gözlemlerle iyi bir uyum göstermişlerdir. Fakat, bunların ampirik tabiatlı oluşları bunların kullanılışlarını yine başka çalışmalarda sınırlı hale getirmektedir.

Sızıntı suyu bileşenlerinin üretimi ve taşınmasına dair bilinen en önemli matematiksel çalışma Straub ve Lynch(34, 40) tarafından yapılmıştır. İnorganik ve organik kirletici maddeler için ayrı modeller geliştirmişlerdir. Modelleri kurarken, kolonda rutubetin taşınımını esas alan matematiksel bağıntılar kullanılmış ve kolonun tam veya kısmen doymuşluğuna göre tek reaktör ve dikey olarak kaskatlı reaktör modelleri denenilen modeller geliştirilmiştir. Tek reaktör modelinde, inorganik çözülmüş kirletici madde kütle dengesi:

$$\frac{d}{dt}(CV_0) = C_i Q_i - CQ + VOR \quad (2.9)$$

şeklindedir. Bu denklemdeki terimler:

V : Reaktör Hacmi,

C_i, C : Reaktöre giriş ve çıkıştaki kirletici konsantrasyonları,

Q_i, Q : Reaktöre giren ve çıkan rutubet akısı ve

R : Rutubete katı atıktan kirletici maddenin geçiş hızını ifade etmektedirler.

Denklem 2.9, $R = 0$, $R = \text{sabit}$ ve $R = \text{değişken}$ halleri için literatürden elde edilen deneysel TKM datalarına uygulanmış ve $R = 0$ hali için uyum elde edilemezken, $R = \text{sabit}$ hali için iyi bir uyum elde edilmiştir. $R = \text{değişken}$ hali için ise, çok daha hassas ve daha uyumlu benzetme sonuçları elde edilmiştir. Tek reaktör modeli, KOİ olarak, orga-

nik madde kirletici özelliğini tesbit için de tatbik edilmiş ve deneysel datalarla belli parametre kabul değerleri ile uyum elde edilmiştir.

Öncelikle, Straub ve Lynch'in önerdiği "tek reaktör" modelinde, bazı değişkenlerin daha mantıklı ve uygun kabulü ile, daha uyumlu benzetme sonuçları elde edilebilir. Meselâ; Straub ve Lynch TKM için modelleme yaparken, C_0 başlangıç konsantrasyonu ile maksimum kirletici konsantrasyonu $C_{\max}$ 'ı eşit almışlardır. C_0 ile $C_{\max}$ 'ın farklı olarak alınması ile daha iyi benzetmeler elde edilebilmektedir. Bu tür modifikasyonlara olan ihtiyaçtan başka, ayrıca, daha önemlisi, Straub ve Lynch'in önerdiği modelin kirletici konsantrasyonlarının mevsimlik şartlara göre değişimini yansıtmadığı, ancak, sadece kirletici konsantrasyonlarının zamanla azalma eğilimini yansıttığı belirlenerek; tarafımızdan yapılan bu çalışmada, değişen mevsimlik şartlar sebebiyle katı atıktan sıvı filme transferle meydana gelen kirletici konsantrasyonlarındaki değişimleri daha iyi tesbit etmeye yarayacak matematiksel modeller geliştirilecektir. Ayrıca, TKM ve KOİ parametreleri haricinde başka kirletici parametreler için de modelleme imkânları araştırılacaktır.

Straub ve Lynch(34)'in geliştirdiği dikey kaskatlı reaktör modeli için daha önce verilen (2.3) denklemi kullanılarak, kirletici konsantrasyonunu belirlemek üzere:

$$\frac{\partial}{\partial t} (C\theta) + \frac{\partial}{\partial z} (C \cdot q) + \frac{\partial}{\partial z} J' = R \cdot \theta \quad (2.10)$$

matematiksel bağıntısı ortaya konulmuştur. Bu denklemde; J' : birleştirilmiş diffüzyon-dispersiyon akısı ($M/L^2/T$)'nı göstermektedir. Nonlineer tabiatlı (2.10) denklemi, matematiksel bağıntısı daha sonra Demetracopoulos ve arkadaşları(37) tarafından kullanılmış, farklı olarak, bu matematiksel bağıntı değişik bir nümerik şema ile icra edilmiş ve model parametreleri için sensivite analizleri yapılmıştır.



3. BÖLÜM

3. SIZINTI SUYU KİRLETİCİ ÖZELLİKLERİNİN ZAMANLA DEĞİŞİMİNİN BELİRLEN- LENMESİ İÇİN MATEMATİKSEL MODELLERİN GELİŞTİRİLMESİ

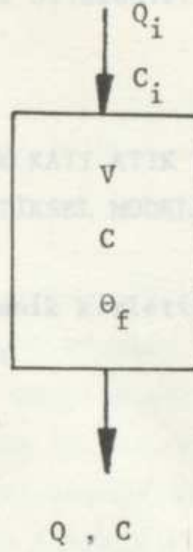
3.1. MATEMATİKSEL MODELLERİN GELİŞTİRİLMESİ

Matematiksel modelin geliştirilmesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır. Katı atıklar, V hacmindeki bir reaktör içinde üniform olarak dağılmıştır. Katı atık kütlesi içinde, hava boşluğu ve rutubet de bulunmaktadır. Katı atıkta tutulan rutubet ve bu rutubetin barındırdığı C kirletici konsantrasyonu reaktörün her tarafında üniformdur. 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, $\Theta(L/L)$ oranında rutubet ihtiva ederken, reaktöre rutubet girişi başladıktan sonra bu rutubet muhtevası giderek artmakta ve belli bir rutubet muhtevasına erişilince sızma şeklinde çıkış görülebilmektedir. Sızma başladıktan sonra depodaki rutubet muhtevası Θ_f değerinde sabit kalmaktadır. Bu sabit değere "Rutubet Tutma Kapasitesi" denilmektedir. Şekil 3.1'de temsili şekli görülen ve yukarda tanıtılan reaktörde rutubet küt-
le dengesi:

$$\frac{d}{dt} (V\Theta) = Q_i - Q \quad (3.1)$$

şeklinde kurulabilir.

Katı atıklarda mevcut olan sızabilir inorganik ve organik kirletici bileşenlerin farklı davranışda bulunacakları bilinmektedir. Meselâ; organik maddeler, inorganik maddelerden farklı olarak, reaktörde sızarken ortamdaki mikrobiyal faaliyetin tesirinde kalabilmektedirler. Katı atıklarda bulunan organik ve inorganik birçok maddelerin reaktör içinden geçen suya gerek çözünme ve gerekse taşınma ile intikalleri de farklı olabilir. Mesela; sudaki çözünürlükleri çok fazla olan inorganik ve organik



Şekil 3.1 Tek reaktör komponentleri

maddelerin sızma başlarken reaktördeki rutubette tamamen çözülecekleri ve daha sonradan rutubete intikallerin söz konusu olamayacağı düşünülebilir. 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 intikal edebilecekleri kabul edilebilir.

Katı atık kütlesi içinde sadece çözünme ve taşınma olayları vuku bulmaz katı atık içerisinde bulunan birçok bileşenler, reaktör içindeki şartlara göre biyokimyasal ve kimyasal dönüşümlerle değişik formlar alabilmektedirler. Her katı atık bileşeni için söz konusu olan olayların belirlenmesiyle uygun matematiksel bağıntıların geliştirilmesi mümkün olabilir.

Bu çalışmada, zamanla meydana gelen çökmeler ile katı atık kütlesinde meydana gelen fiziksel değişiklikler ihmal edilmiştir. Keza, sıranan madde miktarına nisbetle az olduğu için gazlaşma da ihmal edilmiştir.

Bu çalışmada, suda kolay çözünen veya zamanla çözünmesi devam eden

inorganik ve organik katı atık bileşenleri için dört ayrı matematiksel model geliştirilmiştir.

3.1.1. KOLAY ÇÖZÜNEN İNORGANİK KATI ATIK BİLEŞENLERİNİN SIZMASI İLE İLGİLİ OLARAK BİR MATEMATİKSEL MODELİN GELİŞTİRİLMESİ

Suda kolay çözünen inorganik kirletici maddeler için kütle dengesi, denklem 3.1'in de yardımı ile:

$$\frac{d}{dt} (CV\theta) = C_i Q_i - C Q \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir. Sızma başladıktan sonra; $Q = Q_i$ ve $\theta = \theta_f$ olacağından (3.2) denklemi:

$$\frac{dC}{dt} = (C_i - C) \frac{Q}{V \cdot \theta_f} \quad (3.3)$$

şeklini alacaktır. Reaktöre giren sudaki kirletici konsantrasyonu C_i , ihmal edilebilir. Buna göre; (3.3) denklemi şu şekli alacaktır:

$$\frac{dC}{dt} = - \frac{Q(t)}{V \cdot \theta_f} C \quad (3.4)$$

Bu diferansiyel denklemin çözümü:

$$C(t) = C_o \exp\left(- \int_{t=0}^t \frac{Q(t)}{V \cdot \theta_f} dt\right) \quad (3.5)$$

şeklinde bulunur. Bu denklemde:

$$G(t) = \int_{t=0}^t \frac{Q(t)}{V \cdot \theta_f} dt \quad (3.6)$$

alınarak:



$$C(t) = C_0 \exp(-G(t)) \quad (3.7)$$

şeklinde kümülatif sızıntı suyu(veya kümülatif su girişi) miktarına bağılı olarak çözüm bulunmuştur. Bu denklemde; C_0 , başlangıç konsantrasyonunu göstermektedir.

Kurulan bu matematiksel modele ait kirlilik konsantrasyonunu karakterize etmek üzere, anyon olarak klorür, katyon olarak da sodyum ve potasyum kullanılabilir. Çünkü, bu elementlere ait bileşikler hem suda çok kolay çözülebilmekte ve hem de katı atık yığını içindeki inorganik bileşiklerin önemli bir kısmını teşkil etmektedirler. Kolay çözülebilir inorganik kirletici maddelerin sızması ile ilgili olarak, teorik esaslara dayalı, bir model henüz geliştirilmemiştir.

3.1.2. SU İLÂVESİ DEVAM ETTİKÇE SUDAKİ ÇÖZÜNMEŞİ DEVAM EDEN İNORGANİK KATI ATIK BİLEŞENLERİNİN SIZMASI İLE İLGİLİ OLARAK BİR MATEMATİKSEL MODELİN GELİŞTİRİLMESİ

Kolay çözünmeyen ve kolondan geçen rutubete $R (M/L^3/T)$, kirletici madde intikal hızı ile geçen inorganik maddeler için kütle dengesi ise:

$$\frac{dC}{dt} = C_i \cdot Q_i - C \cdot Q + V\theta R \quad (3.8)$$

şeklinde düzenlenebilir. Sızma başladığında; $Q = Q_i$ ve $\theta = \theta_f$ olacağından ve kolona giren sudaki kirletici konsantrasyonu ihmal edilebileceği için (3.8) denklemi:

$$\frac{dC}{dt} + \frac{Q(t)}{V \cdot \theta_f} C = R(t) \quad (3.9)$$

haline gelir. Sabit Q ve R özel halleri için (3.8) denkleminin çözülmesi mümkündür. Straub ve Lynch(34) tarafından; konsantrasyon değişim eğrisinin, kararlı hal konsantrasyonu olarak ifade ettikleri bir konsantrasyona, düzgün azalmalarla asimptotik olarak düştüğü kabulü ile:

$$C(t) = C_0 \exp(-G(t)) + \frac{RV\theta_f}{Q} (1 - \exp(-G(t))) \quad (3.10)$$

matematiksel bağıntısını teklif etmişlerdir. Bu eşitliğin sağ tarafındaki ilk ifade önceden kolay çözülebilir inorganik maddeler için bulunan matematiksel bağıntıdır. Bu bağıntı, başlangıçta tamamen çözünmüş maddelerin kolondan geçen sularla seyrelmesini göstermektedir. İkinci ifade ise, katı atıklardan suya intikal eden kirletici madde miktarını ifade etmektedir. Bu ifadenin kararlı hal konsantrasyonu gibi bir sınırlanması olduğu ve ilerleyen periyotlarda bu değere eriştiği, ilk ifadenin de sıfıra doğru azalması sebebiyle iki bağıntının birden kabul edilen kararlı hal konsantrasyonuna doğru giderek azaldığı belirlenmiştir. Bu bağıntıda seyrelme ve kirletici madde üretimi nisbetinin, birbirinden bağımsız olarak değiştiği ve kirletici madde üretiminin bazı zamanlar gerçek duruma göre yetersiz arttığı veya azaldığı tesbit edilmiştir. Literatürdeki deneysel çalışmalara bakıldığında; Straub ve Lynch'in iddia ettikleri gibi konsantrasyonun bir başlangıç değerinden itibaren düzgün bir azalma ile asimptotik bir değere varıp bu değer etrafında kaldığı görülmemiştir(41, 42, 22, 23, 28). Yine, deneysel çalışmalardan kurak mevsimlerde kirletici madde konsantrasyonunda artış, yağışlı mevsimlerde de seyrelmenin tesiri ile daha düşük konsantrasyonların beklenmesi gerektiği de tesbit edilmiş ve (3.10) denklemindeki matematiksel bağıntının buna uyum sağlayamayacağı belirlenmiştir. Dolayısı ile Straub ve Lynch tarafından verilen 3.10'daki bağıntı gerçeği tam ifade edememektedir. Bu sebeplerden dolayı, bu çalışmada mevsim şartlarının konsantrasyon üzerindeki tesirini yeterince yansıtacak bir model araştırılmıştır.

Sabit Q ve R halleri için(3.9) denkleminin farklı bir çözümünün bulunması:

R = 0 kabul ederek:

$$\frac{dC}{dt} = - \frac{Q}{V\theta} C \quad (3.11)$$

elde edilir. Buna göre, entegrasyonla:



$$C = K e^{-\int \frac{Q}{V\theta_f} dt} \quad (3.12)$$

ifadesi elde edilir. (3.6) denklemi (3.12) denkleminde yerine konulursa:

$$C = K e^{-G(t)} \quad (3.13)$$

halini alır. (3.6) Denkleminin türevi:

$$\frac{d}{dt} G(t) = \frac{Q}{V\theta_f} \quad (3.14)$$

kullanılarak, (3.12). denklemin türevi:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{dK}{dt} e^{-G(t)} - \frac{Q}{V\theta_f} K e^{-G(t)} \quad (3.15)$$

olarak alınır. Bu türev ve (3.12) denklemindeki C değeri (3.9) denkleminde yerine konulursa:

$$\frac{dK}{dt} e^{-G(t)} - \frac{Q}{V\theta_f} K e^{-G(t)} + \frac{Q}{V\theta_f} K e^{-G(t)} = R \quad (3.16)$$

den gerekli kısaltmalar yapıldıktan sonra:

$$\frac{dK}{dt} e^{-G(t)} = R \quad (3.17)$$

elde edilebilir. Bu ifadenin integrasyonu ile:

$$K = \int R e^{G(t)} dt + C_0 \quad (3.18)$$

bulunur. Bu değer (3.12) denklemindeki yerine konulursa:

$$C(t) = e^{-G(t)} \left(C_0 + \int_{t=0}^t R e^{G(t)} dt \right) \quad (3.19)$$



matematiksel bir bağıntı elde edilmiş olur. Bu çözümün sağlamasını yapmak için, (3.19). denklemin türevi:

$$\begin{aligned}\frac{dC}{dt} &= -\frac{Q}{V\theta_f} e^{-G(t)} \left(\int R e^{G(t)} dt + C_o \right) + e^{-G(t)} R e^{G(t)} \\ &= -\frac{Q}{V\theta_f} e^{-G(t)} \left(\int R e^{G(t)} dt + C_o \right) + R\end{aligned}\quad (3.20)$$

şeklinde alınarak, (3.19) denklemi ile birlikte (3.9) denkleminde yerine konularak:

$$-\frac{Q e^{-G(t)}}{V \theta_f} \left(\int R e^{G(t)} dt + C_o \right) + R + \frac{Q}{V\theta_f} e^{-G(t)} \left(\int R e^{G(t)} dt + C_o \right) = R\quad (3.21)$$

ve gerekli kısaltmalar yapılarak sağlama temin edilir.

(3.19) Denkleminde de seyrelme ve kirletici madde üretim ifadeleri bulunmaktadır. Fakat, bu matematiksel bağıntıda kirletici üretimi ifadesi katı atık kütlesi içinden geçen su miktarlarındaki değişimleri yansıtacak şekilde, salınımlar yapabilmektedir.

Kolay çözünmeyen veya zamanla su ile taşınacak forma dönüşen inorganik maddeler için uygun matematiksel bağıntılar aranırken, R hızıyla katı fazdan sıvı faza bir kütle transferinin sözkonusu olduğu belirtilmiş ve bu suretle bağıntılar geliştirilmişti. Kütle transferini ifade etmek için bu çalışmada:

$$R(t) = k \frac{S(t)}{S_o} \cdot (C_{\max} - C(t))\quad (3.22)$$

bağıntısı kullanılmıştır. Bu ifadede:

k : Kütle transferi hız katsayısı(T^{-1}),

S(t) : t anındaki mevcut sızabilir kütle(M),

S_o : Sızma başlamazdan önce katı atık kütlesindeki sızabilir madde miktarı(M) ve

$C_{\max}$: Katı fazı yüzeyindeki sıvı filminde bulunan, yani sızıntı suyundaki en yüksek konsantrasyon (M/L^3) olarak alınmıştır.

Sabit Q ve R kabulleri ile bulunan bu matematiksel bağıntı, (3.19). denklemi, değişken Q ve R halleri için de kullanılabileceği için, yukarıda ifade edilen zamanla değişen R(t) üretim hızı bağıntısı verilmiştir. Bazı kirletici maddeler için sabit R kirletici üretim hızı sözkonusu olabilir veya ön deneme gerektiğinde kullanılabilir. Bu bakımdan, sabit kirletici üretim hızı:

$$R = C^*/T \quad (3.23)$$

bağıntısı ile kabul edilecektir. Bu bağıntıda; C^* = sızıntı sularında en çok karşılaşılan kirletici konsantrasyonu (M/L^3) ve T = katı atık kütlesi içine giren suyun depoyu terketme süresi (T)'dir.

Kolay sızmayan inorganik madde konsantrasyonlarını karakterize etmek üzere; Toplam Katı Madde (TKM) parametresi kullanılmıştır. TKM konsantrasyonu benzetme ile ilgili olarak Straub ve Lynch de çalışmışlardır. Bu çalışmada ise farklı olarak, yukarıda tarafımızdan geliştirilmiş olan matematiksel bağıntı tatbik edilerek, daha iyi bir uyum elde edilmiştir.

3.1.3. SUDA KOLAY ÇÖZÜNEN ORGANİK KATI ATIK BİLEŞENLERİNİN SIZMASI İLE İLGİLİ OLARAK BİR MATEMATİKSEL MODELİN GELİŞTİRİLMESİ

Kolay çözünen organik maddeler söz konusu olduğunda; yine, kirletici maddeler başlangıçta tamamen çözünecekler ve katı atıktan zamanla meydana gelen bir desorpsiyon söz konusu olmayacaktır. Organik madde söz konusu olduğundan, bu kere, farklı olarak mikrobiyal faaliyet neticesi ile ayrışma da işin içine girmektedir. Bu durumda, organik maddeler mikroorganizmalar tarafından kullanılmakta ve bir kısma mikroorganizma şekline dönüştürülmektedir. Ortamdaki organik maddelerin kullanılma hızı:

$$R' = \frac{\mu_m \times C}{Y(K_s + C)} \quad (3.24)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada;

R' : Substrat kullanma hızı (M/L^3T),

X : Hücre konsantrasyonu (M/L^3),

μ_m : Maksimum spesifik substrat kullanma hızı (T^{-1}),

K_s : μ_m 'ın yarısına tekabül eden substrat konsantrasyonu (M/L^3) ve

Y : hücre çoğalma verim katsayısı (M/M)

olarak alınmıştır. Ayrıca mikroorganizma çoğalma hızı, R'' (M/L^3T):

$$R'' = -Y R' - k_d X \quad (3.25)$$

k_d : endojen ölme hızı (T^{-1}) alınarak ifade edilmiştir. Bakteriyolojik faaliyete dayanan bu dönüşüm hızları yardımı ile, kolay çözünen organik maddeler için kütle dengesi:

$$\frac{dC}{dt} = (C_i - C) \frac{Q}{V \cdot \theta} + \Sigma (R' + R'') \quad (3.26)$$

şeklinde tertip edilebilir. Bu denkleme ait çözüm daha önce (3.9).denklemin çözümünde olduğu gibi:

$$C = e^{-G(t)} \cdot \left(C_0 + \int_{t=0}^t \Sigma (R' + R'') e^{G(t)} \cdot dt \right) \quad (3.27)$$

şeklinde bulunabilir.

Kolay çözünen organik maddelerle alakalı olarak burada ifade edilen matematiksel bağıntı, sudaki çözünürlüğü sonsuz olan fenol gibi organik bileşikler (hidroksil bağı ihtiva eden organik bileşikler, umumiyetle suda çözünen bileşiklerdir) ihtiva eden endüstriyel katı atıklardan organik bileşiklerin sızmasını tahminde faydalı olabilecektir. Fakat, toksik organik maddeler halinde, bakteriyolojik faaliyet söz konusu olmayacaktır. Literatürde kolay sızabilir organik maddelerle ilgili geliştirilmiş herhangi bir matematiksel bağıntıya rastlanmamıştır.



3.1.4. SU İLAVESİ DEVAM ETTİKÇE SUDAKİ ÇÖZÜNMEŞİ DEVAM EDEN ORGANİK KATI ATIK BİLEŞENLERİNİN SIZMASI İLE İLGİLİ OLARAK BİR MATEMATİKSEL MODELİN GELİŞTİRİLMESİ

Kolay çözünmeyen organik maddeler için kütle dengesi, R kirletici üretim hızı da kullanılarak:

$$\frac{dC}{dt} = (C_i - C) \frac{Q}{V \cdot \Theta} + \Sigma (R + R' + R'') \quad (3.28)$$

şeklinde kurulabilir. Bu denklemin çözümü, Straub ve Lynch(40) tarafından:

$$C(t) = C_o \exp(-G(t)) + \frac{\Sigma((R + R' + R'') V \cdot \Theta_f)}{Q_{ort}} (1 - \exp(-G(t))) \quad (3.29)$$

şeklinde bulunmuş ve kullanılmıştır.

Daha önce kolay çözünmeyen inorganik maddeler için benzetme yapılırken ifade edildiği şekilde, mevsim şartlarına göre kirletici madde intikal hızlarındaki değişimin Straub ve Lynch'in verdikleri bağıntı ile tam yansıtılamaması sebebiyle daha önce tarafımızdan bulunan (3.19). matematiksel bağıntısına benzer tarzda:

$$C = e^{-G(t)} \cdot (C_o + \int_{t=0}^t \Sigma(R + R' + R'') \cdot e^{G(t)} dt) \quad (3.30)$$

matematiksel bağıntısı geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, kolay çözünmeyen organik maddelerin zamanla değişiminin tesbiti için, Kimyasal Oksijen İhtiyacı(KOI) kirletici parametresi kullanılmıştır.



4. BÖLÜM

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. MATERYAL VE METOTLAR

4.1.1. DENEY TESİSLERİNİN HAZIRLANMASI

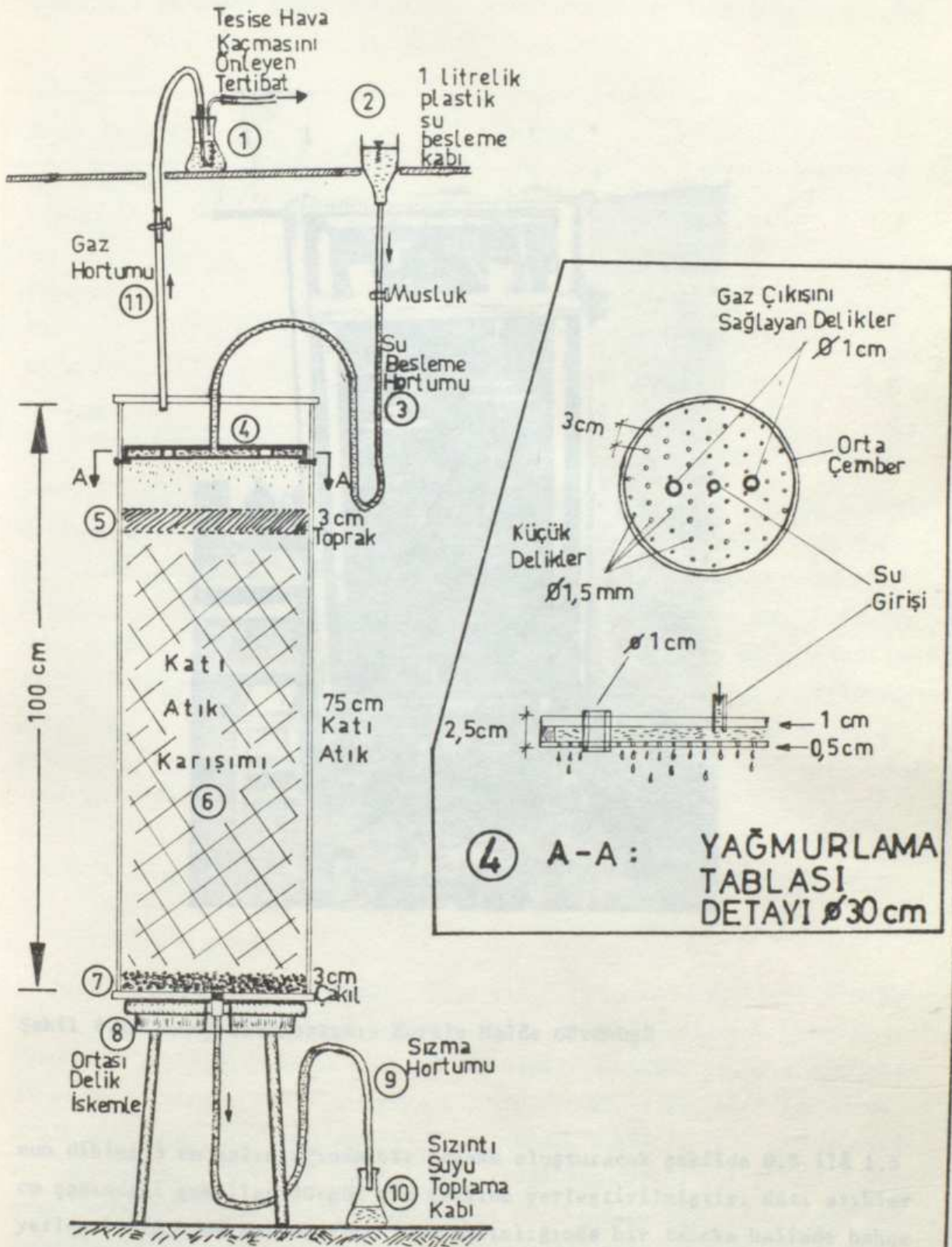
Muhtelif katı madde türlerinin sızması ile ilgili olarak tarafımızdan geliştirilen matematiksel bağıntıların pratikle uygunluğunu göstermek için, laboratuvarında katı atık depo yerlerine benzetilmiş iki adet deney tesisi kurulmuş ve geliştirilen matematiksel modellerle ilgili olan kirlletici parametrelerin zamanla değişimi bir sene müddetle izlenmiştir.

Deney tertibatı, Şekil 4.1 ve 4.2'de gösterilmiştir.

Kolonların içine konulacak katı atıkların herhangi bir yerden ve herhangi bir zamanda alınması ile, depo yerlerine gelen katı atıkların genelde karşılaşılan bileşimlerinin temsil edilmesinin çok zor olacağı düşünülerek, 1980 senesinde Metropolitan İstanbul Sahasında üretilen evsel katı atıkların özelliklerinin belirlenmesi ve bertarafı ile ilgili olarak yapılan TÜBİTAK projesinde(43) verilen madde grup bileşimleri esas alınmıştır. Değişik bölgelerden temin edilen madde grupları, kaba öğütücüde ufalandıktan sonra Tablo 4.1'de verilen yaz ve kış mevsimi ağırlık oranlarına göre iyice karıştırılmış ve sıkıştırılarak kolonlara yerleştirilmişlerdir.

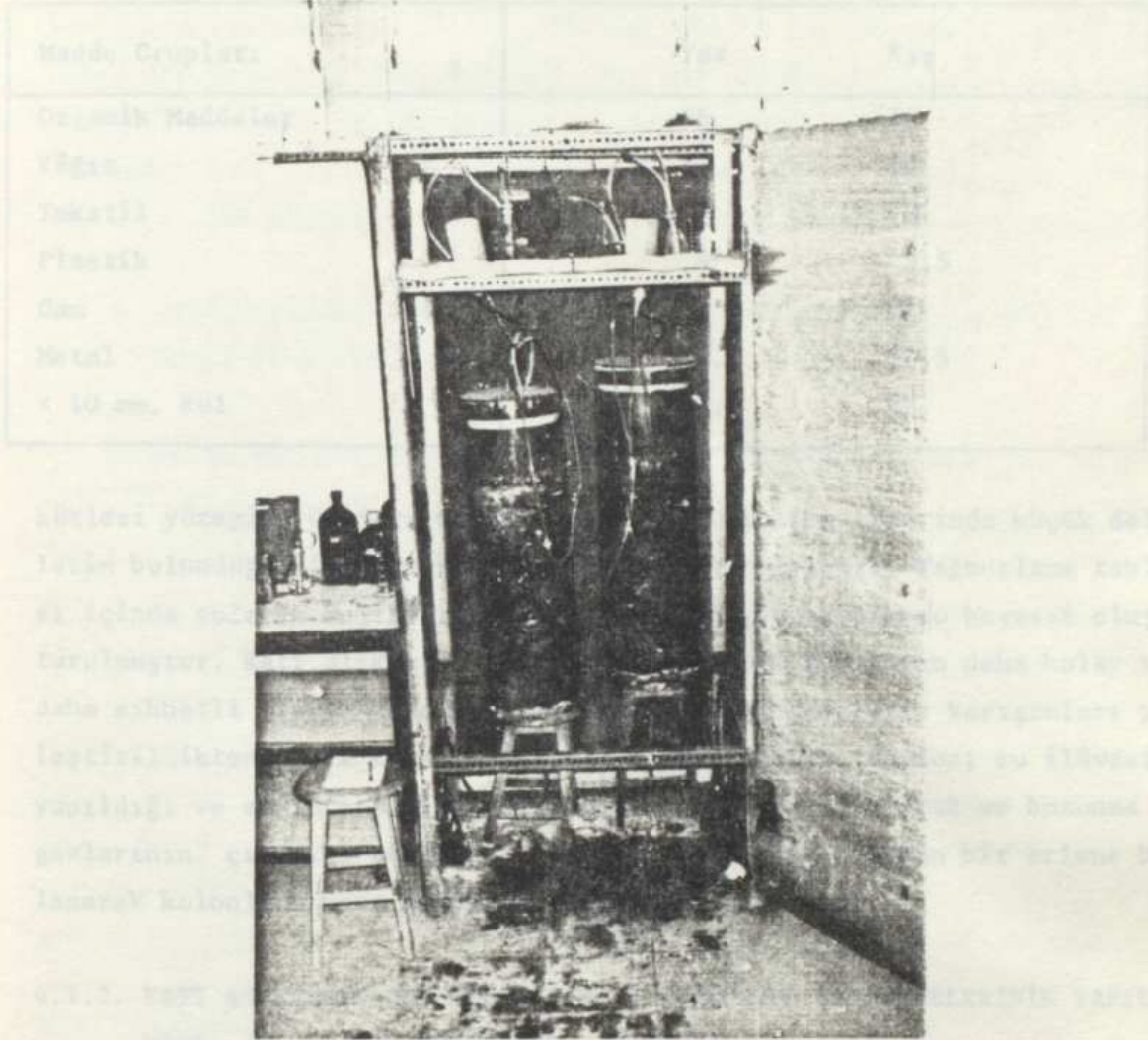
Yaz mevsimine ait katı atık karışımının yerleştirildiği kolon yaz aylarında ve kış mevsimi katı atık karışımının yerleştirildiği kolon ise kış aylarında hazırlanmıştır. Yaz kolonuna 75 cm yüksekliğinde 46 kg ağırlığında ve kış kolonuna ise 70 cm yüksekliğinde 35 kg ağırlığında katı atık karışımı konulmuştur. Katı atıklar yerleştirilmezden önce, kolo-





Sekil 4.1 Laboratuarda Kurulan Deney Tertibatına Ait Sematik Görünüş

Tablo 4.1 İstisnai Günlük Deney Kurulumu Varsayınan Bilgiler
Alt Bilgiler (1. Sıra) (2. Sıra) (3. Sıra) (4. Sıra)



Şekil 4.2 Deney Tertibatının Kurulu Halde Görünüşü

nun dibine 3 cm kalınlığında bir tabaka oluşturacak şekilde 0.5 ilâ 1.5 cm çapındaki çakıllar düzgün bir şekilde yerleştirilmiştir. Katı atıklar yerleştirildikten sonra, yine 3 cm kalınlığında bir tabaka halinde bahçe toprağı katı atıkların üzerine serilmiştir. Su ilâvelerinin katı atık



Tablo 4.1 İstanbul Şehri Evsel Katı Atıklarının Yaz ve Kış Mevsimlerine Ait Bileşimleri (% ağırlık olarak)(43)

Madde Grupları	Yaz	Kış
Organik Maddeler	56	37
Kâğıt	14	10
Tekstil	4	3
Plastik	5	3.5
Cam	3	3
Metal	1.5	1.5
< 10 mm, Kül	16.5	42

kütlesi yüzeyine üniform olarak yapılabilmesi için, üzerinde küçük deliklerin bulunduğu bir yağmurlama tablası kullanılmıştır. Yağmurlama tablası içinde suların deliklere dağılmasını sağlayacak bir su haznesi oluşturulmuştur. Katı atık kütlesi içinde anaerobik şartların daha kolay ve daha sıhhatli olarak teşekkül edebilmesi için, katı atık karışımları yerleştirildikten sonra kolonların üstü kapatılmıştır. Ayrıca; su ilâvesinin yapıldığı ve sızıntı suyunun alındığı hortumlar kıvrılarak ve bozunma gazlarının çıkışını sağlayan hortum da içinde su bulunan bir erlene bağlanarak kolonlara hava girişi önlenmiştir.

4.1.2. KATI ATIKLARIN SUYA DOYURULMASI VE GÜNLÜK SU İLÂVELERİNİN YAPILMASI

Yapılan ölçümlerle kolonlara yerleştirilen yaz ve kış katı atık karışımlarında su muhtevaları sırasıyla %40.1 ve % 26.8 olarak bulunmuştur. Katı atık karışımlarına ait suya doyma kapasitelerinin tespiti için, katı atıklar kolona yerleştirildikten sonra, önceleri her saat 1/2 litre olmak üzere katı atık kütlesi yüzeyine detayı Şekil 4.1'den görülen yağmurlama tablası vasıtası ile üniform olarak yağmurlama yapılmıştır. Katı atık kütlelerinin ıslanma durumu saydam pleksiglass boru cidarından gözlenebildiği için sızıntının başlayacağı zamana yaklaşıldığında daha az su miktarları daha fazla beklenerek ilâve edilmiştir. Yaz katı atık karışımının doyurulması için 10300 ml ve kış katı atık karışımının doyu-



rulması için de 13850 ml su ilâve edilmiştir.

Katı atık kütleleri su ile doyurulduktan sonra, günlük su ilâveleri yapılmaya başlanmıştır. İlâve edilecek günlük su miktarları istatistiki değerlere dayandırılmış, İstanbul-Göztepe Rasathanesi tarafından verilen 1931-1980 yılları arasındaki 50 yıllık yağış rasat değerleri kullanılmıştır(44). Rasat neticeleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Su ilâveleri, katı atık kütlesi yüzeyine düşecek kadar, hesaplanarak yapılmıştır.

4.1.3. GELİŞTİRİLEN MODELLE İLGİLİ OLAN KİRLETİCİ PARAMETRELERE AİT DEĞERLERİN BELİRLENMESİ İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Doyurma işi bittikten sonra, günlük yağış değerlerine göre su ilâvelerine başlanmıştır. Kolon altındaki erlende toplanan sızıntı suları her gün alınıp buzdolabındaki bir kapta biriktirilmiş ve bu biriktirilmiş sıvılar fasılalarla geliştirilen matematiksel modelleri mukayese etme imkânı verecek kirletici parametreler, Standard Methodlara göre(45, 46), deneysel olarak analiz edilmiştir. Sızıntı sularının girişim yapıcı unsurları çok fazla ihtiva etmesi sebebiyle, metot seçiminde bir Kanada Çevre Koruma Teşkilatı raporundan da çok büyük ölçüde faydalanılmıştır (47). Bu çalışmada; klorür, sodyum, potasyum, toplam katı madde(TKM) ve kimyasal oksijen ihtiyacı(KOI) kirletici parametreleri aranmıştır. Sodyum ve potasyum değerleri ELVI 650 flame fotometresiyle ölçülmüştür.

4.2. ELDE EDİLEN DENEY SONUÇLARI

Laboratuarda kurulan deney tesislerinden sızan sularda araştırılan kirletici parametreler için ölçülen değerler Tablo 4.3 ve 4.4'de verilmiştir. Kirletici parametrelerin zamanla değişimleri Şekil 4.3 ilâ 4.7'den görülmektedir. Bu şekillerin tümünde, zamanla azalan bir eğilim görülmüştür. Kullanılan katı atıkların ihtiva ettiği sızabilir inorganik ve organik madde oranlarındaki farklılık sebebiyle, gözlenen kirletici parametrelere ait eğrilerin farklı başlangıç değerleri aldığı belirlenmiştir. Konsantrasyon eğrilerinin, yağışların az olduğu kurak devrelerde, daha düşük hızda azalma eğiliminde oldukları ve yağışlı devrelerde ise daha yüksek hızda azalma eğiliminde oldukları tesbit edilmiştir. Yani,



Tablo 4.2 İstanbul-Göztepe Rasathanesi Tarafından Verilen Günlük Yağış Değerleri

İSTASYON ADI : GÖZTEPE

RASAT SÜRESİ = 504 1931 - 1980

GÜNLER	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
1	3.06	3.95	1.87	0.76	1.05	0.57	0.61	0.16	0.31	0.86	0.99	3.33
2	3.80	2.55	2.26	1.62	1.42	0.52	0.67	0.25	1.77	1.71	1.82	2.10
3	3.55	3.18	3.23	1.36	1.74	0.46	2.32	0.27	3.01	1.58	1.58	3.82
4	1.96	3.10	1.46	1.08	1.01	0.97	2.26	0.51	0.65	2.39	3.11	2.64
5	3.93	1.52	2.90	0.54	1.08	0.93	1.55	0.35	0.39	3.07	2.17	3.20
6	3.29	2.27	1.96	1.03	1.07	0.90	2.37	1.42	0.76	1.66	1.24	4.26
7	2.04	2.29	2.02	1.63	2.06	1.41	0.59	0.76	2.83	2.21	1.92	3.86
8	3.17	1.93	1.96	1.54	1.14	0.78	0.41	0.49	4.48	2.55	1.08	2.84
9	3.73	4.11	2.44	1.14	0.89	0.34	0.24	0.60	2.72	0.71	3.24	3.52
10	2.75	1.75	2.89	2.38	1.07	0.35	1.35	0.31	0.96	1.93	1.85	3.59
1.10 GÜN TOP. :	31.28	26.65	22.99	13.05	12.54	7.23	12.36	5.10	17.87	18.67	19.00	33.19
11	3.04	3.95	2.33	1.22	1.36	1.52	0.96	1.59	2.64	2.96	3.18	3.09
12	4.02	3.69	3.07	1.67	2.49	0.21	1.25	0.42	1.38	1.93	2.77	3.41
13	2.34	2.18	1.94	1.76	0.90	0.89	0.76	1.04	0.47	1.86	2.21	4.74
14	3.92	1.85	1.23	1.80	1.09	0.32	0.39	1.00	0.90	3.15	2.77	4.62
15	2.49	3.85	1.87	1.11	1.09	0.38	0.29	2.17	2.19	2.06	2.52	3.67
16	2.03	2.24	3.58	1.76	1.07	0.30	0.46	0.34	1.42	3.35	3.02	3.20
17	3.11	2.50	2.78	3.84	0.73	0.52	0.0	0.10	0.91	0.72	2.67	5.14
18	2.84	3.54	2.06	1.84	1.02	0.66	0.12	0.36	0.75	1.25	3.09	4.29
19	2.68	2.75	2.30	2.02	0.84	0.26	0.14	1.81	0.46	2.52	1.81	4.53
20	2.94	1.54	1.55	2.44	0.80	0.22	0.03	0.89	1.96	3.51	4.92	3.52
2.10 GÜN TOP. :	29.42	28.09	22.73	19.45	11.39	5.28	4.40	9.71	13.08	23.31	29.97	40.20
21	2.94	1.54	1.55	2.44	0.80	0.22	0.03	0.89	1.96	3.51	4.92	3.52
22	2.59	1.57	1.69	1.57	1.11	1.06	0.38	2.10	0.14	2.42	2.78	3.34
23	2.83	2.17	2.56	1.19	0.29	0.64	0.15	1.02	2.00	1.36	2.23	2.02
24	1.38	2.25	2.16	1.01	0.82	0.63	0.03	0.97	2.96	1.54	3.33	1.73
25	1.25	4.25	2.11	1.09	0.42	1.19	0.30	0.53	1.45	2.61	4.95	1.73
26	3.45	1.88	1.50	1.17	0.76	1.20	0.72	0.46	1.58	2.43	4.86	3.31
27	3.73	2.00	0.99	1.83	0.91	1.08	1.04	0.36	1.66	1.64	4.34	4.11
28	4.00	3.33	2.28	0.88	0.94	1.60	0.14	0.53	2.02	1.69	2.69	5.50
29	2.61	0.30	1.64	0.40	0.89	0.45	0.32	0.48	2.71	2.79	4.28	3.57
30	3.52	*****	1.33	0.71	0.82	0.92	0.12	3.85	1.80	3.50	2.60	3.26
31	2.60	*****	1.16	*****	0.37	*****	0.97	0.79	*****	0.75	*****	2.72
3.10 GÜN TOP. :	30.90	19.29	18.97	12.29	8.13	8.99	4.19	12.00	18.27	24.24	36.97	34.82
AYLIK TOPLAM :	91.60	74.02	64.69	44.82	32.06	21.49	20.96	26.82	49.23	66.22	85.94	108.21

*****YILDIZ OLAN YERLERDE YAĞIŞ YOKTUR*****

depodan infiltrate olan su miktarının, konsantrasyon eğrisi değişiminde önemli etkisi olduğu tesbit edilmiştir. Konsantrasyon eğrilerinden, ölçülen ilk değerlerin beklenen değerlerden daha düşük değerlerde olduğu da belirlenmiştir. Bu farklılık, sızıntı suları temin edilmezden önce katı atık kütlesinin suya doyurulmasının tabiattakinden daha hızlı olarak gerçekleştirilmesinden ileri gelmiştir.

Tablo 4.3 Yaz Katı Atık Karışımının Yerleştirildiği Kolondan Sızan Suların Kirletici Özelliklerindeki Değişmelerin Tesbiti İçin Yapılan Deneysel Çalışma Sonuçları(Birimler mg/l'dir).

Numune Adı : Tarihi	Klorür	Sodyum	Potasyum	TKM	KOİ
YAZS1: 1.8.985- 23.8.985	1170	-	-	36700	47600
YAZS2: 24.8.985- 9.9.985	1260	-	-	38500	46000
YAZS3: 10.9.985- 2.10.985	1300	-	-	39100	48400
YAZS4: 3.10.985- 21.10.985	1210	-	-	40500	44100
YAZS5: 22.10.985- 7.11.985	1030	-	-	37100	42200
YAZS6: 8.11.985- 18.11.985	930	-	-	37900	42000
YAZS7: 19.11.985- 3.12.985	900	620	1310	31100	41400
YAZS8: 4.12.985- 19.12.985	720	570	1260	29400	37300
YAZS9: 20.12.985- 31.12.985	590	475	980	23200	35500
YAZS10: 1.1.986- 14.1.986	570	460	1160	22100	33200



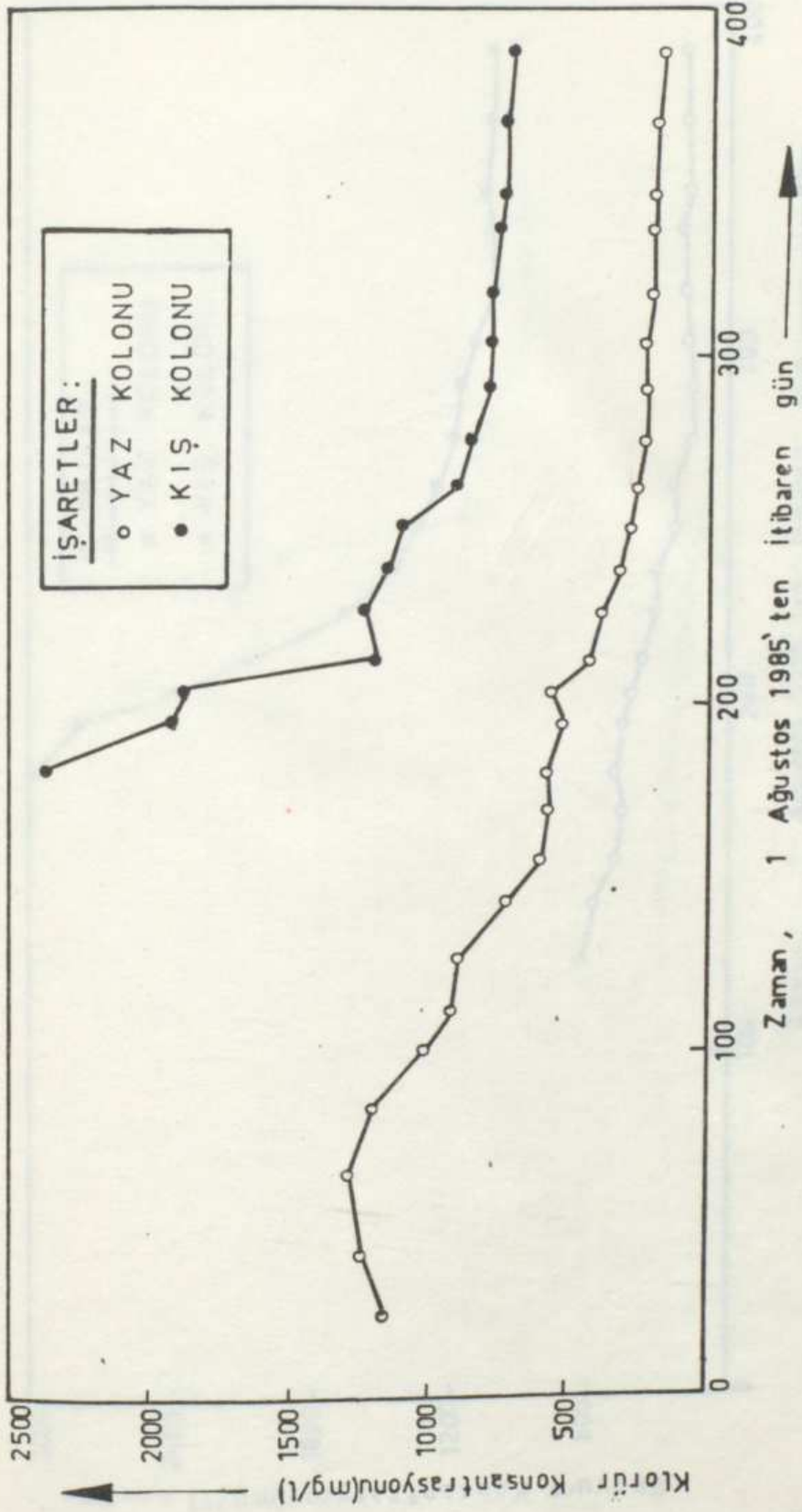
Tablo 4.3 (Devamı)

Numune Adı : Tarihi	Klorür	Sodyum	Potasyum	TKM	K01
YAZS11: 15.1.986- 25.1.986	580	485	1080	25400	27800
YAZS12: 26.1.986- 8.2.986	530	445	920	25000	24800
YAZS13: 9.2.986- 17.2.986	560	410	1000	26300	24500
YAZS14: 18.2.986- 26.2.986	420	365	820	24600	22100
YAZS15: 27.2.986- 12.3.986	383	295	765	25500	24400
YAZS16: 13.3.986- 24.3.986	311	295	650	26500	25300
YAZS17: 25.3.986- 5.4.986	269	223	400	27800	24600
YAZS18: 6.4.986- 17.4.986	249	225	413	25600	24600
YAZS19: 18.4.986- 30.4.986	228	160	360	28200	16250
YAZS20: 1.5.986- 15.5.986	228	140	304	30100	19650
YAZS21: 16.5.986- 28.5.986	228	165	365	26400	17200
YAZS22: 29.5.986- 12.6.986	207	173	335	23700	22400
YAZS23: 13.6.986- 30.6.986	207	190	345	28300	22600
YAZS24: 1.7.986- 10.7.986	196	140	340	26800	23600
YAZS25: 11.7.986- 31.7.986	185	170	325	26200	23300
YAZS26: 1.8.986- 20.8.986	165	167	310	28500	25000

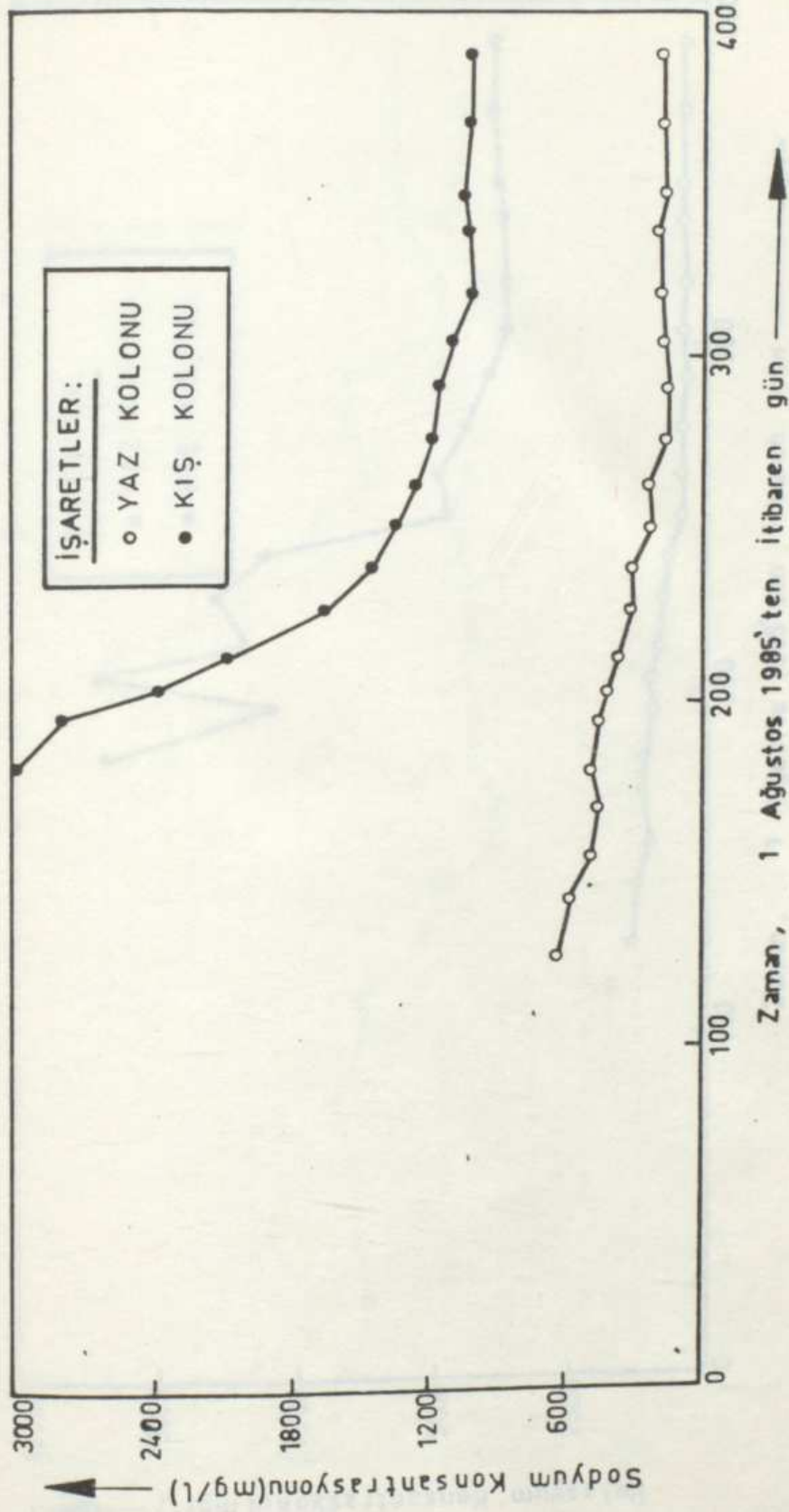
Tablo 4.4 Kış Katı Atık Karışımının Yerleştirildiği Kolondan Sızan Suların Kirlетici Özelliklerindeki Değişimlerin Tesbiti İçin Yapılan Deneysel Çalışma Sonuçları

Numune Adı : Tarihi	Klorür	Sodyum	Potasyum	TKM	KOİ
KİŞS1: 15.1.986- 25.1.986	2370	3000	10900	58800	44500
KİŞS2: 26.1.986- 8.2.986	1920	2780	7800	59000	44900
KİŞS3: 9.2.986- 17.2.986	1880	2380	11000	67000	45700
KİŞS4: 18.2.986- 26.2.986	1200	2080	8400	63800	38700
KİŞS5: 27.2.986- 12.3.986	1240	1640	8900	50600	37300
KİŞS6: 13.3.986- 24.3.986	1150	1440	8000	41900	36400
KİŞS7: 25.3.986- 5.4.986	1100	1340	4700	42400	35400
KİŞS8: 6.4.986- 17.4.986	900	1250	4850	35000	34000
KİŞS9: 18.4.986- 30.4.986	860	1180	4300	39300	25500
KİŞS10: 1.5.986- 15.5.986	790	1135	4200	38800	20300
KİŞS11: 16.5.986- 28.5.986	770	1080	3850	29100	24400
KİŞS12: 29.5.986- 12.6.896	770	990	3575	28400	25500
KİŞS13: 13.6.986- 30.6.986	745	1010	3650	33100	23500
KİŞS14: 1.7.986- 10.7.986	725	1020	3675	33300	24300
KİŞS15: 11.7.986- 31.7.986	720	990	3800	33300	22100
KİŞS16: 1.8.986- 20.8.986	700	990	3720	33300	24100



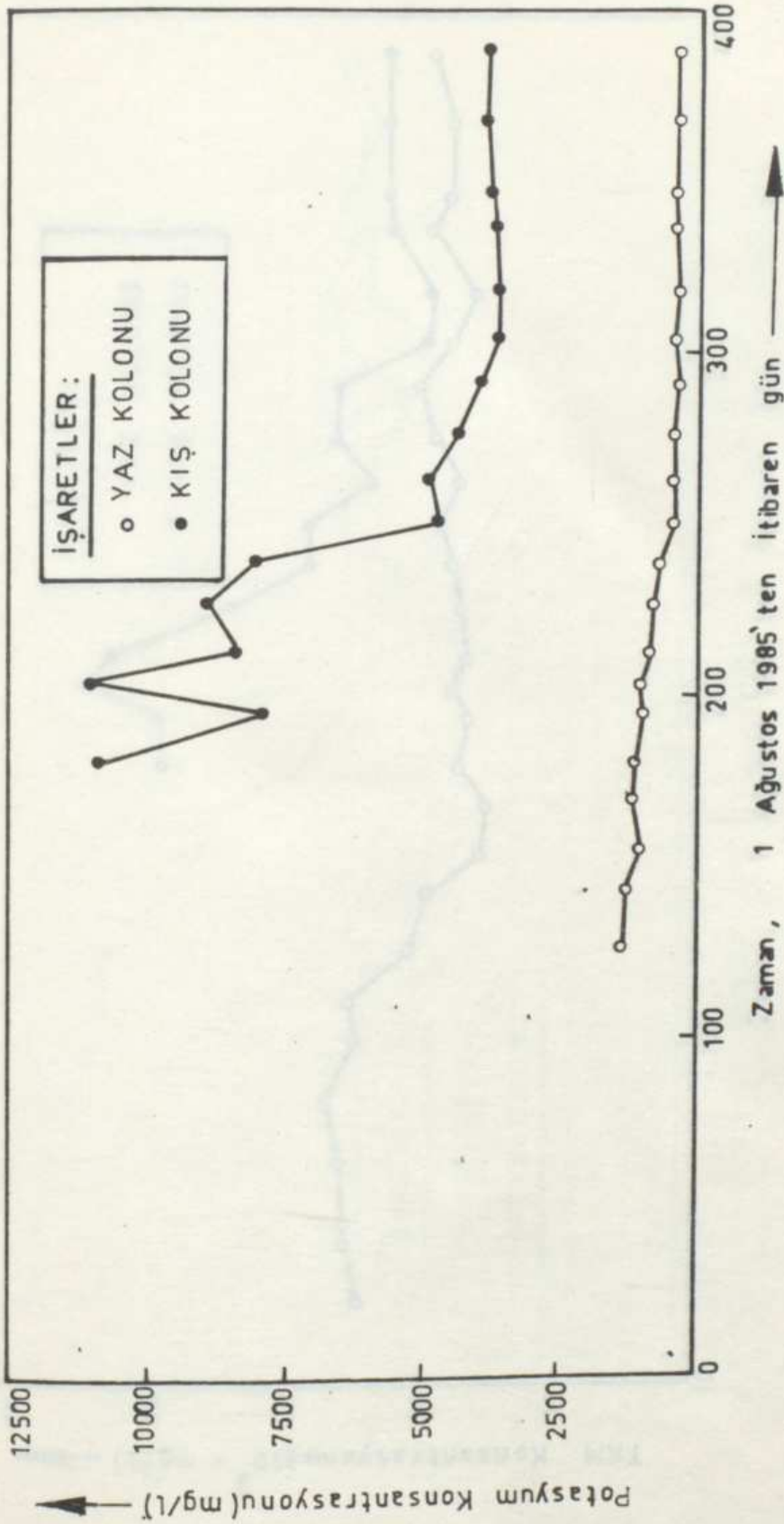


Şekil 4.3 Klorür Konsantrasyonunun Depo Yaşına Bağlı Olarak Değişimi



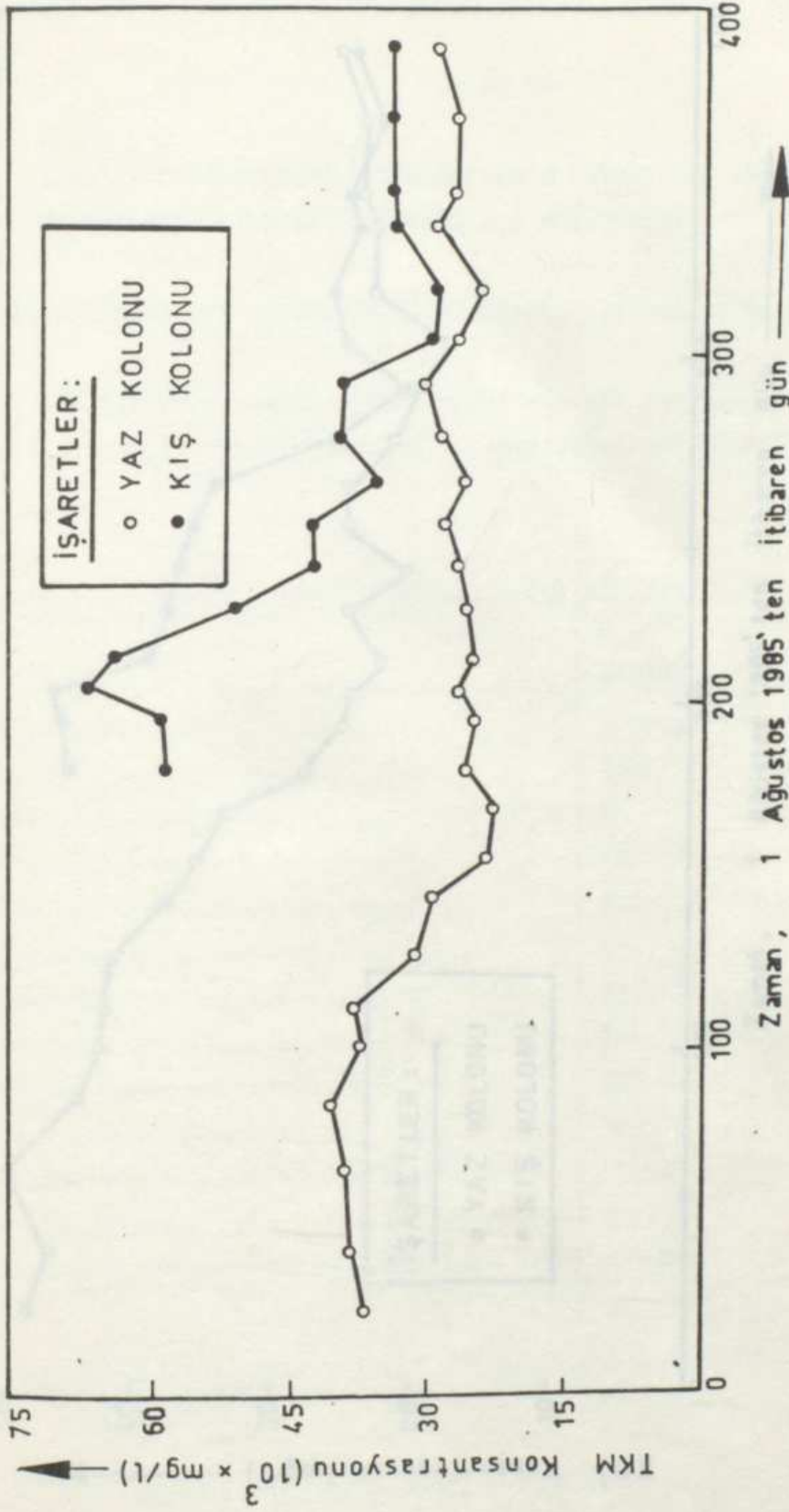
Şekil 4.4 Sodyum Konsantrasyonunun Depo Yaşına Bağlı Olarak Değişimi





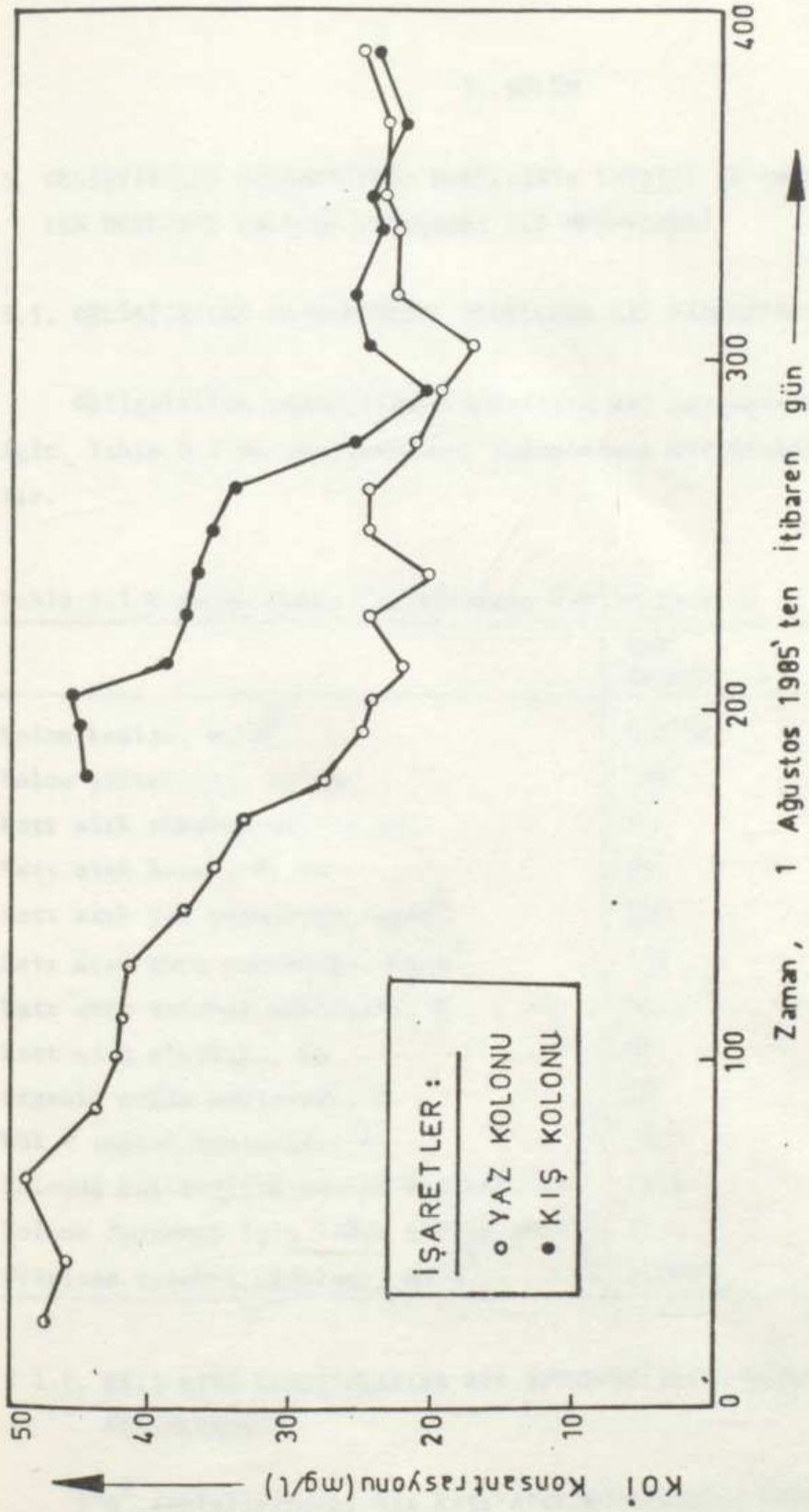
Şekil 4.5 Potasyum Konsantrasyonunun Depo Yaşına Bağlı Olarak Değişimi





Sekil 4.6 Toplam Katı Madde Konsantrasyonunun Depo Yaşına Bağlı Olarak Değişimi





Şekil 4.7 Kimyasal Oksijen İhtiyacı Konsantrasyonunun Depo Yaşına Bağlı Olarak Değişimi.



5. BÖLÜM

5. GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELLERİN TATBİKİ VE LABORATUARDA YÜRÜTÜLEN DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI İLE MUKAYESESİ

5.1. GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELLERE AİT PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

Geliştirilen matematiksel modellere ait parametrelerin belirlenmesi için, Tablo 5.1'de verilen deney kolonlarına ait özellikler kullanılacaktır.

Tablo 5.1 Kurulan Deney Tesislerinin Özellikleri

	Yaz Kolonu	Kış Kolonu
Kolon kesiti, A, m^2	0.0731	0.0731
Kolon yüksekliği, H, cm	100	100
Katı atık yüksekliği, h, cm	75	70
Katı atık hacmi, V, lt	55	51
Katı atık yağ yoğunluğu, kg/m^3	840	680
Katı atık kuru yoğunluğu, kg/m^3	504	498
Katı atık rutubet muhtevası, %	40.1	26.8
Katı atık ağırlığı, kg	46	35
Organik madde muhtevası, %	56	37
Kül + toprak muhtevası, %	16.5	42
Kolonda başlangıçta mevcut rutubet, lt	18.5	9.4
Kolonu doyurmak için ilâve edilen su, lt	10.3	13.9
Ortalama rutubet uygulama, mm/m^2	1.878	1.878

5.1.1. KATI ATIK KARIŞIMLARINA AİT RUTUBETE DOYMA KAPASİTESİNİN(θ_f) BELİRLENMESİ

$1 m^2$ genişliğindeki bir katı atık kütlesinin, yüksekliğinin her cm '-sini suya doyurmak için, lüzumlu yağış(cm olarak) miktarına rutubete doy-



ma kapasitesi denilmektedir. Kolonlara konulan katı atıkların tutabilecekleri rutubet miktarı belirlenirken, katı atıklarda başlangıçta mevcut olan rutubet ile doyurmak için ilâve edilen su miktarları birlikte hesaba katılmıştır.

Misal olarak; aşağıda yaz katı atığı için rutubete doyma kapasitesi hesabı yapılmıştır.

46 kg ağırlığında, rutubet miktarı %40.1 olan katı atık karışımı kolona yerleştirildiğine göre:

$$\begin{aligned}\text{Katı atıkta başlangıçta mevcut olan rutubet miktarı} &= 46 \text{ kg} \times 0.401 \\ &\approx 18.5 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kolonu doyurmak için, 10.3 lt su ilâve edilmiştir. Buna göre;

$$\begin{aligned}\text{Kolonu doyurmak için gerekli toplam rutubet miktarı} &= 18.5 + 10.3 \\ &= 28.8 \text{ lt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kolonun m}^2 \text{ sini doyurmak için lüzumlu} \\ \text{rutubet miktarı} &= 28.8/0.0731 \\ &= 394 \text{ lt/m}^2\end{aligned}$$

394 lt su miktarı, mm yağış eşdeğeri olarak, 394 mm olarak da ifade edilebilir. Buradan; rutubete doyma kapasitesi, birim yüksekliğin(cm) alacağı rutubet miktarı olarak:

$$\theta_f = 394 \text{ mm}/750 \text{ mm} = 0.526 \text{ cm/cm}$$

olarak bulunur. Kış katı atığı için de benzer hesaplar yapılarak; rutubete doyma kapasitesi, $\theta_f = 0.454 \text{ cm/cm}$ olarak bulunmuştur.

5.1.2. KOLONLARDAKİ ORTALAMA RUTUBET BEKLEME SÜRESİNİN(T_{ort}) BELİRLENMESİ

Kolonlardaki ortalama rutubet bekleme süresi, T_{ort} ; depoya bir sene müddetle her gün değişik miktarlarda verilen rutubet miktarlarının orta-



laması, Q_{ort} olduğuna göre:

$$T_{ort} = V \cdot \theta_f / Q_{ort} \quad (5.1)$$

formülü ile belirlenecektir.

Yaz katı atık karışımının yerleştirildiği kolonda ortalama rutubet bekleme süresi:

$$Q_{ort} = \text{Yıllık yağış miktarı} / 365 = 686 / 365 = 1.878 \text{ mm/m}^2 \text{ gün}$$

ve katı atık kütlesi hacmi, $V = 55$ lt olduğuna göre; denklem 5.1'den:

$$\begin{aligned} T_{ort} &= (55 \text{ lt} \times 0.526 \text{ cm/cm}) / 0.1878 \text{ cm/m}^2 \text{ gün} \\ &= 210 \text{ gün} \end{aligned}$$

olarak bulunmuştur. Kış katı atık kolonundaki rutubet bekleme süresi de benzer şekilde, $T_{ort} = 169$ gün olarak hesaplanmıştır.

5.1.3. KÜTLE TRANSFERİ HIZININ(R) BELİRLENMESİ

Katı atıktan sıvı faza belli bir hızla kütle transferinin söz konusu olduğu, 3. Bölümde matematik modellerin geliştirilmesi bahsinde ifâde edilmişti. Katı atıktaki kolay çözünmeyen inorganik ve organik maddelerin, R kirletici madde intikal hızı ile kolondan geçen rutubete geçtikleri ve bu hızın, zamanla sabit kalabildiği veya sürekli olarak değişebildiği de belirtilmişti.

Kütle transfer hızının belirlenebilmesi için; C_{max} ve C^x parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kolay çözünmeyen inorganik ve organik maddeler, TKM ve KOİ kirletici parametreleri göz önüne alınarak modelleneneceği için, bu parametrelerin aldığı en büyük ve en çok karşılaşılan konsantrasyonlar literatürden(2, 4, 48, 49, 50) araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda; C_{max} , maksimum kirletici konsantrasyonunun TKM ve KOİ parametreleri için, 50000 ilâ 80000 olarak alınabileceği belirlenmiştir. En çok karşılaşılan kirletici konsantrasyonu, C^x 'in her iki



kirletici parametre için 5000 ilâ 20000 mg/l arasında değerler aldığı tesbit edilmiştir. Yaz ve kış katı atıkları için, her iki parametreye ait C^x değerleri 10000 mg/l olarak kabul edilmiştir.

Sabit kirletici üretim(veya intikal) hızı:

$$R = C^x/T \quad (3.23)$$

denklemleri vasıtası ile belirlenmiştir. Yaz katı atık kolonu için, $T = 210$ gün ve $C^x = 10000$ mg/l değerleri alınarak, kirletici üretim hızı:

$$R = 10000/210 = 48 \approx 50 \text{ mg/l.gün}$$

olarak belirlenmiştir. Kış katı atık kolonu için de benzer tarzda hesaplar yapılarak sabit kirletici üretim hızı:

$$R = 10000/169 = 59 \approx 60 \text{ mg/l.gün}$$

olarak belirlenmiştir.

Zamanla değişen kirletici üretim hızı:

$$R(t) = k(S/S_0) \cdot (C_{\max} - C(t)) \quad (3.22)$$

denklemleri ile bulunmuştur. Bu denklemde bulunan; k , kirletici madde üretim hızı katsayısı ve S_0 , başlangıçta mevcut olan sızabilir katı madde miktarının bilinmesine ihtiyaç bulunmaktadır. S_0 parametresi, kolonlara konulan besin artıkları kuru ağırlıklarının kısa vadede sızabilir katı madde olarak kabul edilmesi ile bulunmuştur. Gıda atıklarının ihtiva ettiği rutubet, literatürden(2), % 70 olarak alınmıştır. Yaz katı atığı organik madde miktarı % 56 olduğuna göre; yaz katı atığından sızabilecek katı madde miktarı:

$$S_0 = 46 \text{ kg} \cdot 0.56 \cdot (1 - 0.70) = 7.73 \approx 8 \text{ kg}$$



olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde kış katı atık kolonu için, S_0 parametresi 4 kg olarak elde edilmiştir.

Kirletici üretim hızı katsayısı, k 'nın belirlenmesi için denklem 3.22'de; $R(t) = \text{sabit } R$, $(S/S_0) = 0.5$, $C_{\text{max}} = 70000 \text{ mg/l}$ ve $C(t) = C_{\text{max}}/2$ kabulleri yapılmıştır. Buna göre, yaz katı atık kolonu için:

$$50 = k \cdot 0.50 \cdot (70000 - 70000/2)$$

eşitliğinden, $k \approx 0.003 \text{ gün}^{-1}$ olur. Kış katı atık kolonu için de aynı denklemden, yine $k \approx 0.003 \text{ gün}^{-1}$ değeri elde edilmiştir. Zamanla değişen kirletici üretim hızı ile ilgili parametreler belirlendiğine göre, (3.22) denklemi kullanılabilir.

5.1.4. BİYOLOJİK BOZUNMA KİNETİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Organik maddelerin sızması modellenirken; ortamda aerobik faaliyet ve sızan organik maddelere kıyasla anaerobik gaz oluşumu ihmal edilmiştir. Anaerobik faaliyetin ilk günden itibaren müessir olacağı kabul edilmiştir. Geliştirilen matematiksel modellerde kullanılacak anaerobik reaksiyon kinetik parametrelerini kabul etmek için, literatürde benzer konularda yapılmış modellemelerde kullanılmış veya deneysel çalışmalarla bulunmuş değerler gözden geçirilmiş ve uygun kinetik parametreler Tablo 5.2'e alınmıştır(37, 40, 51, 52, 53).

Tablo 5.2 Organik Asitler İçin Ölçülmüş ve Sızıntı Suyu İçin Verilmiş Anaerobik Ayrışma Kinetik Parametreleri

	Y	μ_m	K_s	k_d
	mg/mg	gün^{-1}	mg/l	gün^{-1}
Organik asitler(25°C)	0.04	0.29	740	0.01
Sızıntı suyu için kabul	0.04	0.0363	5000	0.01



5.2. MATEMATİKSEL MODELLERİN DENEYSEL SONUÇLARLA MUKAYESESİNDE KULLANILAN İSTATİSTİKİ ANALİZ YÖNTEMLERİ

Uygulanan matematiksel modellerin, deneysel çalışma sonuçları ile münasebet derecesini tesbit etmek için, belli anlam seviyelerine göre korelasyon katsayılarının uygunluk testi yapılmıştır. % 1 anlam (manidarlık) seviyesinde numune sayısına bağlı olarak anlamlı korelasyon katsayıları:

n	16	20	26
% 1	0.742	0.679	0.607

olarak belirlenmiştir(54). Burada, n numune sayısını göstermektedir.

Ayrıca, münasebet tesbiti haricinde, ortalamalar için de t hipotez testi ile uygunluk analizi yapılmıştır. % 5 anlam seviyesinde numune sayısına bağlı olarak belirlenen kritik oranlar(t değerleri) ise:

n	16	20	26
% 5	2.131	2.093	2.060

şeklindedir.

5.3. GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELLERİN UYGULANMASI VE DENEYSEL ÇALIŞMALARLA MUKAYESESİNDEN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

5.3.1. SUDA KOLAY ÇÖZÜNEN İNORGANİK BİLEŞİKLER İÇİN GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELİN UYGULANMASI VE DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI İLE MUKAYESESİ

Kolay çözünen inorganik bileşikler için bu çalışmada tarafımızdan teklif edilen:

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

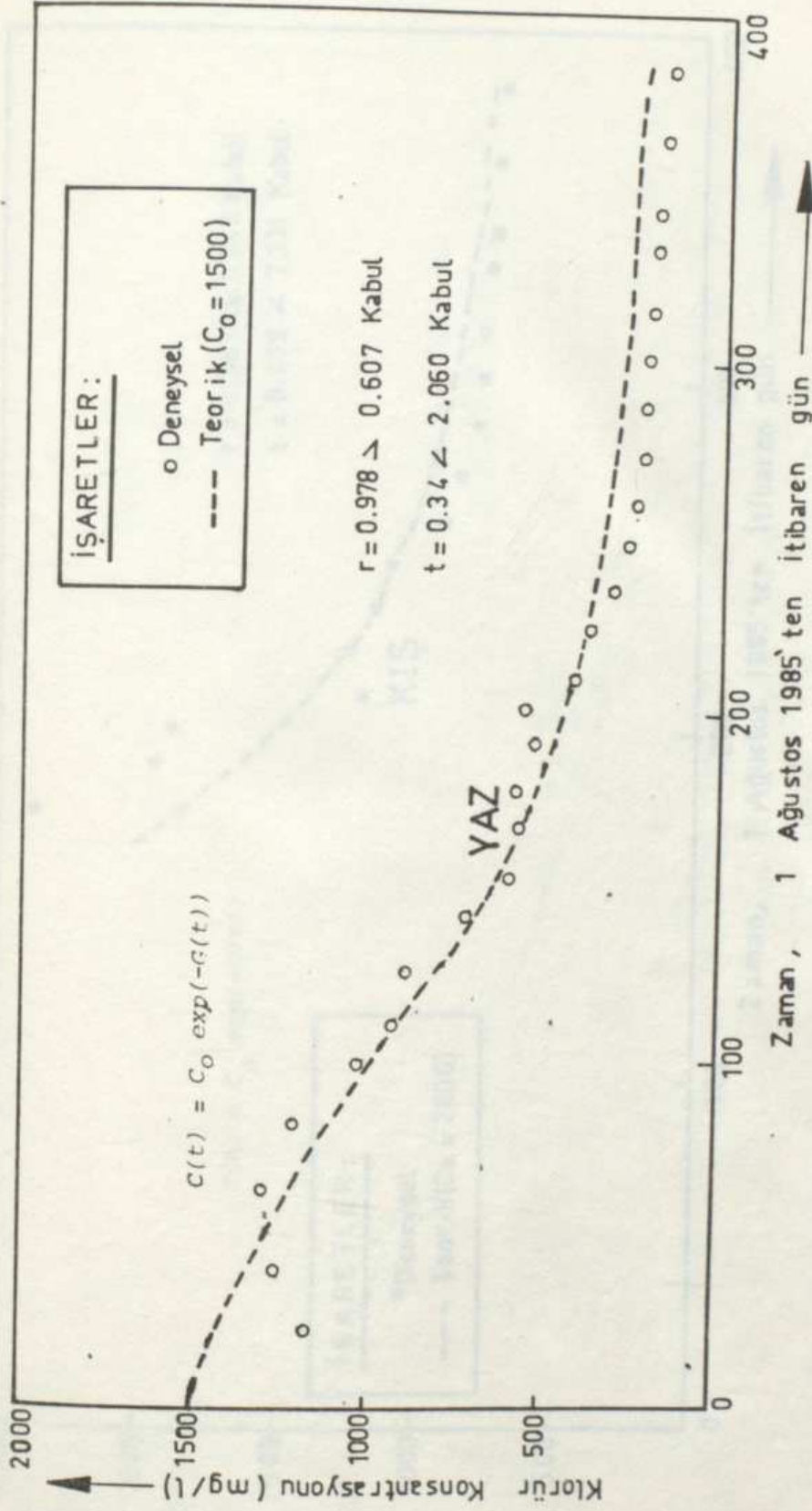
(3.7)



matematiksel bağıntısı kullanılmıştır. Bu modelin tatbiki için klorür, sodyum ve potasyum gibi inorganik bileşenler göz önüne alınmıştır. Matematiksel benzetmeler esnasında bilinmesi lüzumlu olan C_0 başlangıç konsantrasyonu parametresi, deney sonuçları göz önünde bulundurularak, deneylerle, en iyi benzetmeyi sağlayan değer alınarak kabul edilmiştir. Esasen, katı atıkların doyurulması esnasında tabii halden daha süratli su ilâve edildiği için, sızma başlangıcında ölçülen deney sonuçlarının beklenenden daha düşük olarak gerçekleştiği tesbit edilmiştir. Bu hususun, literatürdeki fiziksel modelleme çalışmalarında da bu şekilde olduğu belirlenmiştir(13, 21, 24). Ayrıca, sodyum ve potasyum parametreleri yaz kolonunda kısa bir müddet de olsa gecikme ile ölçülmüştür. Bu sebeplerden, C_0 , başlangıç konsantrasyonunun kabulü zorunlu olmaktadır. Klorür, sodyum ve potasyum için deneylerden elde edilen sonuçlar ile uygun başlangıç konsantrasyonları için elde edilen matematiksel benzetme sonuçları eğrilerle Şekil 5.1 ilâ 5.3'de gösterilmiştir. Şekil 5.1'de, yaz katı atık kolonu için en iyi benzetmenin $C_0 = 1500$ mg/l alınarak ve kış katı atık kolonu için ise en iyi benzetmenin $C_0 = 2000$ mg/l alarak sağlandığı görülmüştür. Sodyum bileşeni için yapılan benzetmelerde(Şekil 5.2) ise, yaz ve kış kolonları için uygun başlangıç konsantrasyonları, sırası ile 1100 ve 3000 mg/l olarak elde edilmiştir. Potasyum için ise, Şekil 5.3'deki benzetmelerden, yaz katı atığı için 2500 ve kış katı atığı için 11000 mg/l başlangıç konsantrasyonlarının uygun benzetmeler verdiği görülmüştür. Suda kolay çözünen bu üç kirletici bileşeni için yapılan benzetmelerin istatistikî analizleri sonucunda, benzetmelerin çok uygun olduğu belirlenmiştir.

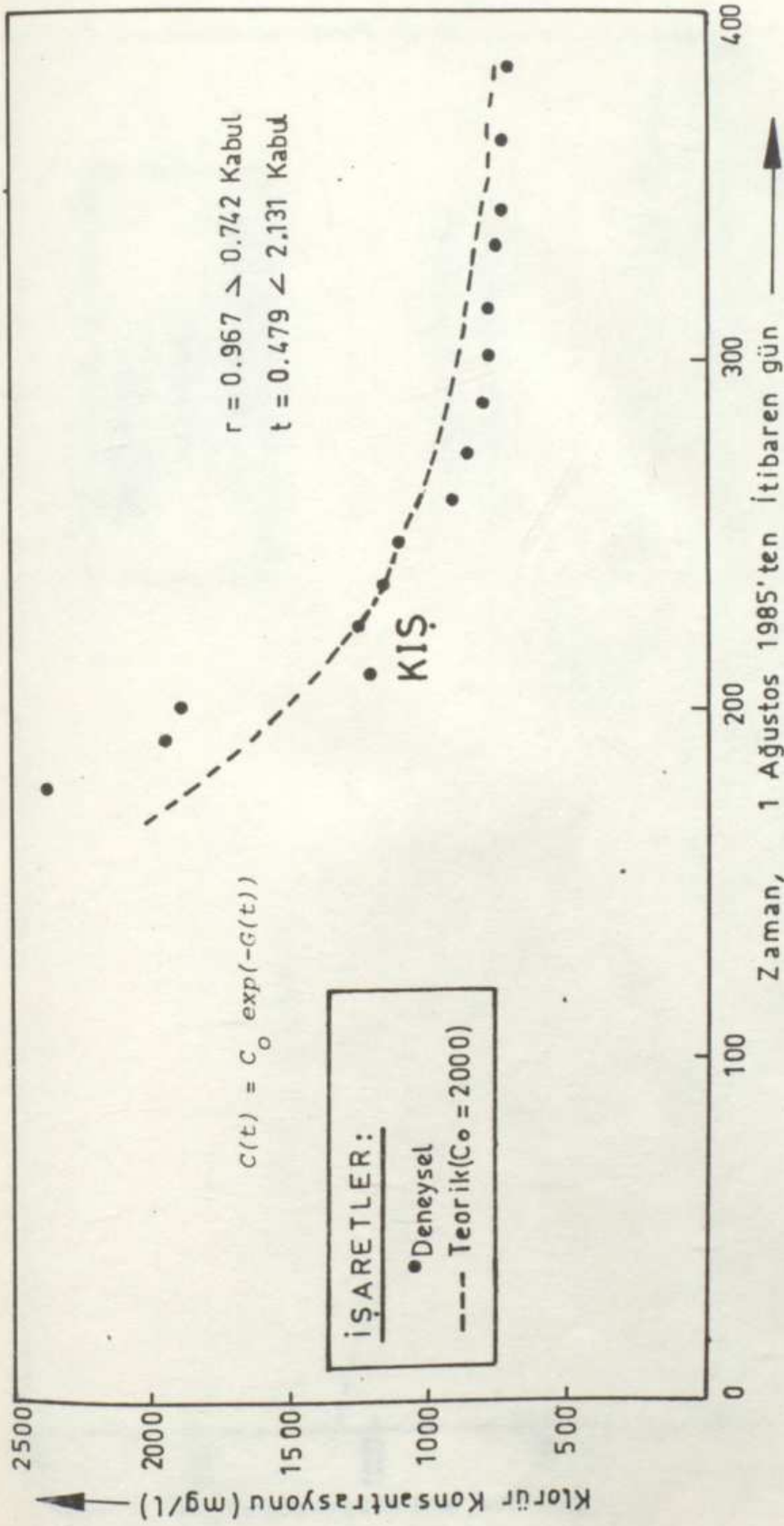
Yapılan bu benzetmeler sonucunda katı atık özelliğinin değişmesi ile; başlangıç konsantrasyonlarında, dolayısı ile yağışlarla seyrelmeyi gösteren bu eğrilerde farklılıklar olacağı görülmüştür. Ayrıca, bu çalışmada tarafımızdan kolay çözünen inorganik bileşenler için önerilen modelin klorür, sodyum ve potasyum üzerinde denenmesi ile çok iyi bir sonuç alınmıştır.





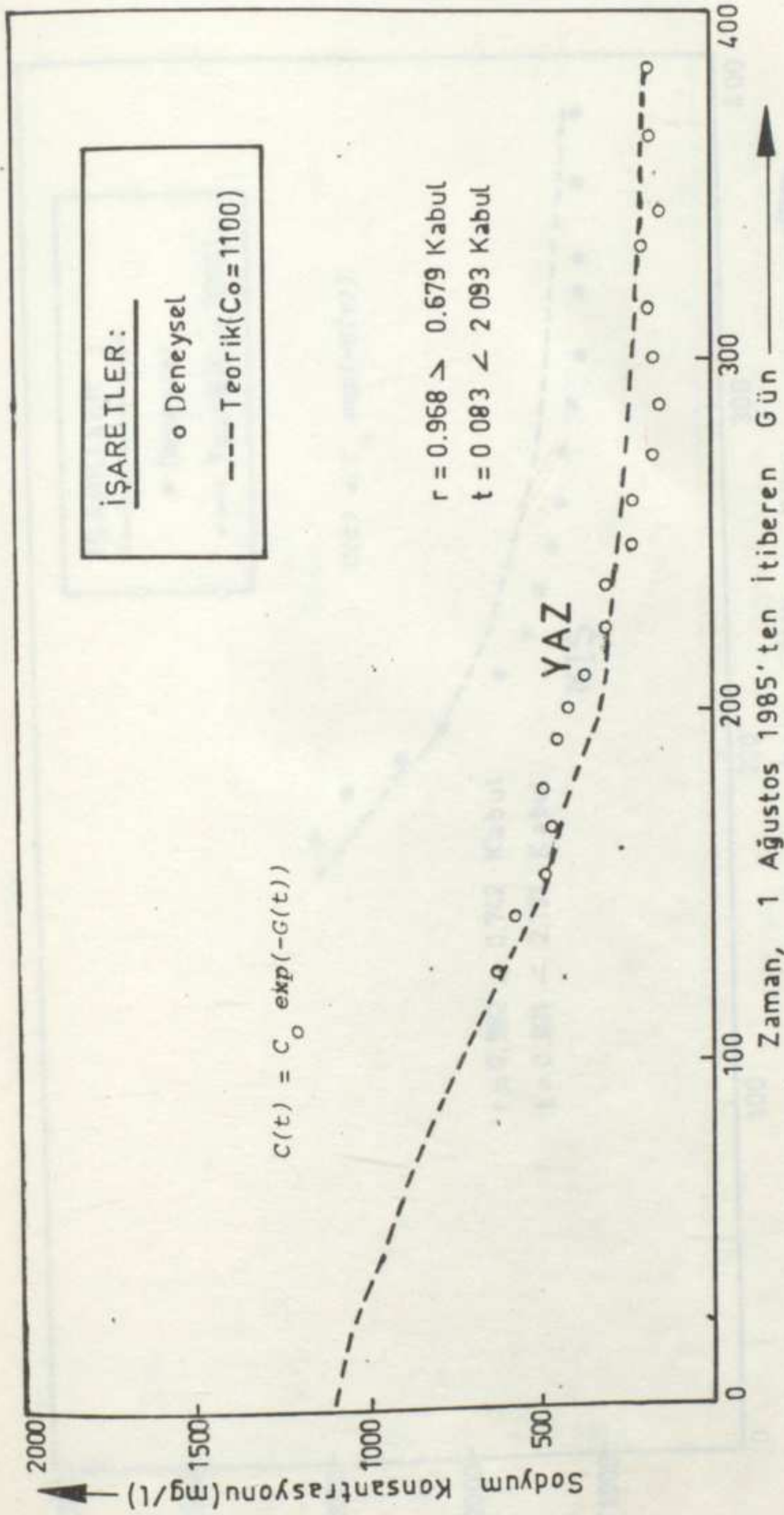
Şekil 5.1a. Yaz Kolonunda Klorür Konsantrasyonunun Matematiksel Olarak Belirlenmesi.





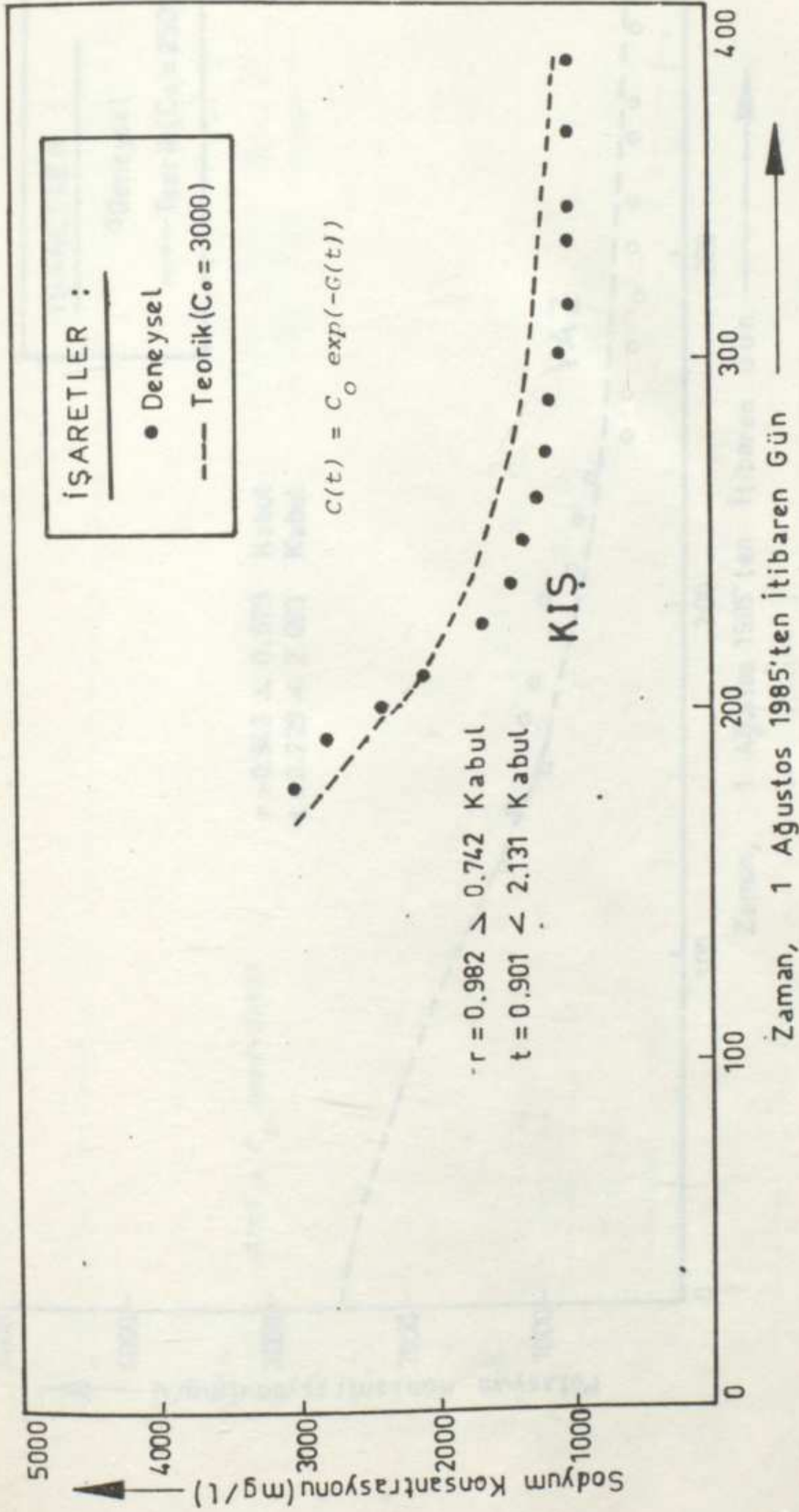
Şekil 5.1b. Kış Kolonunda Klorür Konsantrasyonunun Matematiksel Olarak Belirlenmesi.



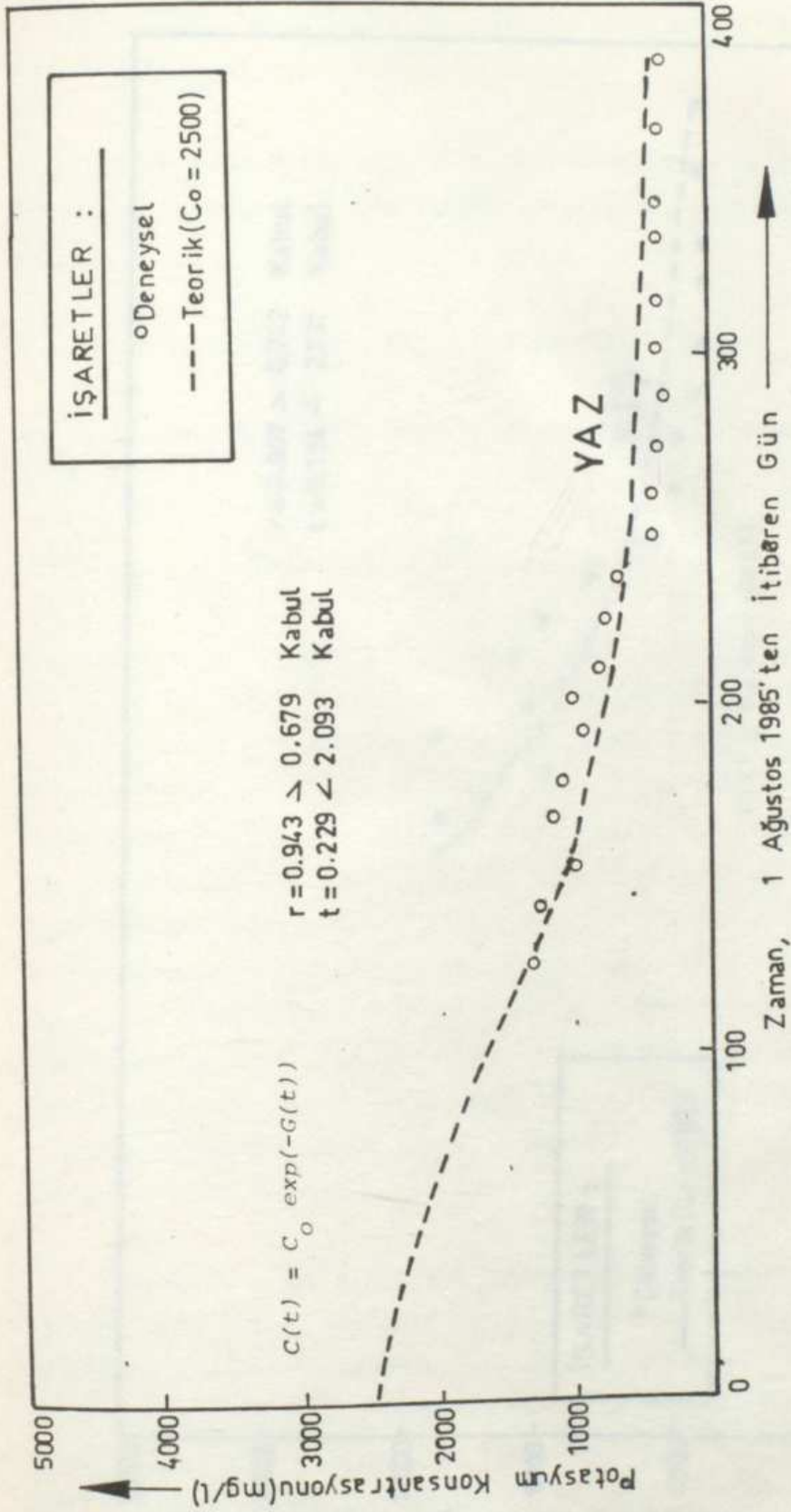


Şekil 5.2a. Yaz Kolonunda Sodyum Konsantrasyonunun Matematiksel Olarak Belirlenmesi.



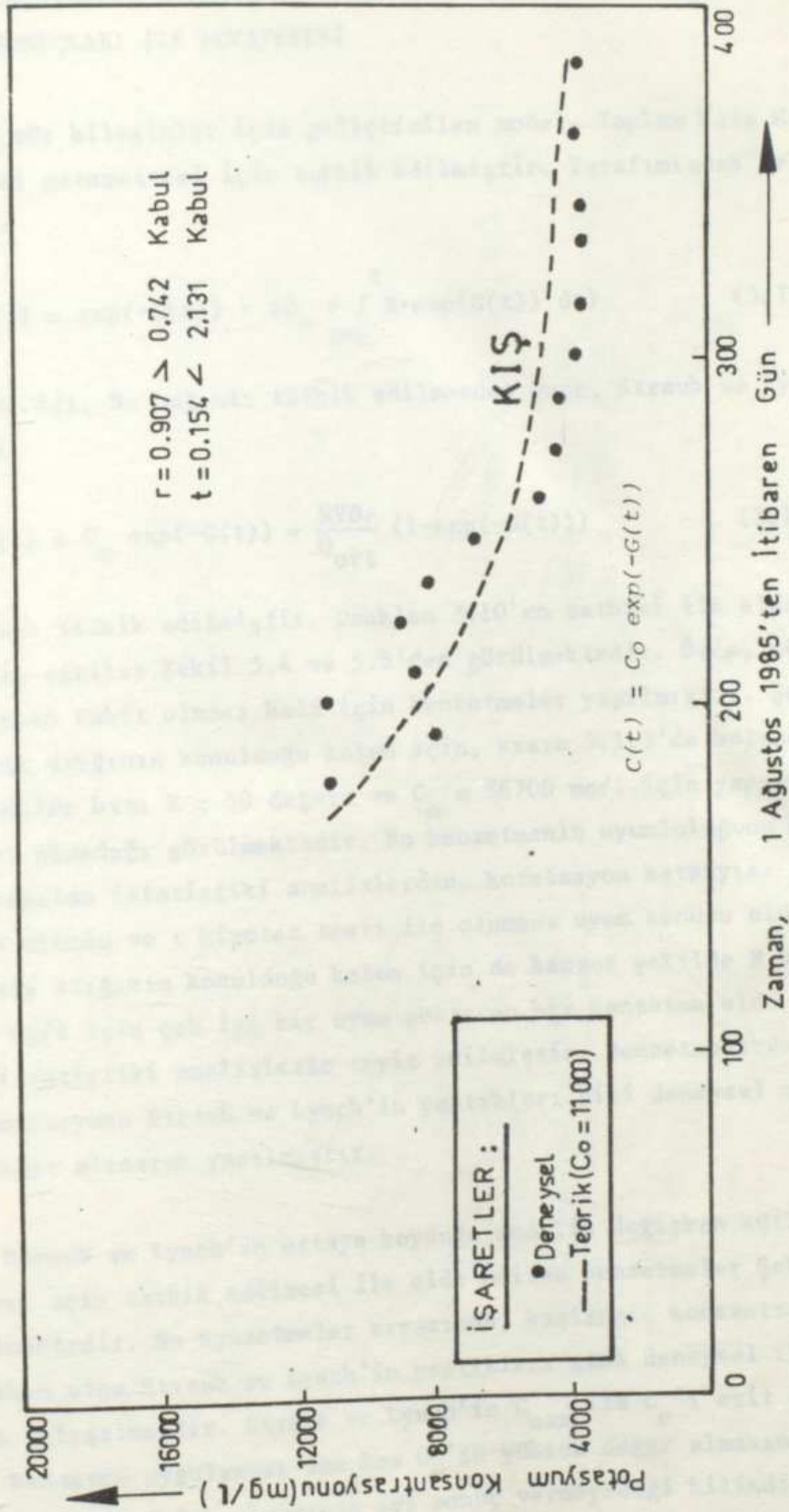


Şekil 5.2b. Kış Kolonunda Sodyum Konsantrasyonunun Matematiksel Olarak Belirlenmesi.



Şekil 5.3a. Yaz Kolonunda Potasyum Konsantrasyonunun Matematiksel Olarak Belirlenmesi.





Şekil 5.3b. Kış Kolonunda Potasyum Konsantrasyonunun Matematiksel Olarak Belirlenmesi.



5.3.2. SU İLÂVESİ İLE ÇÖZÜNMESİ DEVAM EDEN İNORGANİK BİLEŞİKLER İÇİN GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELİN UYGULANMASI VE DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI İLE MUKAYESESİ

Bu tür bileşikler için geliştirilen model, Toplam Katı Madde(TKM) kirletici parametresi için tatbik edilmiştir. Tarafımızdan geliştirilen bağıntı:

$$C(t) = \exp(-G(t)) \cdot \left(C_0 + \int_{t=0}^t R \cdot \exp(G(t)) dt \right) \quad (3.19)$$

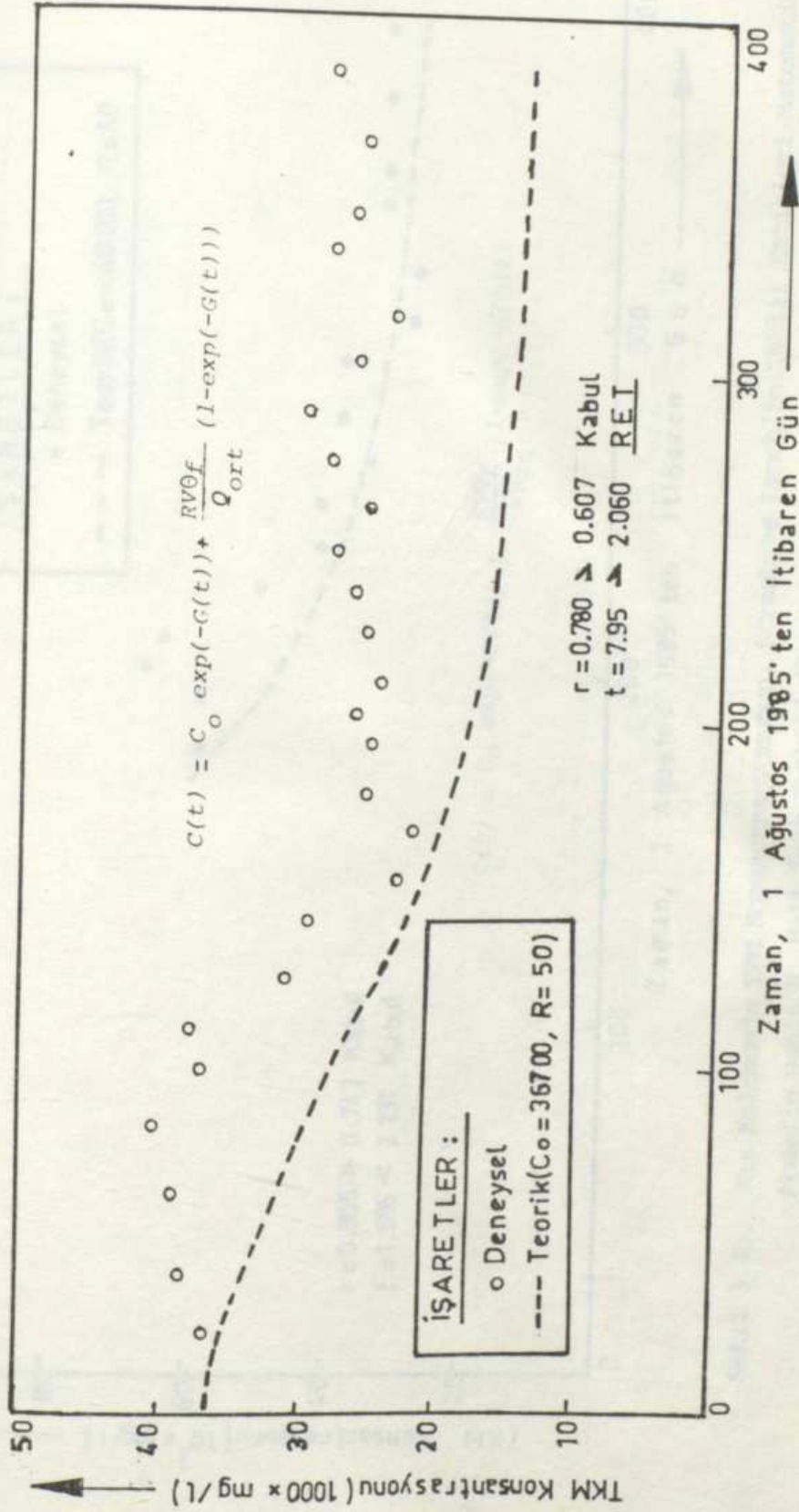
şeklinde idi. Bu bağıntı tatbik edilmezden önce, Straub ve Lynch'in önerdikleri:

$$C(t) = C_0 \exp(-G(t)) + \frac{RV\theta_f}{Q_{ort}} (1 - \exp(-G(t))) \quad (3.10)$$

bağıntısı tatbik edilmiştir. Denklem 3.10'un tatbiki ile elde edilen benzetilmiş eğriler Şekil 5.4 ve 5.5'den görülmektedir. Önce, kütle transferi hızının sabit olması hali için benzetmeler yapılmıştır. Şekil 5.4'de yaz katı atığının konulduğu kolon için, kısım 5.1.3'de bulunan sabit kütle transfer hızı $R = 50$ değeri ve $C_0 = 36700$ mg/l için yapılan benzetmenin iyi olmadığı görülmektedir. Bu benzetmenin uyumluluğunu belirlemek için yapılan istatistiki analizlerden, korelasyon katsayısı uygunluk testi ile olumlu ve t hipotez testi ile olumsuz uyum sonucu elde edilmiştir. Kış katı atığının konulduğu kolon için de benzer şekilde $R = 60$ ve $C_0 = 60000$ mg/l için çok iyi bir uyum gösteren bir benzetme elde edilmiş ve bu uyum istatistiki analizlerle teyit edilmiştir. Benzetmelerde başlangıç konsantrasyonu Straub ve Lynch'in yaptıkları gibi deneysel olarak bulunan ilk değer alınarak yapılmıştır.

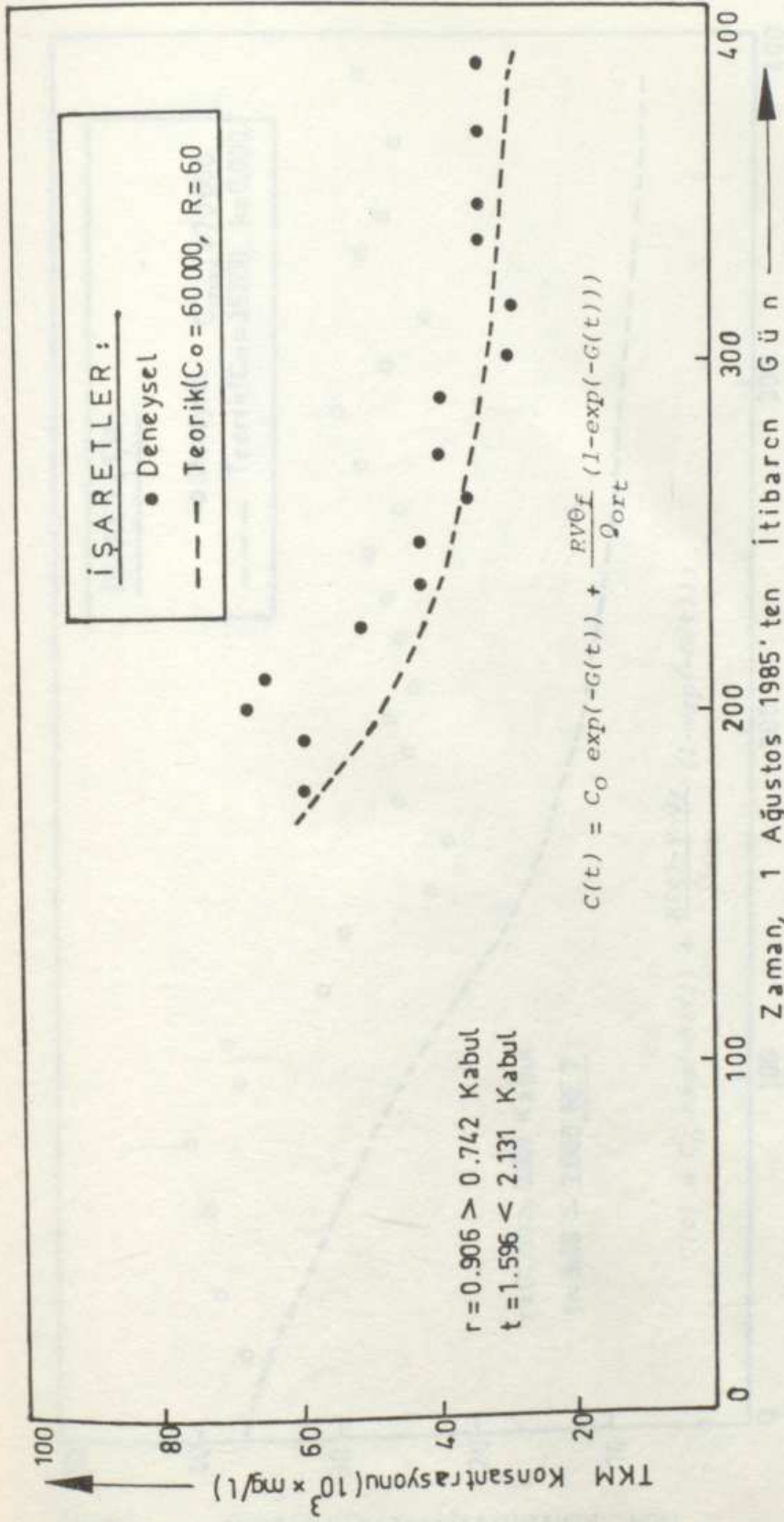
Straub ve Lynch'in ortaya koyduğu modelin değişken kütle transfer hızları için tatbik edilmesi ile elde edilen benzetmeler Şekil 5.5'de görülmektedir. Bu benzetmeler sırasında, başlangıç konsantrasyonları seçilirken yine Straub ve Lynch'in yaptıkları gibi deneysel ilk değer alınarak çalışılmıştır. Straub ve Lynch'in C_{max} ile C_0 'ı eşit alarak yaptıkları benzetme uygulaması ise hem C_0 'ın yüksek değer almasının ve hem de C_{max} 'ın düşük değer almasının iyi sonuç vermeyeceği bilindiğinden uygu-



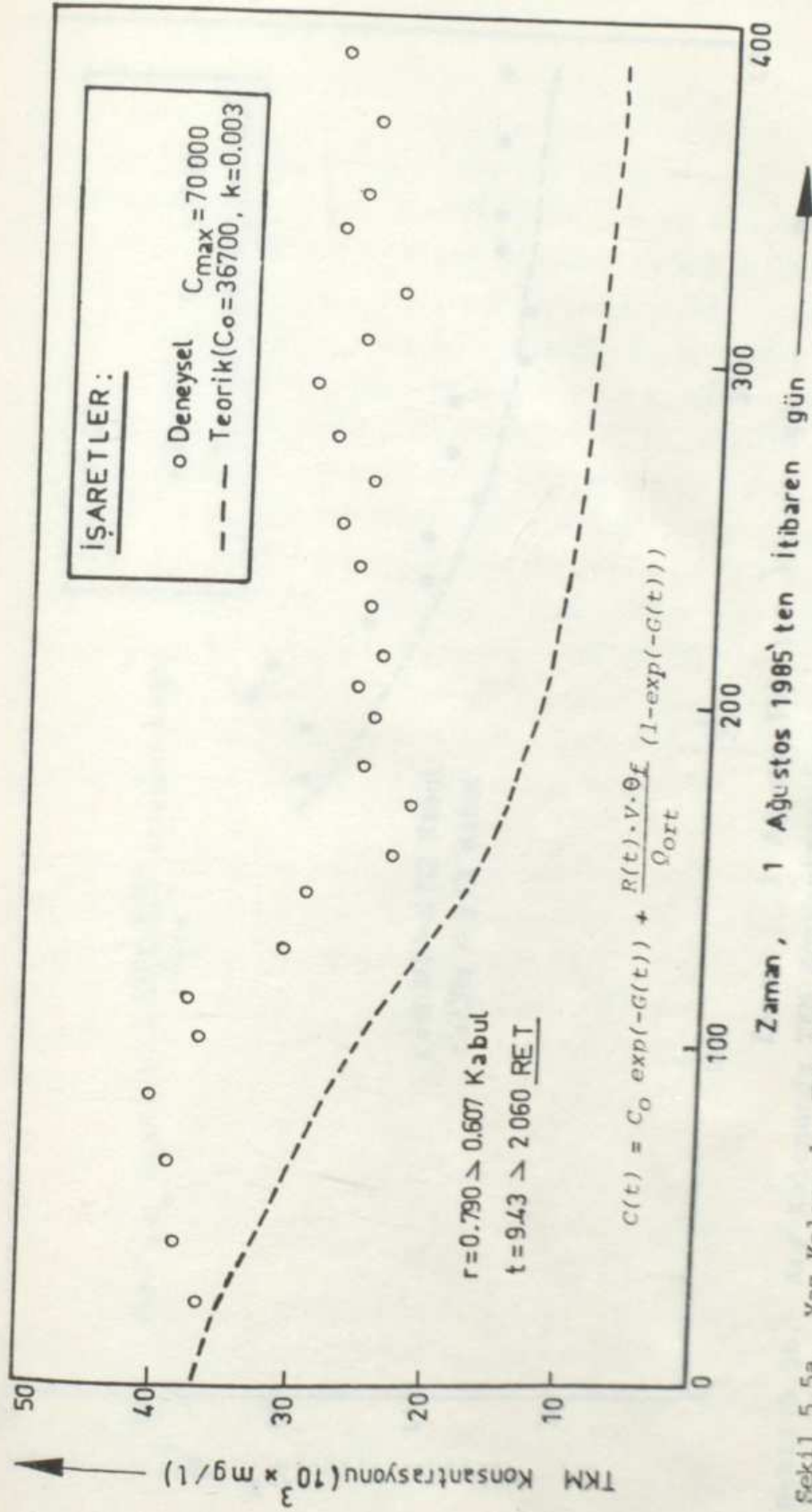


Sekil 5.4a. Yaz Kolonunda TKM Konsantrasyonunun, Straub ve Lynch' in Teklif Ettikleri Matematiksel Modelin Sabit R Hali İçin Tatbiki İle Belirlenmesi.



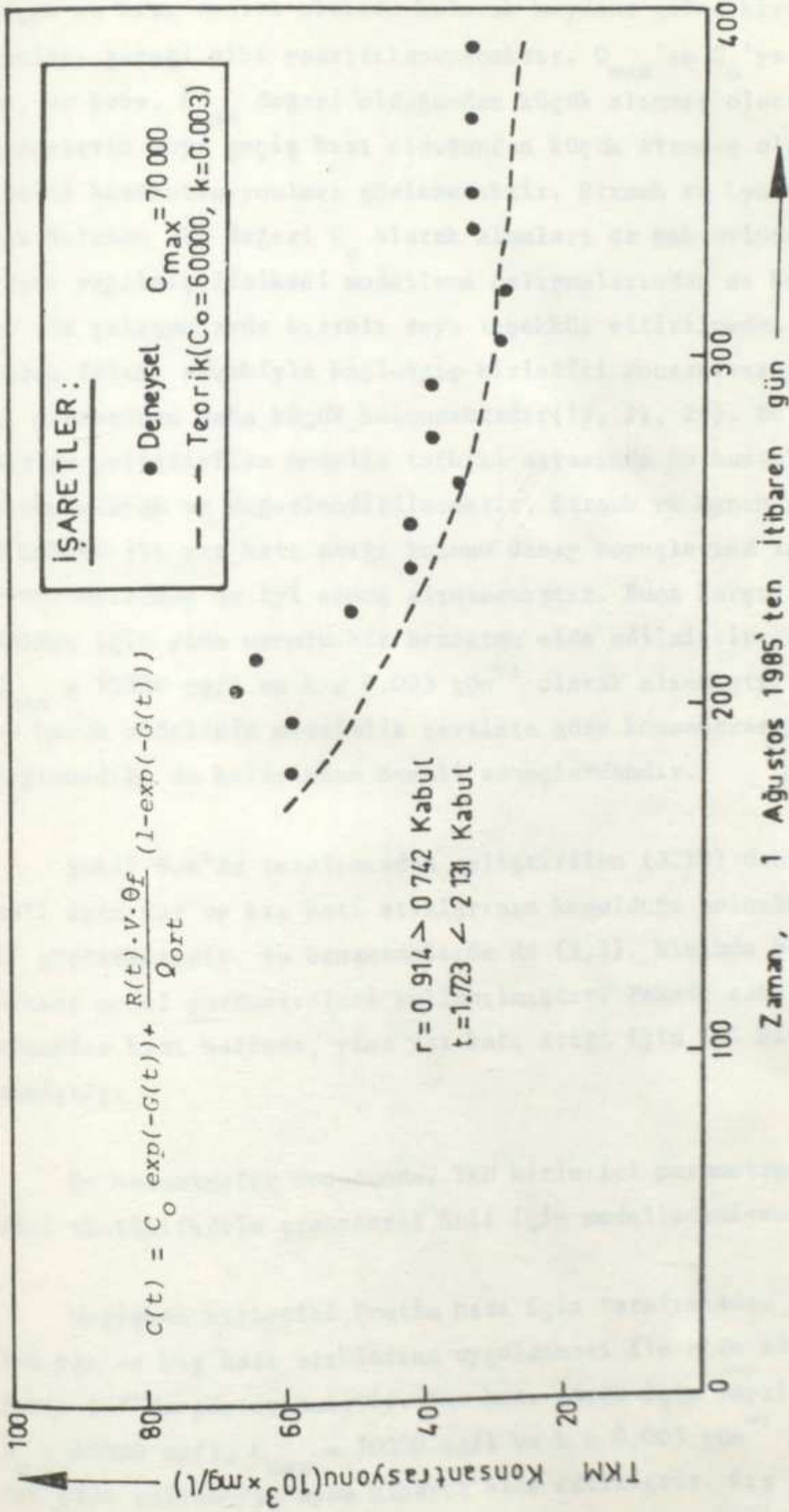


Sekil 5.4b. Kış Kolonunda T04 Konsantrasyonunun, Straub ve Lynch'in Teklif Ettikleri Matematiksel Modelin Sabit R Hali İçin Tatbiki İle Belirlenmesi



Şekil 5.5a. Yaz Kolonunda TKM Konsantrasyonunun, Straub ve Lynch'in Teklif Ettikleri Matematiksel Modelin Değişken R Hali İçin Tatbiki ile Belirlenmesi





Şekil 5.5b. Kış Kolonunda TKM Konsantrasyonunun, Straub ve Lynch'in Teklif Ettikleri Matematiksel Modelin Değişken R hali için Tatbiki ile Belirlenmesi



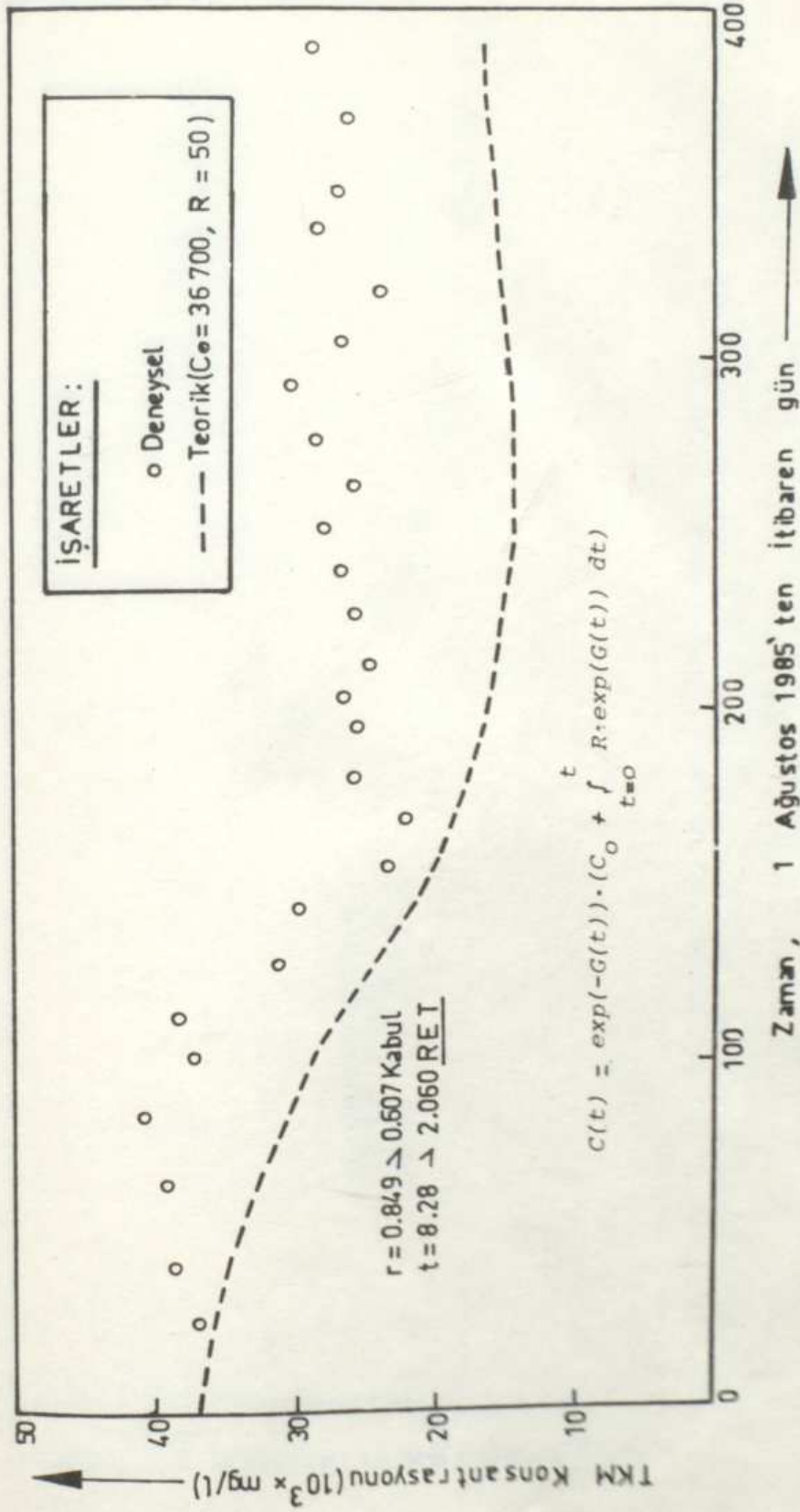
lanmamıştır. Çünkü, C_o 'ın C_{max} 'a eşitlenmesi halinde, gerçekte kolondan geçen su hızı tesiri altında kalarak meydana gelen kirletici konsantrasyonları gereği gibi yansıtılamayacaktır. C_{max} 'ın C_o 'ya eşit alınması ile de, bu kere, C_{max} değeri olduğundan küçük alınmış olacağı için, kirletici maddelerin suya geçiş hızı olduğundan küçük alınmış olacak ve küçük kirletici konsantrasyonları gözlenecektir. Straub ve Lynch'in deneysel olarak bulunan ilk değeri C_o olarak almaları da mahzurludur. Çünkü, literatürde yapılmış fiziksel modelleme çalışmalarından da belirlendiği gibi, bu tür çalışmalarda sızıntı suyu teşekkül ettirilmeden önce yapılan doyurma işlemi sebebiyle başlangıç kirletici konsantrasyon değerleri olması gerekenden daha küçük bulunmaktadır(13, 21, 24). Bu sebepten, tarafımızdan geliştirilen modelin tatbiki sırasında bu hususlar göz önünde bulundurulacak ve değerlendirilecektir. Straub ve Lynch modelinin değişken R kabulü ile yaz katı atığı kolonu deney sonuçlarına tatbiki ile yapılan benzetmelerden de iyi sonuç alınamamıştır. Buna karşılık, kış katı atık kolonu için yine uyumlu bir benzetme elde edilmiştir. Benzetmelerden $C_{max} = 70000$ mg/l ve $k = 0.003$ gün⁻¹ olarak alınmıştır. Ayrıca, Straub ve Lynch modelinin mevsimlik şartlara göre konsantrasyon değişimine uyum sağlamadığı da belirlenen önemli sonuçlardandır.

Şekil 5.6'da tarafımızdan geliştirilen (3.19) denkleminin, sabit R hali için yaz ve kış katı atıklarının konulduğu kolonlara uygulanmış şekli görülmektedir. Bu benzetmelerde de (5.1). kısımda belirlenen matematiksel model parametreleri kullanılmıştır. Fakat, sabit kirletici kütle transfer hızı halinde, yine yaz katı atığı için iyi bir uyum elde edilememiştir.

Bu benzetmeler sonucunda, TKM kirletici parametresinin sabit kirletici üretimi(kütle transferi) hali için modellenemeyeceği belirlenmiştir.

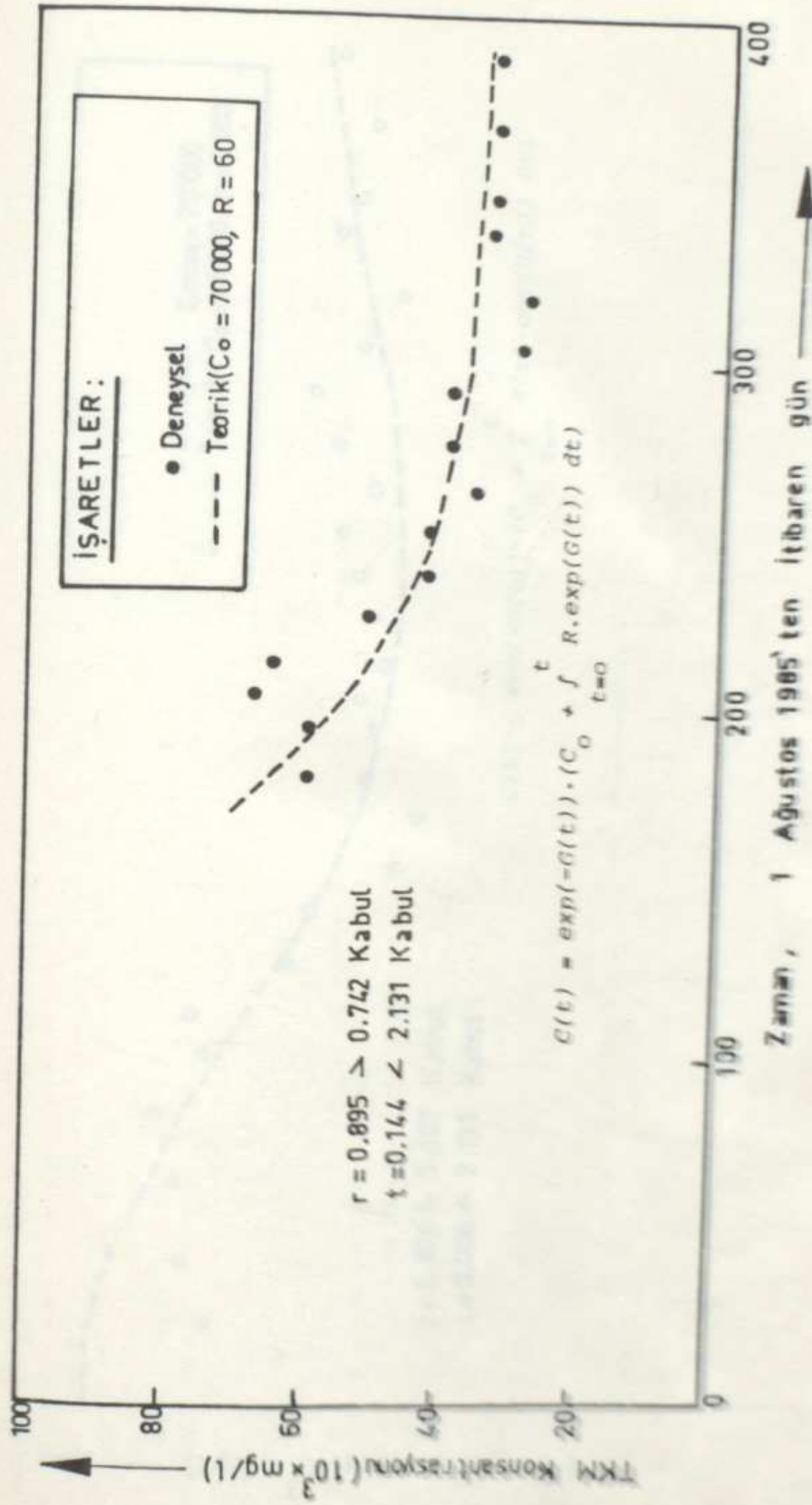
Değişken kirletici üretim hızı için tarafımızdan geliştirilen modelin yaz ve kış katı atıklarına uygulanması ile elde edilen benzetmeler Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Yaz katı atığı için yapılan benzetmelerde $C_o = 45000$ mg/l, $C_{max} = 70000$ mg/l ve $k = 0.003$ gün⁻¹ alınarak daha önceden elde edilemeyen uyum nihayet elde edilmiştir. Kış kolonu için de $C_o = 70000$ mg/l, $C_{max} = 70000$ mg/l ve $k = 0.003$ gün⁻¹ alınarak çok iyi





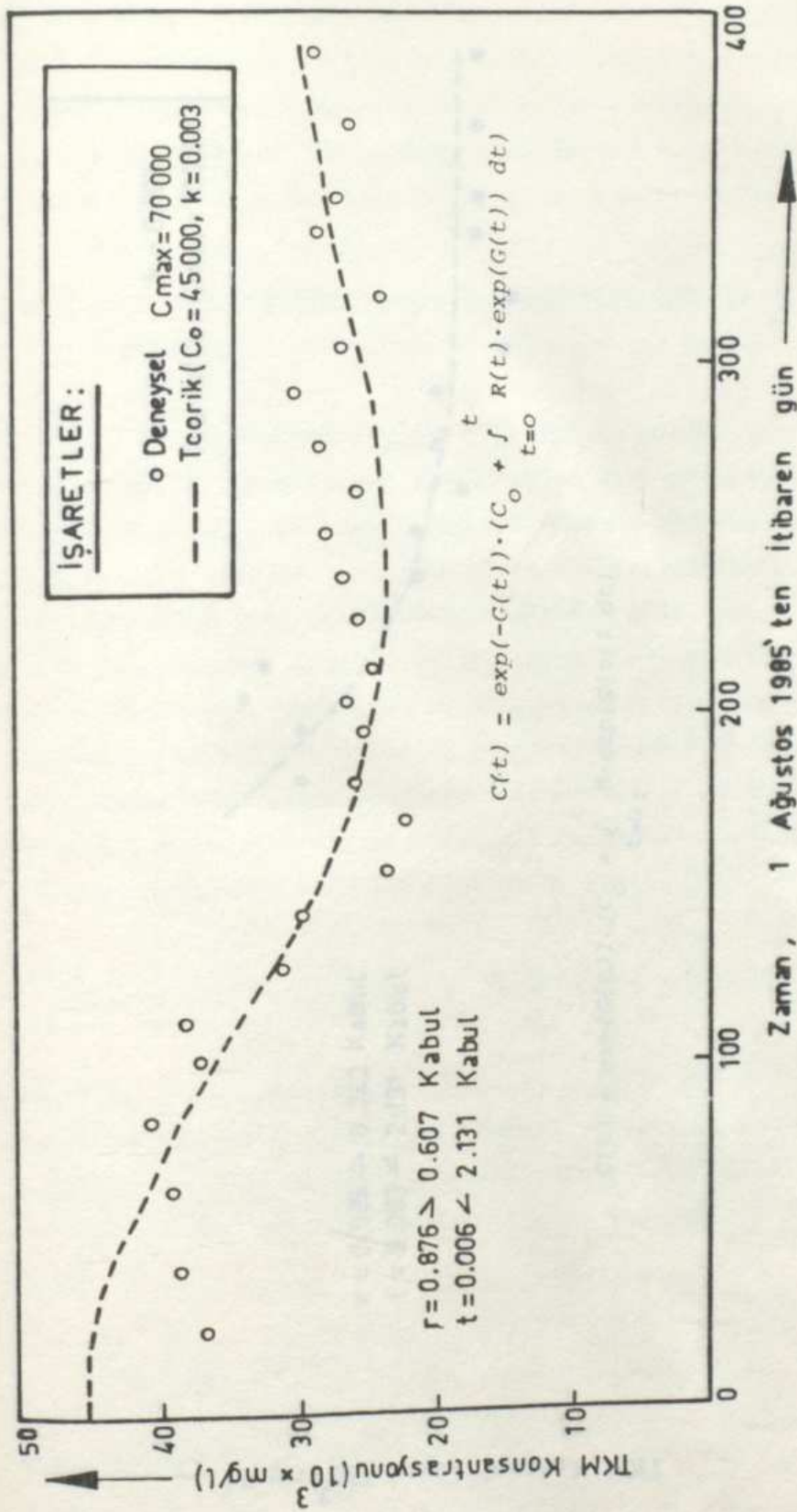
Şekil 5.6a, Yaz Kolonunda TKM Konsantrasyonunun, Tarafımızdan Gelistirilen Matematiksel Modelin Sabit R Hali için Tatbiki İle Belirlenmesi



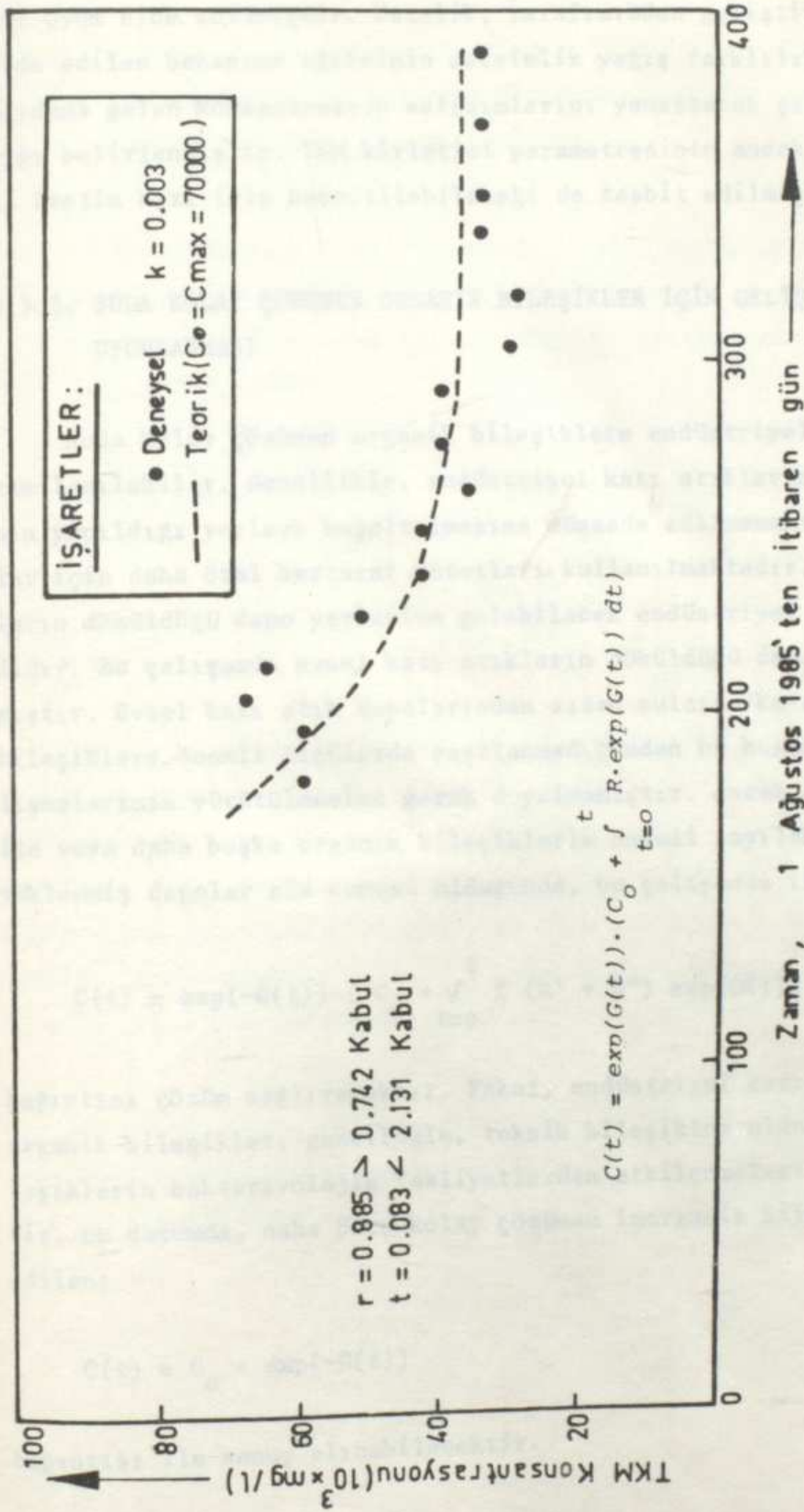


Sekil 5,6b, Kış Kolonunda TKM Konsantrasyonunun, Tarafımızdan Geliştirilen Matematiksel Modelin Sabit R Hali İçin Tatbiki İle Belirlenmesi





Sekil 5.7a. Yaz Kolonunda TKM Konsantrasyonunun, Tarafımızdan Geliştirilen Matematiksel Modelin Değişken R Hali İçin Tatbiki İle Belirlenmesi



Sekil 5.7b. Kış Kolonunda TKM Konsantrasyonunun, Tarafımızdan Geliştirilen Matematiksel Modelin Değişken R Hali İçin Tatbiki İle Belirlenmesi



bir uyum elde edilmiştir. Üstelik, tarafımızdan geliştirilen bu modelle elde edilen benzetme eğrisinin mevsimlik yağış farklılıkları sebebi ile meydana gelen konsantrasyon salınımlarını yansıtacak şekilde salınım yaptığı belirlenmiştir. TKM kirletici parametresinin ancak değişken kirletici üretim hızı için benzetilebileceği de tesbit edilmiştir.

5.3.3. SUDA KOLAY ÇÖZÜNEN ORGANİK BİLEŞİKLER İÇİN GELİŞTİRİLEN MODELİN UYGULANMASI

Suda kolay çözünen organik bileşiklere endüstriyel katı atıklarda rastlanılabilir. Genellikle, endüstriyel katı atıkların düzenli depolamanın yapıldığı yerlere boşaltılmasına müsaade edilmemektedir. Bu tür atıklar için daha özel bertaraf metotları kullanılmaktadır. Evsel katı atıkların döküldüğü depo yerlerine gelebilecek endüstriyel atıklar çok sınırlıdır. Bu çalışmada evsel katı atıkların döküldüğü depo yerleri ele alınmıştır. Evsel katı atık depolarından sızan sularda kolay çözünür organik bileşiklere önemli ölçülerde rastlanmadığından bu hususta ayrı deney çalışmalarının yürütülmesine gerek duyulmamıştır. Ancak, organik solventler ile veya daha başka organik bileşiklerle önemli sayılabilecek derecede yüklenmiş depolar söz konusu olduğunda, bu çalışmada ifade edilen:

$$C(t) = \exp(-G(t)) \cdot \left(C_0 + \int_{t=0}^t \Sigma (R' + R'') \exp(G(t)) dt \right) \quad (3.27)$$

bağıntısı çözüm sağlayacaktır. Fakat, endüstriyel katı atıklardan gelen organik bileşikler, genellikle, toksik bileşikler olduğu için, bu tür bileşiklerin bakteriyolojik faaliyetlerden etkilenmeleri söz konusu değildir. Bu durumda, daha önce kolay çözünen inorganik bileşikler için teklif edilen:

$$C(t) = C_0 \cdot \exp(-G(t)) \quad (3.7)$$

bağıntısı ile sonuç alınabilmektedir.



5.3.4. SU İLÂVESİ İLE ÇÖZÜNMEYE DEVAM EDEN ORGANİK KATI ATIK BİLEŞENLERİ İÇİN GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELİN UYGULANMASI VE DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI İLE MUKAYESESİ

Kolay çözünmeyen organik maddeler için, bu çalışmada tarafımızdan geliştirilen matematiksel modelin uygunluğunu göstermek üzere KOİ kirletici parametresi için elde edilen deneysel çalışma sonuçları kullanılmıştır. Kullanılan bağıntı:

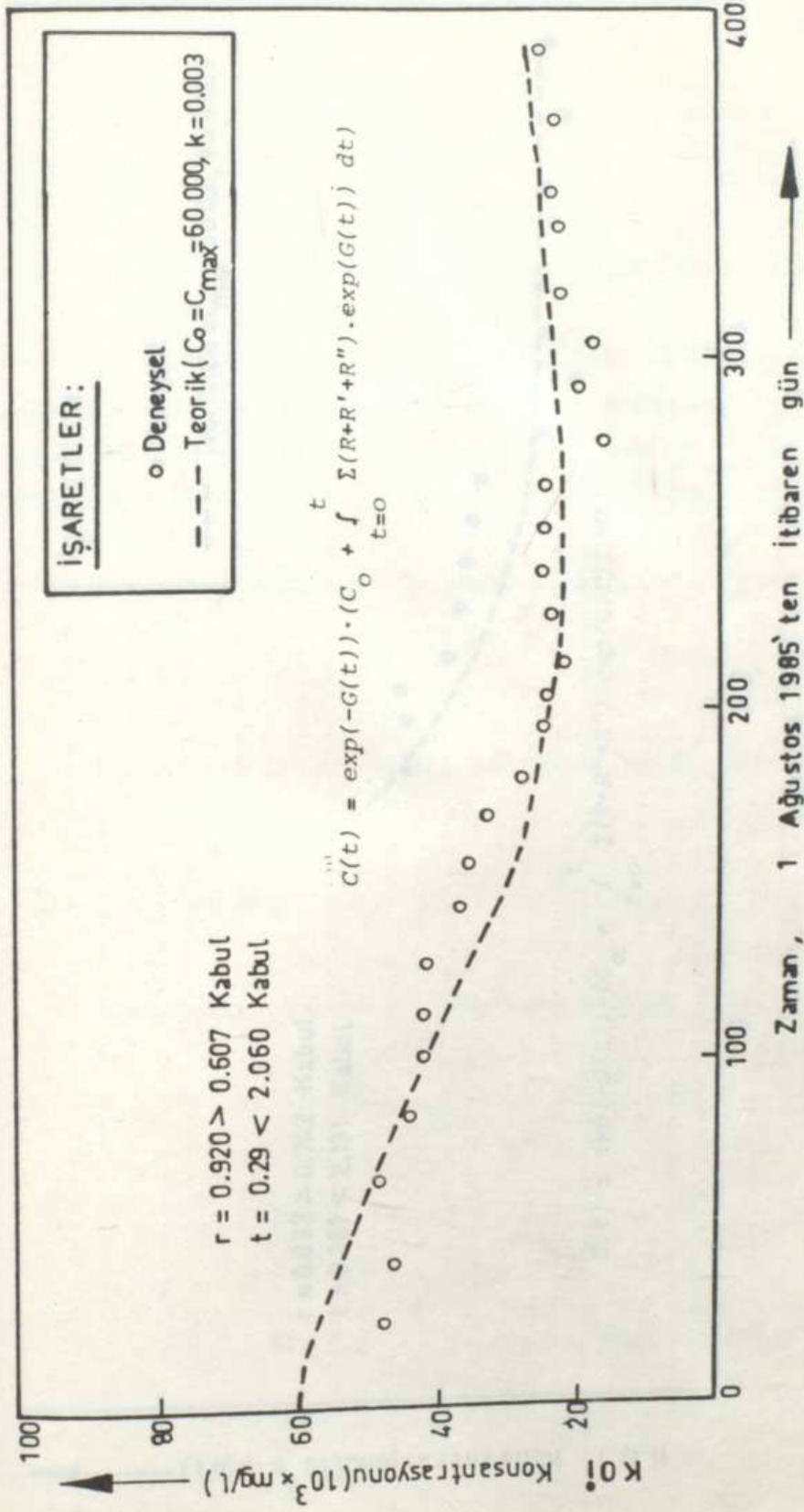
$$C(t) = \exp(-G(t)) \cdot \left(C_0 + \int_{t=0}^t \Sigma (R + R' + R'') \cdot \exp(G(t)) dt \right) \quad (3.30)$$

şeklindedir.

Yapılan benzetme sonuçları şekil 5.8'de gösterilmiştir. Yaz ve kış kolonları için yapılan benzetme çalışmalarında (5.1). kısımda izah edildiği şekilde $k = 0.003 \text{ gün}^{-1}$ değeri kullanılmış ve uygun C_0 ve $C_{\max}$ parametreleri seçimi ile mevsimlik su uygulama miktarlarına uygun olarak değişen çok iyi benzetilmiş eğriler elde edilmiştir. En iyi benzetilmiş eğriler; yaz kolonunda $C_0 = C_{\max} = 60000 \text{ mg/l}$ ve kış kolonu için ise $C_0 = C_{\max} = 50000 \text{ mg/l}$ değerleri için sağlanmıştır.

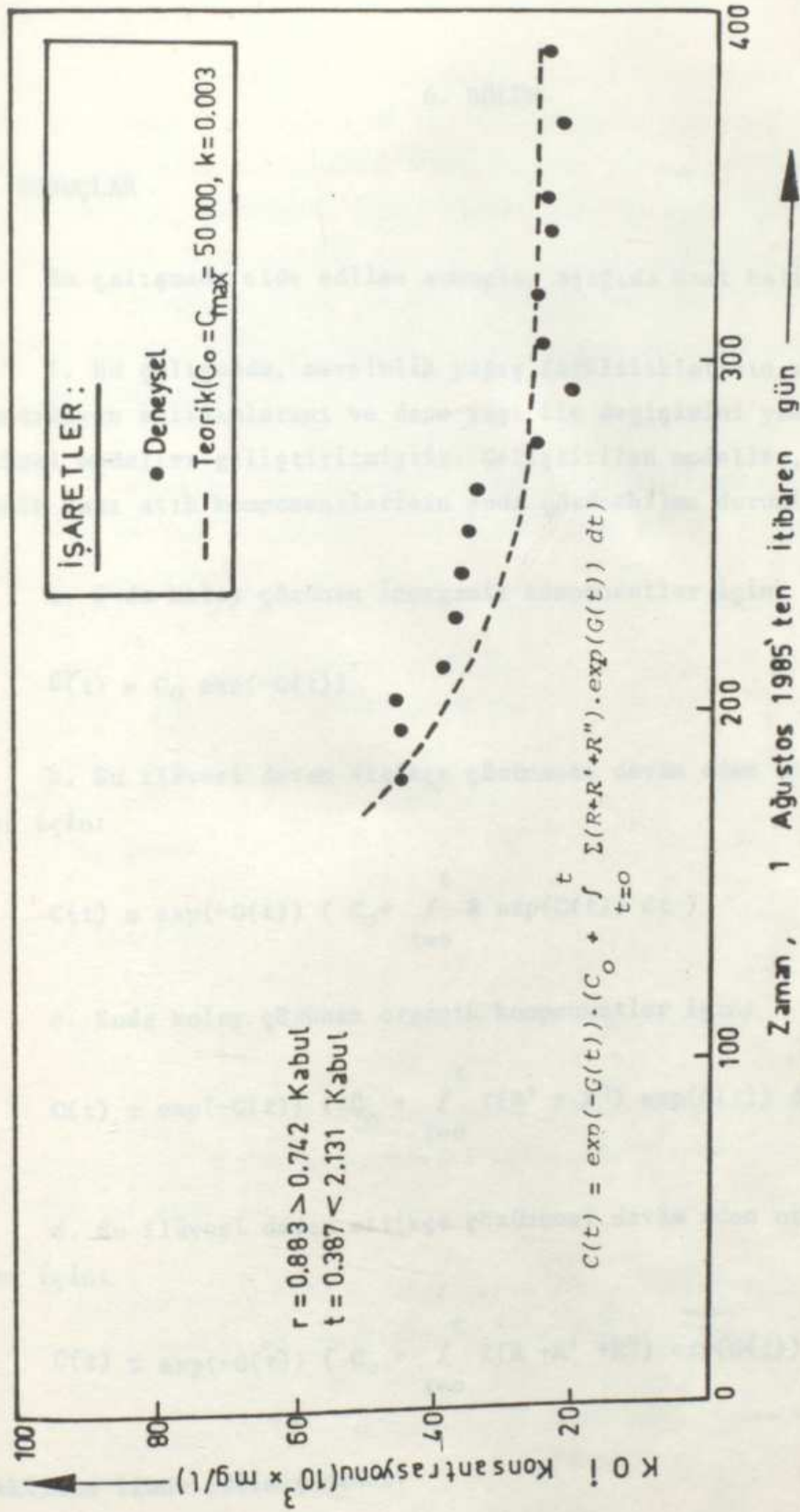
Bu sonuçlardan, KOİ parametresinin kolay çözünmeyen organik bileşik-leri temsil edebileceği belirlenmiştir. Ayrıca, katı atık bileşiminin C_0 ve $C_{\max}$ değerlerinin seçimini etkilediği de belirlenmiştir.





Şekil 5.8a. Yaz Kolonunda KOI Konsantrasyonunun, Tarafımızdan Geliştirilen Matematiksel Modelin Tatbiki ile Belirlenmesi





Şekil 5.8b. Kış Kolonunda KOI Konsantrasyonunun, Tarafımızdan Geliştirilen Matematiksel Modelin Tatbiki ile Belirlenmesi



6. BÖLÜM

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özet halinde verilmiştir:

1. Bu çalışmada, mevsimlik yağış farklılıklarının sebep olduğu konsantrasyon salınımlarını ve depo yaşı ile değişimini yansıtaçak matematiksel modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller, inorganik ve organik katı atık komponentlerinin suda çözünme durumlarına göre:

a. Suda kolay çözünen inorganik komponentler için:

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

b. Su ilâvesi devam ettikçe çözünmesi devam eden inorganik komponentler için:

$$C(t) = \exp(-G(t)) \left(C_0 + \int_{t=0}^t R \exp(G(t)) dt \right)$$

c. Suda kolay çözünen organik komponentler için:

$$C(t) = \exp(-G(t)) \left(C_0 + \int_{t=0}^t \Sigma(R' + R'') \exp(G(t)) dt \right)$$

d. Su ilâvesi devam ettikçe çözünmesi devam eden organik komponentler için:

$$C(t) = \exp(-G(t)) \left(C_0 + \int_{t=0}^t \Sigma(R + R' + R'') \exp(G(t)) dt \right)$$

şeklinde ifade edilmişlerdir.



2. Laboratuarda iki adet deney tesisi hazırlanmış ve bunlara İstanbul katı atıklarının yaz ve kış mevsimlerine ait özelliklerini temsil edecek katı atık karışımları hazırlanarak yerleştirilmiştir. Tesislerde su uygulamaları, mevsimlik yağış farklılıklarına uygun şekilde günlük olarak yapılmıştır. Elde edilen sızıntı sularında, geliştirilen modellerle ilgili olan klorür, sodyum, potasyum, toplam katı madde(TKM) ve kimyasal oksijen ihtiyacı(KOİ) kirletici parametreleri deneysel olarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarından:

a. sızıntı sularının çok yüksek konsantrasyonlar alabildiği ve araştırılan kirletici parametrelerin araştırma süresi boyunca gözlenen değişme aralıklarının:

KOİ için	: 48400-16250 mg/l
TKM için	: 67000-22100 mg/l
Klorür için	: 2370-165 mg/l
Sodyum için	: 3000-167 mg/l
Potasyum için	: 11000-310 mg/l

şeklinde olduğu,

b. Konsantrasyonların zamanla giderek azaldığı,

c. Kış mevsiminde meydana gelen yüksek infiltrasyon hızları sebebi ile kirletici konsantrasyonların olması gerekenden daha düşük değerler aldığı ve yine

d. Yaz mevsiminde meydana gelen düşük infiltrasyon hızları sebebi ile de kirletici konsantrasyonların yüksek değerler alabildiği ve

e. Katı atık bileşenlerinin, sızıntı suyu kirletici özelliklerinin değişiminde çok önemli etkilerde bulunduğu

tesbit edilmiştir.



3. Geliştirilen matematiksel modeller, laboratuarda kurulan deney tesislerinde yürütülen deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve çok iyi uyum sağladıkları görülmüştür. Uygunluk derecesini belirlemek için ayrıca, istatistikî analizler yapılmış ve müsbet sonuçlar gözlenmiştir.



EK-1

```
101 REM *****
102 rem *
103 rem *
103 REM * YAZ KATI ATIK KOLONUNDA KOLAY COZUNEN INORGANIK BILESENLERIN SIZINTI *
105 REM *
106 REM * SUYUNA ZAMANLA INTIKALINI VEREN PROGRAM
107 REM *
108 REM *
109 REM *****
110 REM
111 REM
112 REM Matematik Baginti :  $C(t)=C_0 \cdot \exp(-G(t))$ 
113 REM  $G(t)=\text{Integral}((t=0,t=t); Q(t)/(V \cdot \text{Tetaf}) \cdot dt)$ 
114 REM  $C_0$ : Baslangic konsantrasyonu, mg/l
115 REM V :Kati atik kitlesinin hacmi, l
116 REM TETAf:Kati atigin suya doyunluk kapasitesi, cm/cm
117 REM Q(t):Gunluk yagis degerleri, mm/m2
118 REM
119 REM
120 I=1
121 PRINT " Birinci Sene"
122 PRINT
123 REM G:G(t)
124 G=0
125 REM X:V
126 REM Y:TETAf
127 REM A:Kati atik kutlesi alani, m2
128 REM Z:A
129 REM U:C0
130 READ X,Y,Z,U
131 DATA 55,.526,.073062,1500
132 C=L500
133 GOSUB 500
134 PRINT
135 PRINT " Birinci sene bitti "
136 PRINT
137 PRINT
138 PRINT
139 PRINT " Ikinci Sene"
140 PRINT
141 I=365+1
142 RESTORE#
143 GOSUB 500
144 PRINT
145 PRINT " Ikinci sene bitti "
```



EK-1 (Devamı)

```
146 PRINT
147 PRINT
148 PRINT
149 PRINT " Ucuncu Sene"
150 PRINT
151 I=2*365+1
152 RESTORE#
153 GOSUB 500
154 PRINT
155 PRINT " Ucuncu sene bitti"
498 STOP
499 END
500 REM ***** ALT PROGRAM *****
501 REM
502 REM
503 FOR K=1 TO I+364
504 READ#Q
505 H=K/20
506 G=G+Q*Z/X/Y
507 C=U*EXP(-G)
508 N=INT(H)
510 GOTO 511
511 PRINT "C(";K:")";INT(C)
512 NEXT K
513 RETURN
514 END
```



EK-2

```
101 REM *****
102 rem *
103 REM *
104 rem * YAZ KATI ATIK KOLONUNDA KOLAY COZUNMEYEN INORGANIK BILESENLERIN
105 REM *
106 REM * SIZINTI SUYUNA ZAMANLA DEGISEN BIR HIZDA INTIKALINI VEREN PROGRAM
107 REM *
108 REM * R=DEGISKEN, BU CALISMADA GELISTIRILEN BAGINTI KULLANILMISTIR
109 REM *
110 REM *
111 REM *****
112 rem
113 REM
114 REM Matematik Baginti:  $C(t) = \exp(-G(t)) \{ Co + \int_{t=0}^{t=t} R(t) \exp(G(t)) dt \}$ 
115 rem
116 REM  $G(t) = \int_{t=0}^{t=t} Q(t) / (V * TETAf) dt$ 
117 REM Co= Baslangic konsantrasyonu, mg/l
118 REM V = Kati atik kitlesinin hacmi, l
119 REM TETAf= Kati atigin suya dogunluk kapasitesi, cm/cm
120 REM  $R(t) = k * [S(t) / So] * [Cmax - C(t)]$ 
121 REM R(t)= Kirletici madde kutle transfer hizi, mg/l/gun
122 REM k=Kirletici madde kutle transfer hizi katsayisi, l/gun
123 REM S(t)= t aninda kati atik kutlesi icinde mevcut olan sızabilir kati madde
124 rem miktarı, kg
125 REM So= baslangicta kati atik kutlesi icinde mevcut olan sızabilir kati mad-
126 rem de miktarı, kg
127 REM Cmax= maksimum kirletici konsantrasyonu, mg/l
128 REM C(t)= t anindaki kirletici konsantrasyonu, mg/l
129 REM Q(t)= gunluk yagis degerleri, mm/m2
130 REM
131 REM
132 I=0
133 T=0
134 G=0
135 REM X=V
136 REM Y=TETAf
137 REM A=Kati atik kutlesialani, m2
138 REM Z=A
139 REM U=Co
140 REM B=k
141 REM W=Cmax
142 REM L=So
143 READ X,Y,Z,U,B,W,L
144 DATA 55,.524,.073062,50000,.0030,70000,8000
145 LET C=50000
146 J=1
147 PRINT "birinci sene"
148 PRINT
149 PRINT
150 GOSUB 500
151 PRINT
```



EK-2 (Devamı)

```
152 PRINT
153 PRINT "ikinci sene"
154 PRINT
155 PRINT
156 J=365+1
157 RESTORE#
158 GOSUB 500
159 PRINT
160 PRINT
161 PRINT "ucuncu sene"
162 PRINT
163 PRINT
164 J=2*365+1
165 RESTORE#
166 GOSUB 500
167 PRINT
168 PRINT
498 STOP
499 END
500 REM ***** ALT PROGRAM *****
501 REM
502 FOR K=J TO J+364
503 READ# A
504 G=G+A*Z/X/Y
505 T=T+A*Z*C*10^(-3)
506 S=L-T
507 R=(S/L)*B*(W-C)
508 I=I+R*EXP(G)
509 C=EXP(-G)*(U+I)
510 H=K/10
511 N=INT(H)
512 IF H=N THEN 529
528 GOTO 530
529 PRINT "C(";K;")=";INT(C)
530 NEXT K
540 RETURN
550 END
```



EK-3

```
10 REM *****
20 REM *
30 REM * YAZ KATI ATIK KOLONUNDA KOLAY COZUNMEYEN ORGANİK BİLEŞENLERİN *
40 REM *
50 REM * SIZINTI SUYUNA ZAMANLA DEĞİŞEN BİR HIZDA İNTİKALINI VEREN PROGRAM *
60 REM *
70 REM * R=DEĞİŞKEN, BU ÇALIŞMADA GELİSTİRİLEN BAĞINTI KULLANILMIŞTIR *
80 REM *
90 REM *
100 REM *****
105 REM
110 REM
120 REM Matematik Bağntı:  $C(t) = \exp(-G(t)) \{ C_0 + \int_{(t=0, t=t)} (R+R'+R'') \cdot$ 
125 REM  $\exp(G(t)) dt \}$ 
130 REM  $G(t) = \int_{(t=0, t=t)} Q(t) / (V \cdot TETAf) dt$ 
140 REM  $C_0$ : Başlangıç konsantrasyonu, mg/l
150 REM  $V$  : Kati atık kitlesinin hacmi, l
160 REM  $TETAf$ : Kati atığın suya doygunluk kapasitesi, cm/cm
170 REM  $R(t) = k \cdot [S(t)/S_0] \cdot [C_{max} - C(t)]$ 
180 REM  $R(t)$ : Kirleticisi madde kutle transfer hızı, mg/l/gun
181 REM  $R'(t)$ : Besi maddesi kullanma hızı
182 REM  $R''(t)$ : Mikroorganizma cogalma hızı, mg/l/gun
190 REM  $k$ : kirleticisi madde kutle transfer hızı katsayısı, l/gun
200 REM  $S(t)$ : t anında kati atık kutlesi içinde mevcut olan sızabilir kati madde
210 REM  $S_0$ : başlangıçta kati atık kutlesi içinde mevcut olan sızabilir kati mad-
215 REM de miktarı, kg.
220 REM  $C_{max}$ : maksimum kirleticisi konsantrasyonu, mg/l
230 REM  $C(t)$ : t anındaki kirleticisi konsantrasyonu, mg/l
240 REM  $Q(t)$ : günlük yağış değerleri, mm/m2
241 REM  $R' = MU_{max} \cdot X(t) \cdot C(t) / \{ Y \cdot [K_s + C(t)] \}$ 
242 REM  $R'' = -Y \cdot R' - k_d \cdot X(t)$ 
243 REM  $MU_{max}$ : Maksimum spesifik substrat kullanma hızı: 0.0363 l/gun
244 REM  $X_0$ : Başlangıç mikroorganizma kons., mg/l: 2.0
245 REM  $Y$ : Donusum katsayısı, 0.04 mg/mg
246 REM  $K_s$ : Yarı doygunluk sabiti, mg/l: 5000
247 REM  $k_d$ : ic solunum sabiti
250 REM
260 REM
270 I=0
280 T=0
290 G=0
300 REM X=V
310 REM Y=TETAf
320 REM A:Kati atık kutlesi alanı, m2
330 REM Z=A
340 REM U=C0
350 REM B=k
360 REM W=Cmax
370 REM L=S0
```



EK-3 (Devamı)

```
380 READ X,Y,Z,U,B,W,L
390 DATA 55.524,.073062,50000,.0030,70000,8000
400 LET C=50000
410 J=1
420 PRINT "birinci sene"
430 PRINT:PRINT
440 GOSUB 800
450 PRINT:PRINT
460 PRINT "ikinci sene"
470 PRINT:PRINT
480 J=365+1
490 RESTORE#
500 GOSUB 800
510 PRINT:PRINT
520 PRINT "ucuncu sene"
530 PRINT:PRINT
540 J=2*365+1
550 RESTORE#
560 GOSUB 800
570 STOP
580 END
590 REM ***** ALT PROGRAM *****
600 REM
610 FOR K=J TO J+364
620 READ# A
630 G=G+A*Z/X/Y
640 T=T+A*Z*C*10-3
650 S=L-T
660 R=(S/L)*B*(W-C)
670 I=I+R*EXP(G)
680 C=EXP(-G)*(U+I)
690 H=K/10
700 F=-.03625*M*V/(.04*(5000+V))
710 P=-.04*F-.01*M
720 E=E+P*EXP(G)
730 Q=Q+(R+F+P)*EXP(G)
740 V=EXP(-G)*(U+Q)
750 M=.04*(C-V)/(1+.01*105)
760 N=INT(H)
770 N=INT(M)
780 IF H=N THEN 940
790 GOTO 950
800 PRINT"C(";K;")=";INT(C);"      ";M(";K;")=";M
810 NEXT K
820 RETURN
830 END
```



REFERANSLAR

- 1- DASS, P., TAMKE, G.R., STOFFEL, C.M. : "Leachate Production at Sanitary Landfill Sites", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, V. 103, No. EE6, December, 1977.
- 2- TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., ELIASSEN, R. : "Solid Wastes, Engineering Principles and Management Issues", McGraw Hill Co., 1977.
- 3- CAMERON, R.D., KOCH, F.A. : "Toxicity of Landfill Leachates", Jour. WPCF, V. 52, No. 4, April, 1980.
- 4- METRY, A., CROSS, F.L. : "Leachate Control and Treatment", Environmental Monograph Series, V. 7, Technomic Publishing Co., Inc., Westport, 1976.
- 5- SALVATO, J.A., WILKIE, W.G., MEAD, B.E. : "Sanitary Landfill Leaching Preventing and Control", Journal WPCF, V. 43, No. 10, 1971.
- 6- EHRIG, H.J. : "Quality and Quantity of Sanitary Landfill Leachate", Waste Management and Research Journal, No. 1, 1983.
- 7- STEGMANN, R., EHRIG, H.J. : "Operation and Design of Biological Leachate Treatment Plants", Progress Water Technogy, V. 12, Toronto, IAWPR/Pergamon Press Ltd., 1980.
- 8- HOPKINS, G.J., POPALISKY, J.R. : "Influence of an Industrial Waste Landfill Operation on a Public Water Supply", Journal WPCF, V. 42, No. 3, 1970.
- 9- GÖNÜLLÜ, M.T., BAŞTÜRK, A., SAN, H.A. : "Sızıntı Suyu Problemi Bakımından İstanbul Katı Atık Depo Yerlerinin İncelenmesi", Çevre'86 Sempozyumu, 2-5 Haziran 1986, İzmir.
- 10- CAMERON, R.D. : "The Effects of Solid Waste Landfill Leachates on Receiving Waters", Journal AWWA, 1978.



- 11- GRIFFIN, R.A. ve ARKADAŞLARI : "Attenuation of Pollutants in Municipal Landfill Leachate by Passage Through Clay", Environmental Science and Technology Journal, V. 10, No. 13, 1976.
- 12- BAGHCI, A. : "Design of Natural Attenuation Landfills", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, V. 109, No. 4, 1983.
- 13- POHLAND, F.G. : "Accelerated Solid Waste Stabilization and Leachate Treatment by Leachate Recycle Through Sanitary Landfills", Progress in Water Technology, V. 7, Nos. 3/4, Pergamon Press, 1975.
- 14- POHLAND, F.G. : "Leachate Recycle as Landfill Management Option", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, V. 106, No. EE6, December, 1980.
- 15- TITTLEBAUM, M.E. : "Organic Carbon Content Stabilization Through Landfill Leachate Recirculation", Journal WPCF, V. 54, No. 5, 1982.
- 16- GÖNÜLLÜ, M.T., BAŞTÜRK, A., SAN, H.A. : "Sızıntı Sularının Uzaklaştırılma İmkânları ve Arıtılabilirliği", Çevre'86 Sempozyumu, 2-5 Haziran 1986, İzmir.
- 17- COOK, n.C., FOREE, E.G. : "Aerobic Biostabilization of Sanitary Landfill Leachate", Journal WPCF, V. 46, No. 2, February, 1974.
- 18- BOYLE, W.C., HAM, R.K. : "Biological Treatability of Landfill Leachate", Journal WPCF, V. 46, No. 5, May, 1974.
- 19- HO, S., BOYLE, W.C., HAM, R.K. : "Chemical Treatment of Leachates from Sanitary Landfills", Journal WPCF, V. 46, No. 7, July, 1974.
- 20- SOYUPAK, S., FARQUHAR, G.J., SYKES, J.F. : "Camp Borden Landfill Research Programme, V. 1: A Study of Anaerobic Biodegradation Kinetics of a Leachate", University of Waterloo Research Institute, November, 1978.
- 21- QASIM, S.R., BURCHINAL, J.C. : "Leaching from Simulated Landfills", Journal WPCF, V. 42, No. 3, Part 1, March, 1970.



- 22- FUNGAROLI, A.A., STEINER, R.L. : "Laboratory Study of the Behavior of a Sanitary Landfill", Journal WPCF, V. 43, No. 2, February, 1971.
- 23- ROVERS, F.A., FARQUHAR, G.J. : "Infiltration and Landfill Behavior", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, V. 99, No. EE5, October, 1973.
- 24- RAVEH, A., AVNIMELECH, Y. : "Leaching of Pollutants from Sanitary Landfill Models", Journal WPCF, V. 51, No. 11, November, 1979.
- 25- REPORT EPS 4-EC-80-4 : "Study of the Effects of Septic Tank Pumping Additions on Solid Waste Landfill Leachates, A Summary", Environment Canada, December, 1980.
- 26- REPORT EPS 4-EC-82-7 : "Toxicity of Landfill Leachates", Environment Canada, December, 1982.
- 27- BOOKTER, T.J., HAM, R.K. : "Stabilization of Solid Waste in Landfills", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, V. 108, No. EE6, December, 1982.
- 28- HAM, R.K., BOOKTER, T.J. : "Decomposition of Solid Waste in Test Lysimeters", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, V. 108, No. EE6, December, 1982.
- 29- COLLINS, H.J., SPILLMANN, P. : "Lysimeters for Simulating Sanitary Landfills", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, V. 108, No. EE5, October, 1982.
- 30- JACKSON, D.R., GARRETT, B.C., BISHOP, T.A. : "Comparison of Batch and Column Methods for Assessing Leachability of Hazardous Waste", Environmental Science and Technology, V. 18, No. 9, 1984.
- 31- REMSON, I., FUNGAROLI, A.A., LAWRENCE, A.W. : "Water Movement in an Unsaturated Sanitary Landfill", J. of the Sanitary Eng. Div., ASCE, No. SA2, April, 1968.



- 32- BURNS, J., KARPINSKI, G. : "Water Balance Method Estimates How Much Leachate Site Will Produce", Solid Wastes Management, RRJ, August, 1980.
- 33- DÖNMEZ, Y. : "Umumî Klimatoloji ve İklim Çalışmaları", İstanbul Univ. Yayın No. 2506, Coğrafya Enstitüsü Yayın No. 102, Güryay Matbaacılık, İstanbul, 1984.
- 34- STRAUB, W.A., LYNCH, D.R. : "Models of Landfill Leaching: Moisture Flow and Inorganic Strength", J. of the Env. Eng. Div., ASCE, V. 108, No. EE2, April, 1982.
- 35- DEMETRACOPOULOS, A.C., KORFIATIS, G.P. : "Modeling Water Movement Through Sanitary Landfills", Proceedings of the Conference on Frontiers in Hydraulic Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, August 9-12, 1983.
- 36- KORFIATIS, G.P. ve ARKADAŞLARI : "Moisture Transport in a Solid Waste Column", J. of the Env. Eng. Div., ASCE, V. 110, No. 4, August, 1984.
- 37- DEMETRACOPOULOS, A.C., SEHAYEK, L., ERDOGAN, H. : "Modeling Leachate Production from Municipal Landfills", J. of the Env. Eng. Div., ASCE, V. 112, No. 5, October, 1986.
- 38- QASIM, S.R., BURCHINAL, J.C. : "Leaching of Pollutants from Refuse Beds", J. of the Sanitary Engineering Division, ASCE, V. 96, No. SA1, February, 1970.
- 39- HIESTER, N.K., VERMEULEN, J. : "Saturation Performance of Ion-Exchange and Adsorption Columns", Chemical Engineering Progress, V. 48, 1952.
- 40- STRAUB, W.A., LYNCH, D.R. : "Models of Landfill Leaching: Organic Strength", J. of the Env. Eng. Div., ASCE, V. 108, No. EE2, April, 1982.
- 41- STONE, R. : "Landfill Disposal of Liquid Sewage Sludge", J. of the Env. Eng. Div., ASCE, V. 101, No. EE1, February, 1975.
- 42- LECKIE, J.O., PACEY, J.G., HALVADAKIS, C. : "Landfill Management with Moisture Control", J. of the Env. Eng. Div., ASCE, V 105, No EE2, 1979.



- 43- BAŞTÜRK, A. : "İstanbul Katı Artık Zararlarının Giderilmesinde Çözüm Yolları", TÜBİTAK Çevre Araş. Grubu Proje No. ÇAĞ-11, İstanbul, 1980.
- 44- T.C. BAŞBAKANLIK DEVLET METEOROLOJİ İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ : "Ortalama, Ekstrem Sıcaklık ve Yağış Değerleri Bülteni(Günlük-Aylık)", Ankara, 1984.
- 45- APHA, AWWA, WPCF : "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 14th Edition, 1975.
- 46- APHA, AWWA, WPCF : "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 16th Edition, 1985.
- 47- REPORT EPS 4-EC-75-2 : "Procedures for the Analysis of Landfill Leachate, Proceedings of an International Seminar", Environment Canada, 1975.
- 48- JOHANSEN, O.J., CARLSON, D.A. : "Characterization of Sanitary Landfill Leachates", Water Research, V. 10, 1976.
- 49- CHIAN, E.S.K., DEWALLE, F.B. : "Sanitary Landfill Leachates and Their Treatment", J. of the Env. Eng. Div., ASCE, V. 102, No. EE2, 1976.
- 50- FRASER, J.A.L., SIMS, A.F.E. : "Tip Leachate Treatment Using Hydrogen Peroxide", Water Pollution Control, 1983.
- 51- CAMERON, R.D., KOCH, F.A. : "Trace Metals and Anaerobic Digestion of Leachate", J. WPCF, V. 52, No. 2, February, 1980.
- 52- SYKES, J.F., SOYUPAK, S., FARQUHAR, G.J. : "Modeling of Leachate Organic Migration and Attenuation in Groundwaters Below Sanitary Landfills", Water Resources Research, V. 18, No. 1, February, 1982.
- 53- SOYUPAK, S., FARQUHAR, G.J., SYKES, J.F. : "Modelling Contaminant Attenuation in Soil: Microbial Decomposition of Organic Matter", The Dumping Landfill of Hazardous Wastes, IV. Annually Symposium, EPA, Texas, 1978.
- 54- GÜRTAN, K. : "İstatistik ve Araştırma Metodları", İst. Üniv. Yayın No. 2941, Beşinci Baskı, İstanbul, 1982.



HAL TERCÜMESİ

Yük. Müh. M. Talha Gönüllü, 1959 yılında Malatya'da doğmuş 1976 yılında Malatya Lisesini bitirmiş, aynı yıl girdiği İ.T.Ü. Kimya Fakültesinden 1981 yılında mezun olmuştur. Mezuniyetini müteakiben aynı yıl İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde lisans üstü öğrenimine başlamış ve 1983 yılında bitirmiştir. Haziran 1982 tarihinde aynı bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır.

Halen İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.



