



## Leachate characterization in bioreactor landfill areas

Esra Tınmaz Köse<sup>\*1</sup>, İbrahim Demir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Environmental Engineering Department, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Turkey

<sup>2</sup>Environmental Engineering Department, İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey

### Highlights:

- Factors effecting leachate characterization in bioreactor landfill areas
- Leachate characterization in leachate recirculated bioreactor landfill areas
- Leachate characterization in aerated bioreactor landfill areas

### Keywords:

- Aeration
- Bioreactor landfill
- Leachate
- Recirculation

### Article Info:

Research Article  
Received: 23.06.2018  
Accepted: 01.02.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.435886

### Acknowledgement:

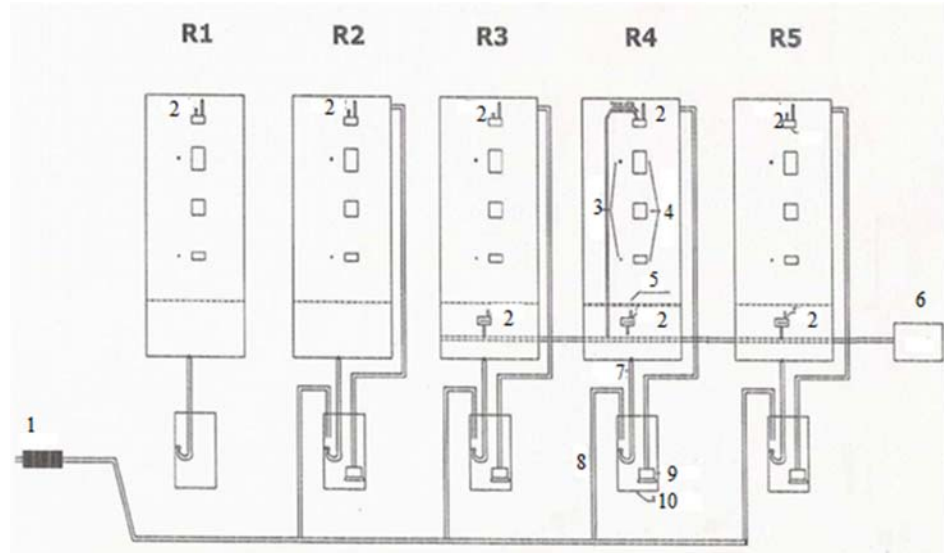
This study was supported by İstanbul Technical University and İstanbul Metropolitan. Experimental studies were conducted in Namık Kemal University and İSTAÇ AŞ. We would like to thank these units.

### Correspondence:

Author: Esra Tınmaz Köse  
e-mail: etinmaz@nku.edu.tr  
phone: +90 282 250 2357

### Graphical/Tabular Abstract

**Theory and Methods:** In the content of this study, the effects of leachate recirculation, aeration and aeration direction, waste composition, on leachate pollutant concentrations were investigated on a pilot scale. Schematic views of the reactors are presented in Figure A.



**Figure A.** Schematic view of reactors ((1: Water meter, 2: Air inlet, 3: Thermometer, 4: Sampling point, 5: Grille, 6: Fan, 7: Leachate line, 8: Clean water inlet, 9: Submersible pompo, 10: Leachate tank)

**Purpose:** Landfilling of wastes is the ultimate disposal method applied worldwide. However, the storage of wastes can often cause environmental pollution and can affect live health negatively. In order to avoid these problems, efforts have been made to investigate the landfilling of waste in the bioreactor landfill areas. Bioreactor landfilling is a system that accelerate waste degradation according to conventional landfilling by decomposing, compressing, storing together with sewage sludge, adding enzyme and buffer, recirculating of leachate or applying aeration, and aiming to reach stable waste as soon as possible.

**Results:** When the data obtained from the study were evaluated, they were found that leachate recirculation and ventilation were effective in reducing leachate pollutant concentrations. It has been found that performing the aeration direction from the top or bottom of the reactor alters the leachate characterization and the top aeration is more effective. It has been also determined that the size reduction and aeration are effective systems for the removal of pollutant concentrations in the leachate.

**Conclusion:** It has been determined that leachate was formed in different characterization from the reactors where the mixed wastes were stored. It was concluded that it was the most efficient method to be stored of wastes in the reactors which were operated with the combination of leachate recirculation and aeration from the top of bioreactor.



## Biyoreaktör depolama alanlarında sızıntı suyu karakterizasyonu

Esra Tınmaz Köse\*<sup>1</sup> , İbrahim Demir<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çorlu/Tekirdağ, Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak/İstanbul, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Biyoreaktör depolama alanlarında sızıntı suyu karakterizasyonunu etkileyen faktörler
- Sızıntı suyu geri devirli biyoreaktör depolama alanlarında sızıntı suyu karakterizasyonu
- Havalandırmalı biyoreaktör depolama alanlarında sızıntı suyu karakterizasyonu

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 23.06.2018

Kabul: 01.02.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.435886

### Anahtar Kelimeler:

Havalandırma,  
biyoreaktör depolama,  
sızıntı suyu,  
devridaim

### ÖZET

Atıkların depolanması, Dünya genelinde uygulanan nihai bertarafı yöntemidir. Ancak atıkların depolanması sıklıkla çevre kirliliğine neden olabilmekte ve canlı sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu sorunlarının önüne geçilebilmesi adına atıkların biyoreaktör depolama alanlarında depolanabilirliğinin araştırılması çalışmaları göndeme gelmiştir. Biyoreaktör depolama alanları, atıkların parçalanarak, sıkıştırılarak, arıtma çamurları ile birlikte depolanarak, enzim ve tampon madde ilave edilerek, sızıntı suyu geri devretirilerek veya havalandırma uygulanarak konvansiyonel depolamaya göre atık bozunmasını hızlandıran ve kararlı atığa en kısa sürede ulaşmayı hedefleyen sistemlerdir. Bu çalışmada kapsamında, sızıntı suyu geri devrinin, havalandırmanın ve havalandırma yönünün ve atık içeriğinin biyoreaktör depolama alanlarından oluşan sızıntı sularının ihtiva ettiği kirletici konsantrasyonları üzerindeki etkileri pilot ölçekli olarak araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre atık boyutunun küçültülmesinin ve havalandırmanın sızıntı suyunun neden olduğu kirleticilerin giderimi açısından etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca havalandırmanın reaktörün üstünden yapılmasının da etkili bir uygulama olduğu sonucuna varılmıştır.

## Leachate characterization in bioreactor landfill areas

### H I G H L I G H T S

- Factors effecting leachate characterization in bioreactor landfill areas
- Leachate characterization in leachate recirculated bioreactor landfill areas
- Leachate characterization in aerated bioreactor landfill areas

### Article Info

Research Article

Received: 23.06.2018

Accepted: 01.02.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.435886

### Keywords:

Aeration,  
bioreactor landfill,  
leachate,  
recirculation

### ABSTRACT

Landfilling of wastes is the ultimate disposal method applied worldwide. However, the storage of wastes can often cause environmental pollution and can affect live health negatively. In order to avoid these problems, efforts have been made to investigate the landfilling of waste in the bioreactor landfill areas. Bioreactor landfilling is a system that accelerate waste degradation according to conventional landfilling by decomposing, compressing, storing together with sewage sludge, adding enzyme and buffer, recirculating of leachate or applying aeration, and aiming to reach stable waste as soon as possible. In the content of this study, the effects of leachate recirculation, aeration and aeration direction, waste composition, on leachate pollutant concentrations were investigated on a pilot scale. According to the results of the study, it has been determined that the size reduction and aeration are effective systems for the removal of pollutant concentrations in the leachate. It has also been concluded that the aeration from the top of reactor is also an effective application.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: etinmaz@nku.edu.tr, idemir@itu.edu.tr / Tel: +90 282 250 2357

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Atıkların depolanması, Dünya genelinde sıklıkla uygulanan nihai bertaraf yöntemidir. Atıkların anaerobik olarak bozunmasının gerçekleştiği bu alanlarda oluşan sızıntı sularının yüksek kirletici konsantrasyonları, atık stabilizasyon süresinin uzun olması nedeniyle, zemin ve üst yüzey geçirimsizlikleri sağlanmış olsa da sözkonusu konvansiyonel depolama alanların çevre ve canlı sağlığı üzerinde uzun süreli olumsuz etkileri sözkonusudur [1]. Sözkonusu olumsuzlukların önüne geçilebilmesi adına atıkların parçalanarak boyutlarının küçültülmesi, basınç uygulanarak sıkıştırılması, organik içeriği yüksek evsel nitelikli çamurlarla karıştırılması, tampon madde ve enzim ilavesinin, sızıntı suyunun atık kütlesi içine geri devrettirilmesi ve havalandırma gibi atıkların stabilizasyonunu hızlandıran yöntemlerin uygulanması esastır [2-4]. Uygulanabilecek bu yöntemler konvansiyonel depolama alanlarının biyoreaktör depolama alanı (BDA) olarak işletilmesi ile sonuçlanır.

BDA'ları atıkların organik kısmının hızlı bir şekilde bozunmasının sağlandığı ve böylelikle atık stabilizasyon süresinin kısaldığı kontrollü sistemlerdir. Ayrıca BDA'ları konvansiyonel depolama alanlarının neden olduğu olumsuzlukların önüne geçilmesinde oldukça etkili sistemlerdir. BDA'larında uygulanan başlıca proses, atıkların bozunması ile ortaya çıkan sızıntı suyunun depolama alanındaki atık kütesinin içine geri devrettirilmesi ve alana hava girişi sağlanarak ortamın aerobik hale getirilmesidir. BDA'larında sızıntı suyunun atık kütlesi içine geri devrettirilmesi, parçalanmasında etkili mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerinin devamı için yeterli nemi ve ortamın havalandırılması gerekli hava miktarını sağlayarak atıkların parçalanma hızlarının artırılmasına ve kısmen de olsa sızıntı suyu kirletici konsantrasyonlarının azaltımına imkan sağlamakta [1], atıklar anaerobik şartların hüküm sürdüğü konvansiyonel depolama alanlarındakine göre çok daha kısa sürede stabil hale gelmekte [5-7], sızıntı suyu miktarı azalmakta [8], organik asitlerin inhibisyon etkisini nötralize edilebilmektedir [9].

Bu çalışma kapsamında, sızıntı suyunun geri devrettirilmesinin, atığın boyutunun, atık kütesinin havalandırılmasının ve havalandırma yönünün biyoreaktör depolama alanlarındaki atıkların bozunması, sızıntı suyu kirletici konsantrasyonları üzerindeki etkileri pilot ölçekli olarak araştırılmıştır. Literatürde yeralan çalışmalarda sızıntı suyu geri devri reaktörün üst yüzeyinden yapılırken, havalandırma reaktörün tabanından uygulanmaktadır. Geri devrettirilen sızıntı suyu, reaktör içinde atık kütlesi boyunca süzülerek aşağıya yönde ilerlemektedir. Havalandırmanın reaktörün alt kısmından yapılması durumunda, havalandırma etkisiyle sızıntı suyunun aşağı yöndeki hareketi zorlaşmaktadır. Bu durum sızıntı suyunun reaktörün alt bölgelerine ulaşarak o bölgelerde bozunma için gerekli nemin sağlanamayıp atık bozunmasının gecikmesine hatta

engellenmesine neden olabilmektedir. Bu çalışmada, bu durumun önlenmesi için havalandırmanın üstten ve alttan yapılması durumları karşılaştırılarak sistem verimliliği üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

### 2.1. Reaktör Dizaynı (Reactor Design)

Çalışma kapsamında beş adet reaktör kullanılmıştır ve her bir reaktör farklı tipte işletilen BDA'larını simüle atmaktadır. Reaktörlerin teknik özellikleri Tablo 1'de verilirken şematik görünüşleri Şekil 1'de ve dizayn/işletme şartları ise Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Reaktörlerin Özellikleri (Properties of Reactors)

Özellik	Değer
Yükseklik (m)	5,65
Çap (m)	2,50
Çakıl tabakası yüksekliği (m)	0,30
Örtü toprağı yüksekliği (m)	0,30
Toplam reaktör hacmi (m <sup>3</sup> )	28
Ortalama etkin reaktör hacmi (m <sup>3</sup> )	22

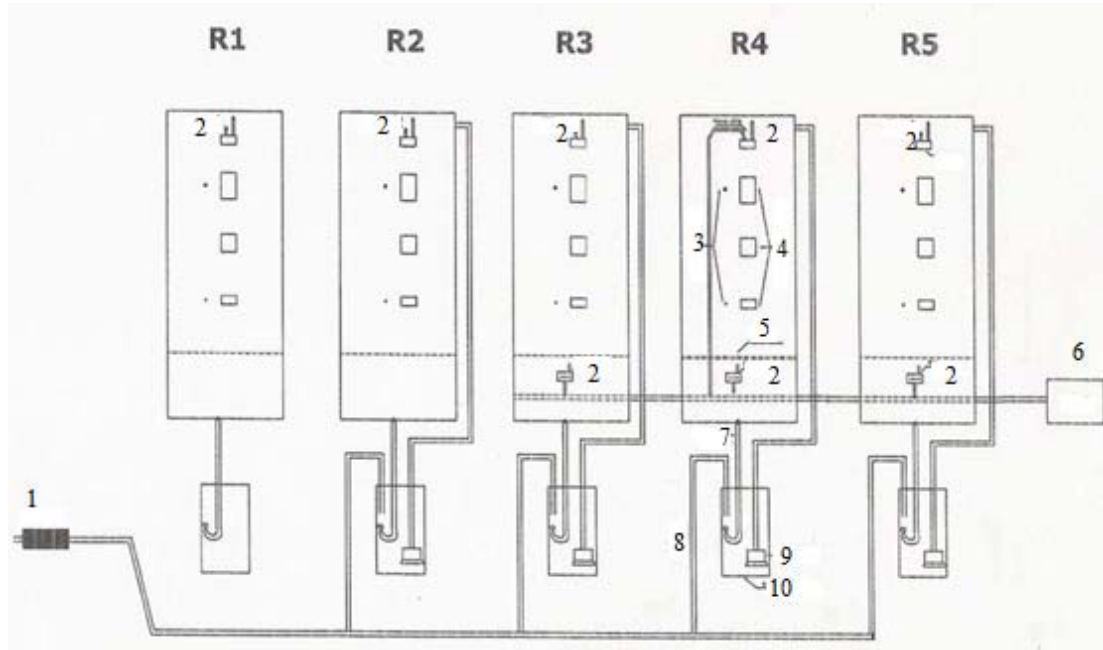
R1 reaktörü, konvansiyonel depolamayı simüle edecek şekilde havalandırmasız ve sızıntı suyu geri devri olmayan (kuru) reaktördür. R2 reaktöründe havalandırma uygulanmamış ancak sızıntı suyu geri devri (ıslak) yapılmıştır. R3 ve R4 reaktörlerinin her ikisi de havalandırmalı ve sızıntı suyu geri devridir ancak hava girişi R3'te alttan R4'te ise üstten uygulanmıştır. R5 reaktörü ise sızıntı suyu geri devirli ve alttan havalandırılmalıdır. R1, R2, R3 ve R5 reaktörlerinin üst yüzeyleri açıkken havalandırmanın üstten uygulandığı R4 reaktörünün üst yüzeyi kapalıdır.

Reaktörlerin iç yüzeyleri zımparalanarak pürüzsüzleştirildikten sonra epoksi boya ile boyanmış, sızıntı sularının drenajı için reaktör tabanından yaklaşık 1 metre yüksekliğe ızgara (Şekil 2 ve Şekil 3) ve ızgaranın üzerine ise tıkanmaların önlenmesi için yaklaşık 30 cm yüksekliğinde yıkanmış dere çakılı yayılmıştır.

Reaktör tabanından drene edilen sızıntı suyu sızıntı suyu toplama tanklarında toplanmış ve geri devirli reaktörlerde reaktör içine geri devrettirilmiştir. Geri devir işlemi için sızıntı suyu dalgıç pompalarla reaktörlerin üst yüzeyine basılmış ve buradan reaktörlerin üst yüzeylerine spiral şeklinde yerleştirilmiş delikli borularla (Şekil 4 ve Şekil 5) yağmurla metodu ile yapılmıştır.

### 2.2. Atık Özellikleri (Waste Properties)

Çalışma kapsamında İstanbul Avrupa yakasında oluşan atıklar kullanılmıştır. Atık homojenizasyonunu sağlanabilmesi için atıklar reaktörlere yerleştirilmeden önce toplanan atık içindeki poşetler açılmış atıklar homojen bir



**Şekil 1.** Reaktörlerin Şematik Görünümü (Schematic View of Reactors) (1: Su saati, 2: Hava girişi, 3: Termometre, 4: Numune alma noktası, 5: Izgara, 6: Fan, 7: Sızıntı suyu hattı, 8: Temiz su girişi, 9: Dalgıç pompo, 10: Sızıntı suyu tankı) (Schematic view of reactors (1: Water meter, 2: Air inlet, 3: Thermometer, 4: Sampling point, 5: Grille, 6: Fan, 7: Leachate line, 8: Clean water inlet, 9: Submersible pompo, 10: Leachate tank))

**Tablo 2.** Reaktör Tipleri, Atık Özellikleri ve Uygulanan Yöntemler (Reactor Types, Waste Properties and Applied Methods)

Reaktör Numarası	Süre (Gün)	Yöntem	Atık Miktarı (ton)	Atık Özelliği
R1	270	Havalandırmasız, Sızıntı suyu geri devirsiz	11	Karışık Atık
R2	270	Havalandırmasız, Sızıntı suyu geri devirli	11	Karışık Atık
R3	270	Altan havalandırmalı, Sızıntı suyu geri devirli	11	Karışık Atık
R4	270	Üstten havalandırmalı, Sızıntı suyu geri devirli	11	Karışık Atık
R5	270	Altan havalandırmalı, Sızıntı suyu geri devirli	15	Elek Altı Atık

karışım elde edilene kadar karıştırılmış ve yaş ağırlık bazında atık karakterizasyonu yapılmıştır (Tablo 3). R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerine homojen hale getirilmiş karışık atık yerleştirilmiştir. R5 reaktörüne yerleştirilen atık ise aynı atığın 80 mm'lik elekten elenmesiyle elde edilen elek altı atıktır. R5 reaktöründeki atık yoğunluğu  $1040 \text{ kg/m}^3$  iken diğer reaktörlerdeki atık yoğunluğu  $670 \text{ kg/m}^3$  olarak ölçülmüştür.

Bu çalışma kapsamında, sızıntı suyu geri devir oranı ve hava miktarı reaktörlerdeki atıkların nem, sıcaklık ve depo gazı bileşenlerine göre belirlenmiştir. Tüm reaktörlerde sızıntı suyu oluşumunun eş zamanlı olmadığı gözlenmiştir. Sızıntı suyu oluşumu R5'te çalışma başlangıcında, R4'te 60. günden sonra diğer reaktörlerde ise 150.günden sonra oluşmaya başlamıştır. R5'teki atığın ağırlığının ve organik içeriğinin

fazla olması, atık boyutunun diğer reaktörlerdeki atık boyutuna göre daha küçük olması biyolojik aktivitenin hızlı gerçekleşmesini sağlamış ve böylelikle sızıntı suyu diğer reaktörlere göre daha hızlı oluşmuştur. R4'teki atık özellikleri R1, R2 ve R3'teki atık özellikleri ile aynı olmakla birlikte atık yüzeyinde tutulan suyun hava girişinin reaktörün üst yüzeyinden uygulanmasının etkisiyle aşağı yöndeki hareketi sızıntı suyunun daha önce oluşmasına imkan vermiştir. Buna rağmen yaz ayları süresince tüm reaktörlerde bozunma için gerekli nem miktarına ulaşılamamış ve R1, R2 ve R3'te sızıntı suyu oluşumu yağışların başlamasından sonra gözlenmiştir. Yağışın etkisiyle reaktörlerdeki atık kütleleri suya doymuş ve böylelikle sızıntı suyu oluşmaya başlamıştır. Atığın nem miktarının düşük olduğu süreçte sızıntı suyu geri devir hattından zaman zaman sızıntı suyuyla birlikte musluk suyu verilmesi suretiyle atığın nem içeriğinin



bozunma için yeterli seviyede tutulması sağlanmıştır. Ayrıca R4'ün üzerinin kapalı olması nedeniyle yağışlı zamanlarda diğer reaktörlerin aldığı yağış miktarına uygun miktarda musluk suyu verilmiştir. Bhatt vd.[18] çalışmalarında 2, 6 ve 12 mm/gün değerindeki yağış suyunu simüle edecek şekilde reaktörlere su girişi sağlamışlardır. Reaktörlerin havalandırma oranları, reaktörlerden oluşan depo gazının haftalık ölçümlerine göre belirlenmiştir. Reaktörlerin üst yüzeylerinin açık olmasından dolayı reaktörlere yağışla birlikte doğal bir su girdisinin olması, doğal havalandırmanın sağlanması ve çalışmanın pilot ölçekli olması nedenleri gözönünde bulundurulduğunda reaktörlere verilen su ve hava miktarlarının literatürdeki laboratuvar ölçekli çalışmalardaki değerlerin altında ancak arazi ölçekli çalışmalardaki verilerle uygun olduğu görülmüştür. Çalışma boyunca çalışma alanında aylık periyotta ölçülen yağış miktarları Şekil 6'da verilmiştir. Çalışma boyunca reaktörlere geri devrettirilen su/sızıntı suyu miktarları ve verilen hava miktarları Tablo 5'te verilmiş ve buna göre yapılan hesaplamalarla reaktörlere giren toplam su miktarları (Geri devrettirilen sızıntı suyu ve yağış miktarı toplamı) R5 için 0,69 l/ton atık ve diğer reaktörler için 0,94 l/ton atık olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Reaktör Tabanındaki Izgara (Grid on Reactor Base)



Şekil 3. Reaktör Tabanındaki Izgaranın Üzerindeki Çakıl Tabakasının  
(Gravel Layer Over the Grid at the Base of the Reactor)



Şekil 4. Sızıntı Suyu Geri Devir Hortumları  
(Leakage Water Recirculation Hoses)

### 2.3. Sızıntı Suyu Geri Devri ve Havalandırma (Leachate Recirculation and Aeration)

Literatürde yer alan çok sayıda çalışmada farklı geri devir ve havalandırma oranları uygulanmıştır. Bu verilere ait sayısal değerler (Tablo 4) özetlenmiştir.

**Tablo 3.** Reaktörlerdeki Atık Bileşenleri (Yaş Ağırlık Bazında) (Waste Components in Reactors (Based on Wet Weight))

Atık Bileşeni	Karışık Atık Ağırlık (%)	Elek Altı Altı Ağırlık (%)	Atık Bileşeni	Karışık Atık Ağırlık (%)	Elek Altı Altı Ağırlık (%)
Organik	57,72	65,55	Plastik	3,58	2,28
Teneke	4,00	1,12	Kemik	0,21	-
Tahta	0,91	1,19	Tekstil	10,67	3,99
Pet	0,91	0,06	Kağıt	7,23	10,73
Taş	2,18	4,35	Poşet	3,37	1,9
Cam	4,63	8,65	Çocuk Bezi	2,74	-
Strafor	0,35	0,18	Ambalaj	1,26	-
Tetrapak	0,21	-	Toplam	100,00	100,00



**Şekil 5.** Sızıntı Suyu Geri Devir Hortumları  
(Leakage Water Recirculation Hoses)

#### 2.4. Deneysel Çalışma (Experimental Study)

Çalışma kapsamında, sızıntı suyu karakterizasyonu, sızıntı suyunun oluşumundan itibaren yaklaşık olarak aylık

periyotta, Namık Kemal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında ve İSTAC AŞ'ye ait Çevre Laboratuvarında yapılmıştır. Sızıntı suyu metal konsantrasyonları ölçümlerinde ICP Optik Emisyon Spektrofotometrik Metodu kullanılmıştır. pH elektrometrik metot ile klorür konsantrasyonu APHA (1998) Gümüş nitrat ile titrasyon (Mohr metodu) metodu ile, iletkenlik elektrometrik metot ile, BOİ WTW OXITOP IS 6 ile analiz edilirken, alkalinite, KOİ, TKN, NH<sub>4</sub>-N ve NO<sub>3</sub>-N analizleri APHA (1998) [19] standartlarına göre yapılmıştır.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

#### 3.1. pH (pH)

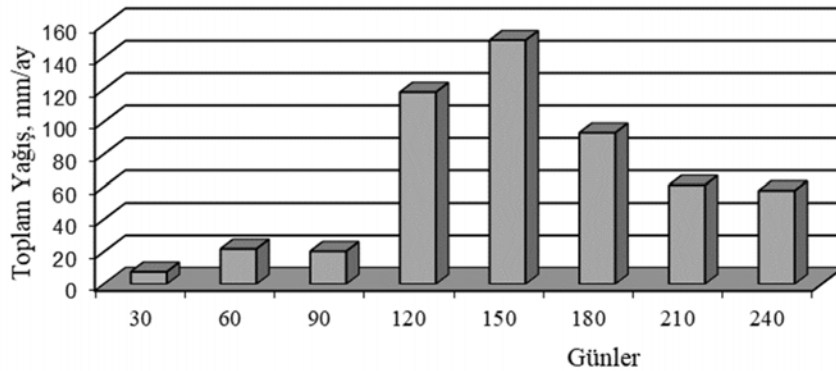
Havalandırılmalı reaktörlerde reaktörlere verilen hava ortamdaki CO<sub>2</sub>'nin sınırlanmasına neden olur ve ortamdaki CO<sub>2</sub> konsantrasyonu düşer ve karbonik asit (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ve bikarbonat iyonu (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ve dolayısıyla ortamdaki H<sup>+</sup> iyonu

**Tablo 4.** Sızıntı Suyu Geri Devir ve Havalandırma Oranları (Leachate Recirculation and Aeration Rates)

SSGDO <sup>1</sup>	HO <sup>2</sup>	Kaynak	SSGDO <sup>1</sup>	HO <sup>2</sup>	Kaynak
20 ml/dak (144 l/gün-m <sup>3</sup> atık)	0,04 l/dak-kg atık	[10]	0,8 l/dak-kg atık	-	[14]
0,175 l/gün (7 l/gün-m <sup>3</sup> atık)	0,17 l/dak-kg atık	[11]	0,0002 l/dak-kg atık	-	[15]
13,6 l/gün (0,3 l/gün-m <sup>3</sup> atık) 25,2 l/gün (0,51 l/gün-m <sup>3</sup> atık)	-	[12]	0,35-0,97 l/dak-kg atık	-	[16]
0,055 l/gün-m <sup>3</sup> atık	-	[13]	0,5 l/dak-kg atık	-	[17]

<sup>1</sup>SSGDO: Sızıntı Suyu Geri Devir Oranı

<sup>2</sup>HO: Havalandırma Oranı

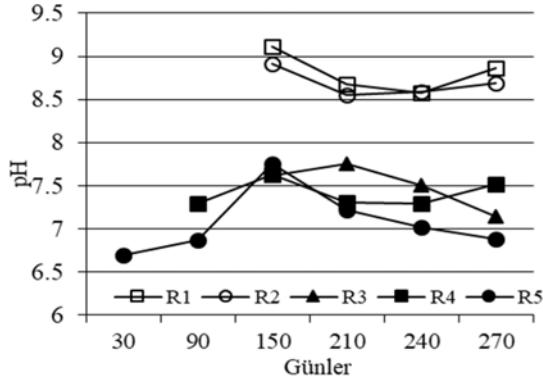


**Şekil 6.** Çalışma Süresince Çalışma Alanına Düşen Yağış Miktarı  
(The amount of precipitation falling to the working area during the working period)

**Tablo 5.** Sızıntı Suyu Geri Devir ve Havalandırma Oranları (Leachate recirculation and aeration ratios)

Reaktör	Sızıntı Suyu Geri Devri (l/ton atık-gün)	Havalandırma Debisi (m <sup>3</sup> / ton atık-gün)
R1	-	-
R2	0,53	-
R3	0,42	1,819
R4	0,56	4,352
R5	0,21	1,565

konsantrasyonlarını azalır. Böylelikle ortamdaki pH artar ve havalandırmalı reaktörler, havalandırmasız reaktörlere göre çok daha kısa süreli alkalileşir [20-24]. Çalışma boyunca reaktörlerde pH parametresinin değişimleri Şekil 7’de verilmiştir. pH değeri havalandırmasız reaktörlerde 8,5-9 arasında, havalandırmalı reaktörlerde ise 6,5-7,5 arasında ölçülmüştür. Bu sonuçlar literatürdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında, ölçülen değerlerin daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum havalandırma ve yağmur suyu etkisi olmak üzere iki şekilde açıklanabilir.



Şekil 7. pH'nın Zamanla Değişimi (Change of pH Over Time)

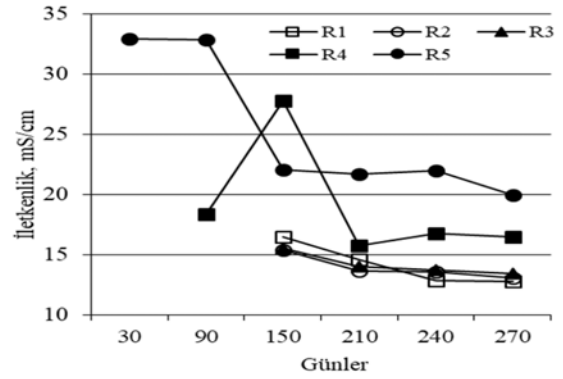
Daha önce de belirtildiği gibi havalandırma, ortamda bulunan CO<sub>2</sub>'in sıyrılması ile pH'nın yükselmesine neden olmaktadır. Ancak bu çalışmada, reaktörlerde kesikli olarak havalandırma uygulanmış ve ortamda CO<sub>2</sub> birikimi gözlenmiştir. Çalışma süresinde yapılan gaz ölçümleri ortamdaki CO<sub>2</sub> birikimini doğrulamıştır. Bu durumun doğal bir sonucu olarak da pH literatür değerleri kadar yükselmemiştir. Reaktörlerin üst yüzeylerinin açık olması doğal bir havalandırma etkisi sağlayarak ortamda CH<sub>4</sub>'nin yanı sıra CO<sub>2</sub>'in de bulunmasına neden olmuştur. Ancak havalandırmalı reaktörlerle karşılaştırıldığında ortamdaki CO<sub>2</sub> miktarı metan miktarının yanında oldukça düşüktür. Dolayısıyla pH, havalandırmasız reaktörlerde, havalandırmalı reaktörlere göre daha yüksek değerlerde ölçülmüştür.

Yağmur suyu etkisi ise reaktöre düşen yağış miktarı ve yağmurun pH değeri ile ilişkilidir. Akkoyunlu ve Tayanç [25], Başak ve Alagha [26], Karahan vd. [27] ve Sahal ve Lacasse [28], tarafından yapılan çalışmalar, İstanbul'da yağın yağmurların asidik özelliğe sahip olduğunu ortaya koymuştur. İstanbul Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen bilgilere göre çalışmanın devam ettiği süre boyunca İstanbul'a yağın yağmurların %40'nın pH'sı 6'nın altında, %55'inin pH'sı ise 6-7 aralığındadır [29]. Yağmur suyunun sızıntı suyu oluşundaki etkisi ve reaktörde yüzeysel akış olmaması durumları gözönünde bulundurulduğunda, pH'nın beklenilenden daha düşük seviyede kalmasında yağmur suyunun etkisini ortaya koymaktadır. R4 ve R5'te pH'nın yağışlar başlamadan önce yağışların başlaması ile düşmesi de bu tezi kuvvetlendirmektedir. Havalandırmasız reaktörlere ve üstü kapalı olan R4'e ait pH değerleri

değerlendirildiğinde, pH'nın düşmesinde, reaktörlerde CO<sub>2</sub> birikiminin etkinin, yağmur suyu etkisinden daha fazla olduğu düşünülmektedir.

### 3.2. İletkenlik (Conductivity)

Sızıntı suyundaki iyonların toplam konsantrasyonları ve bu iyonların elektriksel iletkenliklerinin göstergesi olarak iletkenlik parametresi kullanılır. Genel olarak sızıntı sularının iletkenlikleri zamanla azalma eğilimindedir. İletkenlik, metaller, klorür ve sülfat gibi bazı kolay taşınabilir iyonların yıkanması, artan indirgen koşullarda sülfatın sülfite indirgenmesi ve sülfitin ağır metal-sülfid kompleksi oluşturarak çökmesi nedeniyle azalır [22, 23]. Çalışma süresince tüm reaktörlerde oluşan sızıntı sularının iletkenlikleri zamanla azalmakla birlikte, sızıntı suyunun geç olduğu R1, R2 ve R3 reaktörlerine ait değerler R4 ve R5 reaktörlerine göre nispeten daha düşük ölçülürken en yüksek değer, atık dane boyutu diğer reaktörlere göre daha küçük olan R5 reaktörlerine aittir. Reaktörlerdeki iletkenlik değerleri Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. İletkenliğin Zamanla Değişimi (Change of Conductivity Over Time)

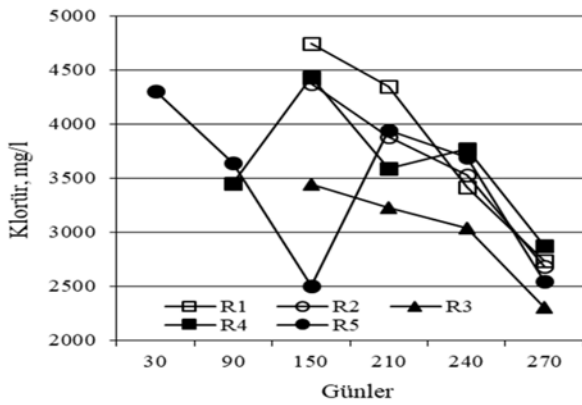
### 3.3. Klorür (Chloride)

Klorür konsantrasyonu, konvansiyonel depolama alanlarında, zamanla seyrelme etkisiyle azalırken, geri devirli biyoreaktör depolama alanlarında, zamanla sabit kalmakta veya artmaktadır [8]. R1, R2, R3 ve R4'te klorür konsantrasyonu zamanla azalırken R5'te 150. güne kadar düşmüş, sonrasında bir dalgalanma gözlenmiş ve çalışma süresi sonunda tüm reaktörlerde 2000-3000 mg/l arasında ölçülmüştür. Klorür konsantrasyonu değişimi Şekil 9'da gösterilmiştir. İletkenlik ve klorür verileri incelendiğinde tüm reaktörlerde iki parameter arasında yakın ilişki olduğu görülmektedir ki bu durum Jun vd. [22] ve Bilgili [30]'nin da çalışmalarında belirttiği gibi klorürün iletkenlik parametresi üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur.

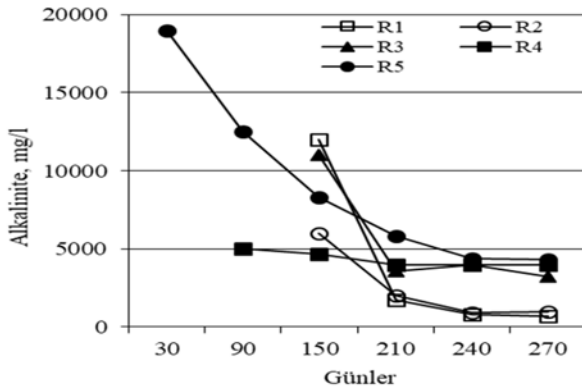
### 3.4. Alkalinite (Alkalinity)

Alkalinite, biyolojik aktivitenin optimum düzeyde devam edebilmesi için gerekli pH'nın düşmesine neden olan uçucu

ve diğer asitlerin tamponlanma kapasitesini olara tanımlanmaktadır. Katı atıkların bünyesindeki kolay bozunabilen organik maddelerin bozunması sonucunda uçucu yağ asidi ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonları artar ve pH 5'ten daha düşük değerlere ulaşır [31]. Düşük alkalinite, azalan pH'nın tamponlanamayıp biyolojik aktivitenin azalmasına ve/veya durmasına neden olabilir. Bu durumun önlenmesi için Thcobanoglous ve Burton [32] tarafından alkalinitenin 1000–5000 mg CaCO<sub>3</sub> /l aralığında olması önerilmektedir. Tüm reaktörlerde alkalinite azalma eğilimindedir. Alkalinitenin en yüksek değerde ölçüldüğü reaktör R5 reaktörüdür ve bu reaktörde başlangıçta 19000 mg/l olun alkalinite önce hızlı bir azalma eğilimi sergilemiş gözlenmiş sonrasında azalma hızı düşmüştür. Havalandırmalı ve havalandırmaz reaktörlerde alkalinite değerleri birbirine oldukça yakın değerlerdedir ancak havalandırmalı reaktörlerdeki değerler havalandırmaz reaktörlerdeki değerlere göre nispeten daha yüksektir (Şekil 10). Çalışma sonunda tüm reaktörlerdeki alkalinite değerlerinin literatürde yer alan değerler arasında olduğu görülmüştür. pH ve alkalinite değerleri karşılaştırıldığında yüksek pH beklenen havalandırmalı reaktörlerde alkalinitenin daha yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 9. Klorür Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi (Change of Chloride Concentration Over Time)



Şekil 10. Alkalinite Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi (Change of Alkalinity Concentration Over Time)

### 3.5. Kimyasal ve Biokimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ ve BOİ) (Chemical and Biochemical Oxygen Demand (COD and BOD))

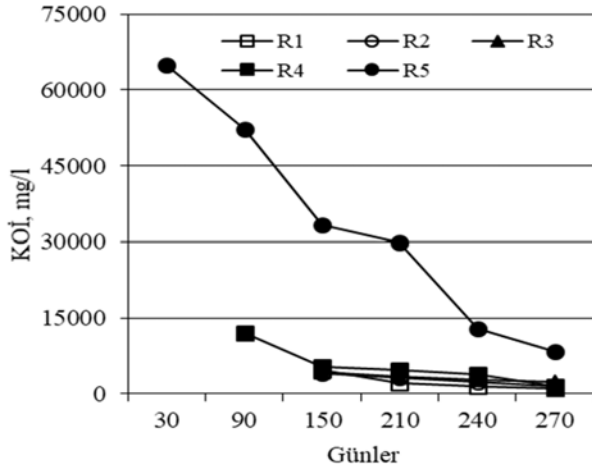
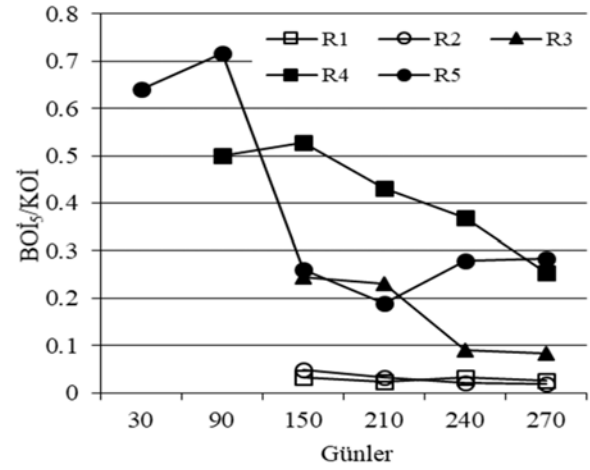
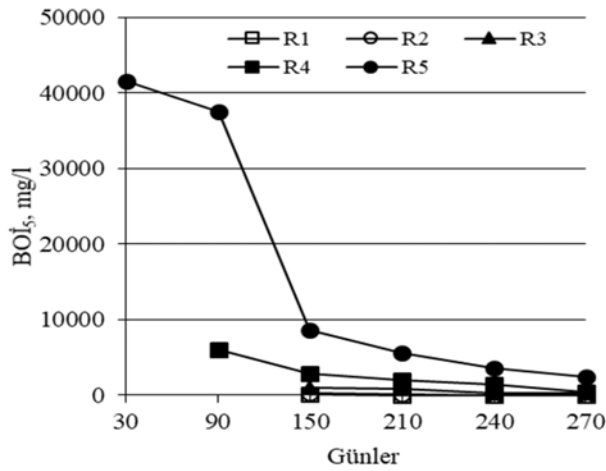
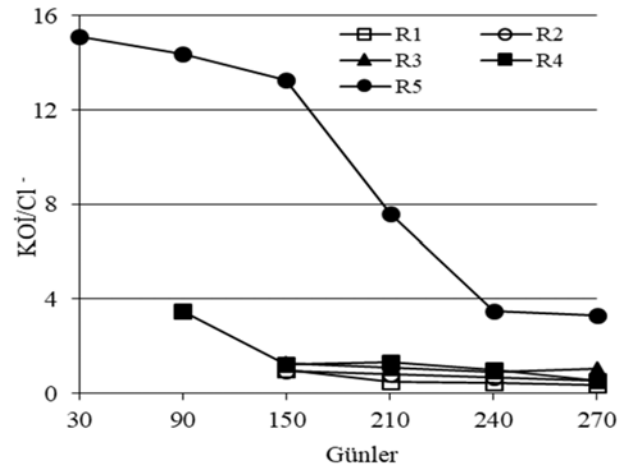
BOİ ve KOİ, sızıntı suyunun organik içeriğinin ve organik maddelerin biyolojik bozunabilirliğinin, BOİ/KOİ oranı ise depolama alanının stabilizasyonunun göstergesi olup düşük BOİ/KOİ oranı sızıntı suyundaki biyolojik olarak bozunabilen organik karbonlu madde miktarının düşük olduğunu buna karşın zor bozulan organik bileşenlerin miktarının ise fazla olduğunu ifade eder. Atığın bozunma sürecinde, atığın organik içeriğinin değişimi, BOİ/KOİ oranında farklı değerlere sahip olmakla birlikte önemli oranda düşüş ile sonuçlanmaktadır (Tablo 6). Asit fazında organik içeriği yüksek olan sızıntı suyunun BOİ/KOİ oranı bozunmanın iyi olduğunu bir göstergesi olarak 0,4'ten fazla iken pH, metan içeriği ve gaz oluşumu düşük değerlerde seyretmektedir. Metan fazında ise pH artarken biyolojik olarak bozunabilen organik madde içeriği düşmesi nedeniyle BOİ, KOİ ve BOİ/KOİ oranı düşer [33, 34, 22, 37]. Atıkların önemli bir bölümünü %50 selülöz, % 15 lignin, %10 hemiselüloz, %5 protein içeren organik maddelerden oluşmaktadır [35]. Metanojenler için selüloz en önemli karbon kaynağıdır ve bozunabilirlikleri anaerobik ortamda oldukça düşüken aerobik ortamda yüksektir [36].

Tüm reaktörlerde azalma eğilimi gösteren KOİ konsantrasyonunun en yüksek olduğu reaktör R5'tir (Şekil 11). R5'teki atıkların organik madde içeriği yaklaşık %66 iken diğer reaktörlerde bu değer %58 civarındadır. Her iki oran karşılaştırıldığında R5'te depolanan atık miktarı diğer reaktörlerde depolanan atık miktarından %36 daha fazladır ki bu nedenle de KOİ konsantrasyonu bu reaktörde diğerlerine göre daha yüksek ölçülmüştür. KOİ giderim verimleri R1, R2, R3, R4 ve R5 için sırasıyla %78, 66, 44, 87 ve 87 olarak hesaplanmıştır. Sızıntı suyunun geç oluşması KOİ konsantrasyonlarında da etkisini göstermiştir ve R1, R2, R3'te oluşan sızıntı sularında daha düşük KOİ konsantrasyonları ölçülmüştür. Bu durumun diğer bir nedeni de bu reaktörlerden oluşan sızıntı sularının atığın biyolojik bozunmasından çok yağış suyu kaynaklı olmasıdır. BOİ konsantrasyonları da çalışma süresince azalmıştır (Şekil 12). R5'te KOİ gibi BOİ de en yüksek değerde ölçülmüştür. BOİ giderim verimleri R1, R2, R3, R4 ve R5'te sırasıyla %83, 88, 81, 93 ve 94 olarak hesaplanmıştır. Biyolojik bozunmanın bir göstergesi olarak çalışma başlangıcındaki ve sonundaki BOİ/KOİ oranlarının R1, R2, R3, R4 ve R5'te sırasıyla 0,03'ten 0,02'ye; 0,05'ten 0,02'ye; 0,24'ten 0,08'a, 0,5'ten 0,25'ye 0,64'ten 0,28'e düştüğü gözlenmiştir (Şekil 13). Depolama alanlarında KOİ giderimi biyolojik faaliyetlerin ve yağış suyuyla seyrelmenin etkisiyle gerçekleşebilmektedir ve KOİ gideriminde hangi faktörün etkili olduğu KOİ/Cl- oranına göre değerlendirilmektedir. KOİ/Cl- zamanla azalması sızıntı suyundaki KOİ gideriminin biyolojik faaliyetler sonucu gerçekleştiğini göstermektedir [8, 30]. Buna göre KOİ gideriminde biyolojik faaliyetlerin en etkili olduğu reaktör R4'tür (Şekil 14).



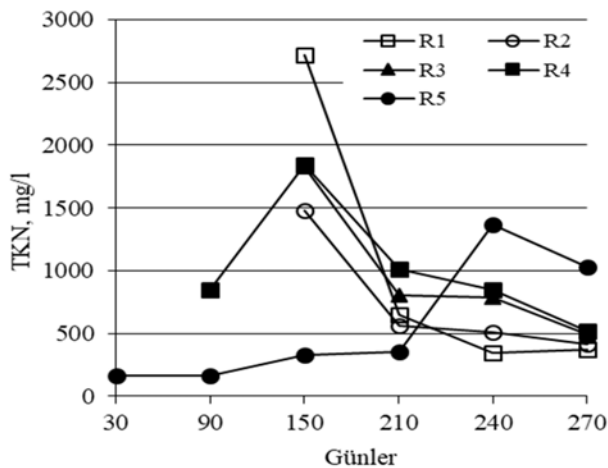
**Tablo 6.** Farklı Tip Reaktörler İçin BOİ/KOİ Oranları (BOD / COD Ratios for Different Types of Reactors)

Reaktör Tipi/Bozunma Fazı	BOİ/KOİ	Kaynak
Aerobik biyoreaktör	0,03	[10]
Anaerobik biyoreaktör	0,45	
Geri devirli havalandırmasız biyoreaktör	0,24	[22]
Geri devirli havalandırmalı biyoreaktör	0,31	
Aerobik biyoreaktör	0,57'den 0,03'a düşüş	[23]
Anaerobik biyoreaktör	0,7'den 0,05'e düşüş	
Asidik faz	0,58	[38]
Metanojenik faz	0,06	
Anaerobik biyoreaktör	0,4'ten fazla	[39]
Hibrit biyoreaktör	0,4'ten fazla	
Havalandırmalı biyoreaktör	0,79'dan 0,05'e düşüş	

**Şekil 11.** KOİ Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi  
(Change of COD Concentration Over Time)**Şekil 13.** BOİ/KOİ Oranlarının Zamanla Değişimi  
(Change of BOD/COD Ratio Over Time)**Şekil 12.** BOİ Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi  
(Change of BOD Concentration Over Time)**Şekil 14.** KOİ/Cl⁻ Oranlarının Zamanla Değişimi  
(Change of KOI/Cl⁻ Ratio Over Time)

### 5.6. Toplam Kjeldahl Azotu, Amonyum Azotu ve Nitrat (Total Kjeldahl Nitrogen, Ammonium Nitrate and Nitrate)

Evsel katı atıkların içeriğindeki organik maddelerin yapısında bulunan proteinlerin ve aminoasitlerin ayrışması sonucunda sızıntı suyunda başta metan oluşumunu inhibe edebilen amonyum azotu olmak üzere farklı oranlarda azot türevlerinin bulunması muhtemeldir [41, 20]. Biyolojik sistemlerde nitrifikasyon/denitrifikasyon prosesleri temel azot giderim mekanizması olup organik azot ve amonyum azotu aerobik şartlar altında bir seri oksidasyon aşaması sonunda nitrate kadar okside olur. Bu nedenle de  $\text{NH}_4\text{-N}$  gideriminde havalandırma ve havalandırma oranı büyük öneme sahiptir [42]. R4 ve R5'te TKN konsantrasyonları, çalışmanın ilk zamanlarından beri artma eğiliminde olmakla birlikte pik değerlerine ulaştıktan sonra azalma göstermişlerdir. Ancak diğer reaktörlerde çalışma sonuna kadar sürekli bir azalma kaydedilmiştir (Şekil 15) ve R1, R2 ve R3'te sırasıyla %86, 72 ve 73 oranlarında TKN giderimi kaydedilmiştir. Havalandırmalı ve havalandırmasız reaktörlerde ölçülen  $\text{NH}_4\text{-N}$  konsantrasyonları karşılaştırıldığında, oksijen varlığında amonyağın nitrifikasyon yoluyla nitrate dönüşmesi nedeniyle, havalandırmalı reaktörde havalandırmasız reaktörlere göre daha düşük değerler kaydedilmiştir (Şekil 16 ve Şekil 17). Havalandırmalı reaktörler arasında  $\text{NH}_4\text{-N}$  giderim veriminin en düşük olduğu reaktör %96,83 giderim oranı ile R4 ve en yüksek olduğu reaktör ise %98,59'luk değer ile R5 reaktörüdür. R5 reaktörü aynı zamanda havalandırmalı reaktörler arasında en düşük  $\text{NH}_4\text{-N}$  konsantrasyonunun ölçüldüğü reaktördür ki bu durum atık boyutunun küçültülmesinin nitrifikasyon yoluyla azot gideriminde etkili olduğunun göstergesidir. Havalandırmanın ve atığın boyutunun azot gideriminde etkin bir faktör olduğunu literatürdeki pek çok çalışma ile doğrulamaktadır [20, 22, 43- 45].



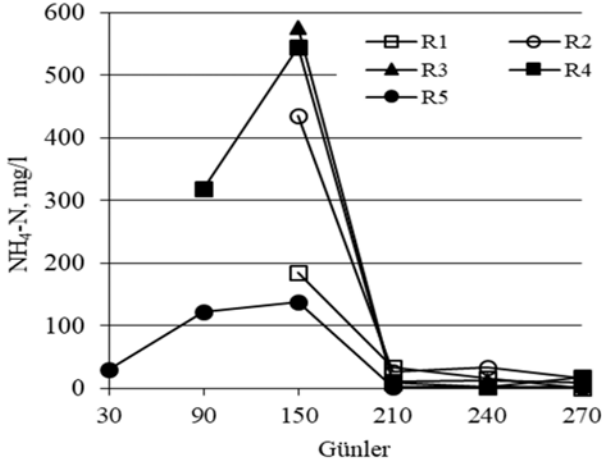
Şekil 15. TKN Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi  
(Change of TKN Concentration Over Time)

### 5.7. Alkali ve Ağır Metaller (Alkali and Heavy Metals)

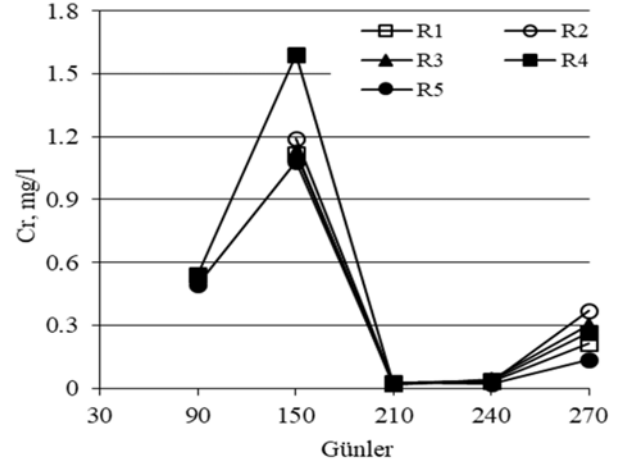
iyonik güçler, kompleks oluşturma eğilimi, pH ve redoks potansiyeli, sızıntı sularının ihtiva ettiği metallerin

konsantrasyonlarına etki eden ana faktörlerdir. pH'nın etkisi en genel haliyle metallerin çökeltme ve sorpsiyon proseslerini etkiliyor olmasından kaynaklanmaktadır. pH'nın yüksek değerlerde ölçüldüğü metan fazında, Na ve K konsantrasyonları yüksek pH'da çözünürlüklerinin yüksek olması nedeniyle sızıntı suyun ölçülen değerleri zamanla artmaktadır. Bu karşın sızıntı suyunun Ca konsantrasyonu, kalsiyumun  $\text{HCO}_3^-$  ve çözünmüş organik bileşiklerle kompleks oluşturarak  $\text{CaCO}_3$  çökeltme eğiliminde olması nedeniyle zamanla düşüş gösterir. Sızıntı suyunun karbonat konsantrasyonunun ve dolayısıyla alkalinitenin yüksek olması, kalsiyumun daha fazla çökeltmesi ve sızıntı suyunda ölçülen Ca konsantrasyonunun daha düşük olması anlamına gelir. Redoks potansiyelinin negatif olması halinde ( $E_h < -200$  mV) ortamda sülfid bulunma olasılığı azalır. Sülfid metallerin çökeltmesinde oldukça etkilidir ve düşük sülfid konsantrasyonlarında, metallerin çökeltmesinde karbonatlar ve hidroksitler etkili rol oynar. Ortamda sülfidin düşük konsantrasyonda olması veya hiç olmaması durumlarında Cr, Cd, Cu ve Pb sırasıyla  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ,  $\text{CdCO}_3$ ,  $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)_2$ , ve  $\text{PbCO}_3$  olarak çökeltir ve sızıntı suyundaki konsantrasyonları düşerken Zn ve Ni daha az çökeltme eğilimi gösterdiğinden sızıntı suyuna geçişi daha fazladır. Atığın yüksek miktarda organik ve hümit bileşikler içermesi ve bileşiklerin hızlı bir şekilde bozunması durumunda uçucu yağ asitlerinin oluşarak ortamın pH'sı düşmekte ve böylelikle metallerin çözünerek sızıntı suyuna taşınımını arttırmaktadır [22, 23, 30, 41, 46, 48]. Yang vd. [50] çalışmalarında Cd ve Ni taşınımının depolama süresi ile azaldığını ve, Cr, Cu, Pb ve Zn taşınımının depolama süresi boyunca düşük kaldığını belirtmişlerdir. Ko vd. [51], aerobik, anaerobic ve hibrit biyoreaktörlerin 10 aylık işletimleri sonucunda ağır metallerin (Cr, Co, Cu, Mn, Ni ve Zn) konsantrasyonları Cd ve Pb haricinde zaman içinde azaldığını tespit etmişlerdir.

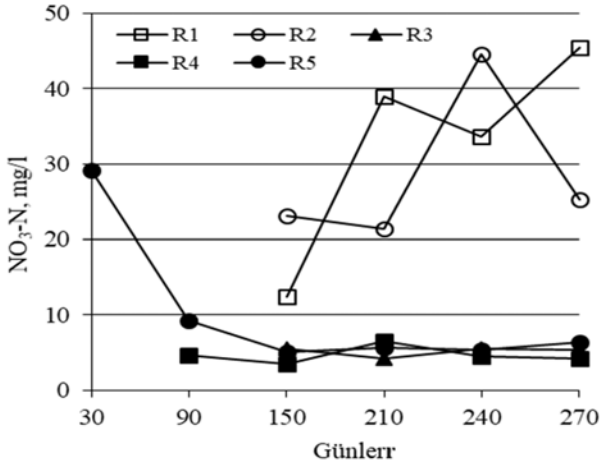
Metal konsantrasyonlarının genel olarak en yüksek ölçüldüğü reaktör organik madde içeriğinin de en yüksek olduğu R5'tir. Bu durum organik madde içeriğinin yüksek olması durumunda sızıntı suyundaki metal konsantrasyonlarının arttığı teorisini desteklemektedir. Havalandırmalı reaktörler içinde en düşük Cd konsantrasyonları R4'te ölçülürken havalandırmasız reaktörler içinde geri devirli reaktördeki konsantrasyonların daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 18). Havalandırmalı reaktörler arasında en yüksek Cr konsantrasyonu R4'e aittir ve havalandırmasız reaktörlerde ise R1 ve R2'deki değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu ortaya konulmuştur (Şekil 19). R5, Cu konsantrasyonun da en yüksek ölçüldüğü reaktördür ve havalandırmasız reaktörler arasında R1 ve R2'deki konsantrasyon birbirine çok yakın olmakla birlikte R2'deki değerlerin nispeten daha yüksek olduğu ve R3'teki değerlerin çalışma süresinde sabit değere yakın olduğu görülmüştür (Şekil 20). Ni konsantrasyonları tüm reaktörlerde 210. güne kadar azalmış ve daha sonra nispeten artış gösterirken ölçülen en yüksek değer 150. günde R4'e aittir (Şekil 21). Pb (Şekil 22) ve Zn (Şekil 23) konsantrasyonu tüm reaktörlerde eş zamanlı artış ve azalış sergilemiştir.



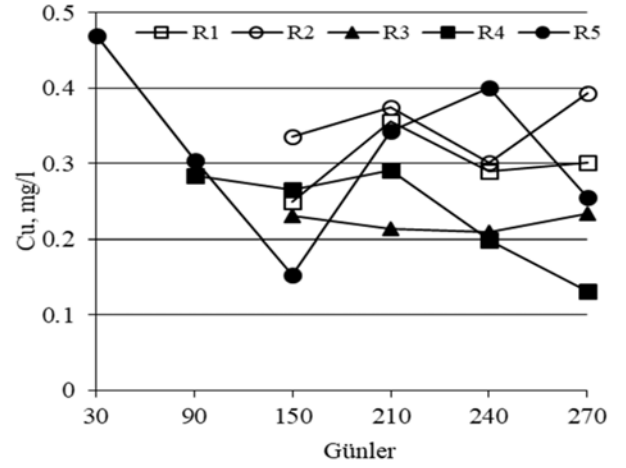
Şekil 16. NH<sub>4</sub>-N Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi  
(Change of NH<sub>4</sub>-N Concentration Over Time)



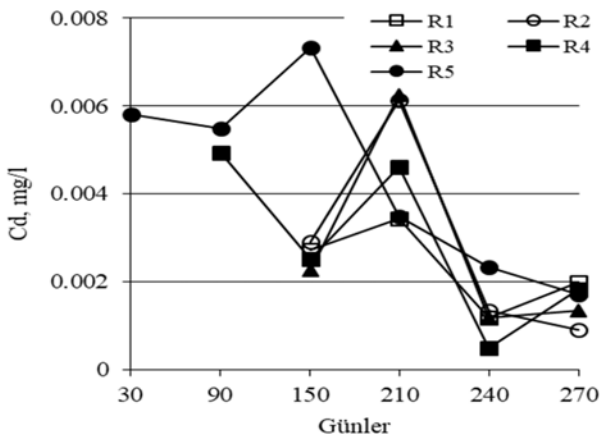
Şekil 19. Krom Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi  
(Change of Chromium Concentration Over Time)



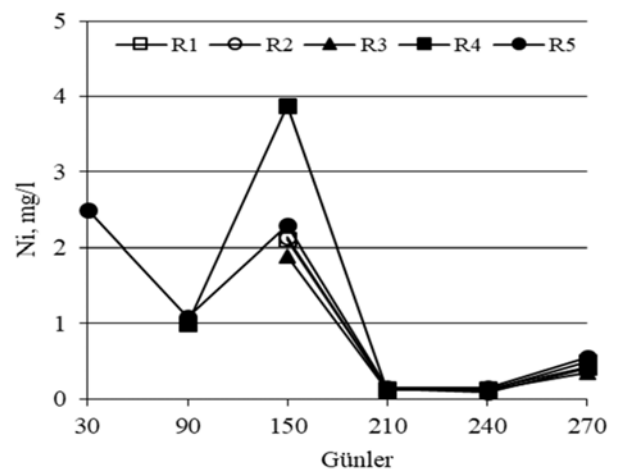
Şekil 17. NO<sub>3</sub>-N Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi  
(Change of Nitrate Concentration Over Time)



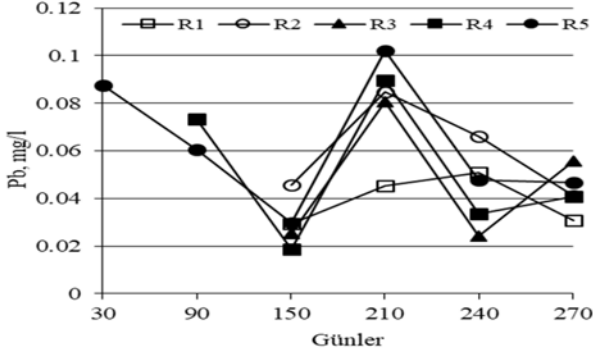
Şekil 20. Bakır Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi  
(Change of Copper Concentration Over Time)



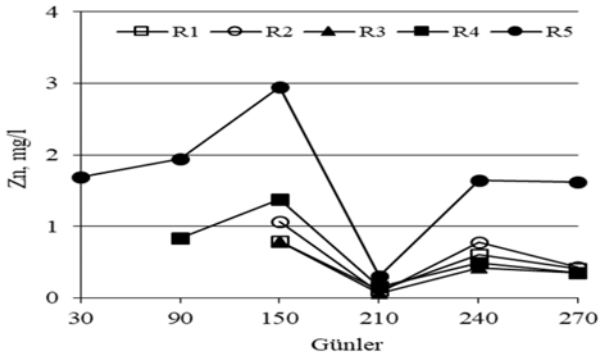
Şekil 18. Kadmiyum Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi  
(Change of Cadmium Concentration Over Time)



Şekil 21. Nikel Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi  
(Change of Nickel Concentration Over Time)

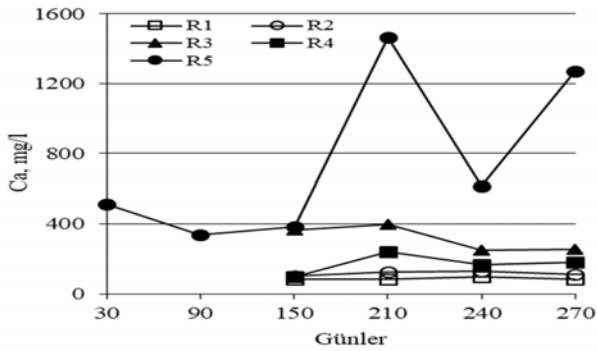


Şekil 22. Kurşun Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi (Change of Lead Concentration Over Time)

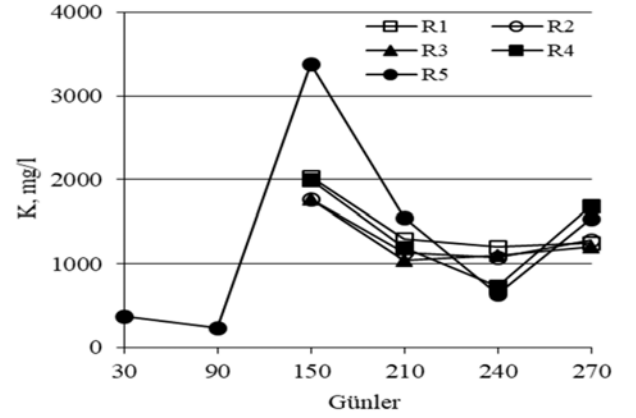


Şekil 23. Çinko Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi (Change of Zinc Concentration Over Time)

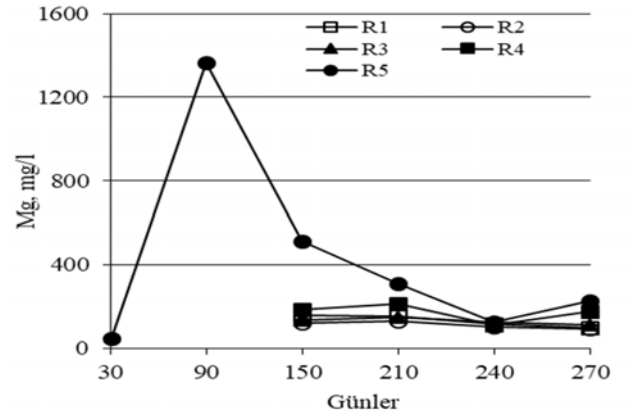
Havalandırılmalı reaktörlerdeki Ca konsantrasyonu havalandırılmış reaktörlere göre daha yüksekken (En yüksek değer R5'e aittir.) havalandırılmış reaktörlerden geri devirsiz olan reaktörde ölçülen değer daha düşüktür (Şekil 24) Çalışmanın ilk zamanlarında en yüksek K konsantrasyonu R5'te ölçülürken ilerleyen zamanda tüm reaktörlerde yakın değerler ölçülmüştür (Şekil 25). R5'te Mg konsantrasyonu diğer alkali metallerde olduğu gibi önce artmış, daha sonra ise azalmıştır ve en düşük konsantrasyon R2'de ölçülmüştür (Şekil 26). Sodyum konsantrasyonu R5'te artan ve azalan dalgalanmalar gösterse de çalışma sonuna doğru diğer reaktörlerdeki değerlere yakın değerlerde ölçülmüştür (Şekil 27).



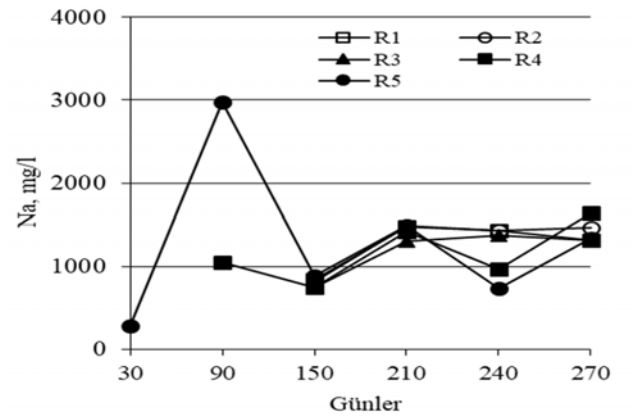
Şekil 24. Kalsiyum Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi (Change of Calcium Concentration Over Time)



Şekil 25. Potasyum Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi (Change of Potassium Concentration Over Time)



Şekil 26. Magnezyum Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi (Change of Magnesium Concentration Over Time)



Şekil 27. Sodyum Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi (Change of Sodium Concentration Over Time)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada kapsamında, sızıntı suyu geri devrinin, havalandırmanın ve havalandırma yönünün ve atık ieğinin biyoreaktör depolama alanlarından oluşan sızıntı sularının

ihativa ettiği kirletici konsantrasyonları üzerindeki etkileri pilot ölçekli olarak araştırılmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde, sızıntı suyu geri devrinin ve havalandırmanın sızıntı suyu kirletici konsantrasyonlarının düşürülmesinde etkili olduğu görülmüştür. Havalandırma yönünün reaktörün altından veya üstünden yapılmasının sızıntı suyu karakterizasyonu değiştirdiği ve üstten havalandırmanın daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Depolanan atığın içeriğinin sızıntı suyu konsantrasyonlarını doğrudan etkilediği bir kez daha ortaya konulmuştur. Karışık atığın ve karışık atığın elenmesiyle elde edilen elek altı atığın depolandığı reaktörlerden farklı karakterizasyonda sızıntı suyu oluştuğu belirlenmiş ve atıkların elendikten sonra sızıntı suyu geri devirli ve üstten havalandırmalı biyoreaktör depolama alanlarında depolanmalarının daha verimli olacağı sonucuna varılmıştır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen “Aerobik Düzenli Depolama Yönteminin Ülkemiz Şartlarındaki Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi Ve İşletme Esaslarının Belirlenmesi” ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi - Projem İstanbul Kapsamındaki tafajından desteklenen “İstanbul İli Katı Atıklarının Bertarafı İçin Düzenli Depolama Alanlarının Biyoreaktör Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” başlıklı projeler kapsamında hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalar Namık Kemal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında ve İSTAÇ AŞ’ye ait Çevre Laboratuvarında yürütülmüştür. Adı geçen birime teşekkürlerimizi sunarız.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. US Environmental Protection Agency. <http://es.epa.gov>. Erişim tarihi Kasım 25, 2016.
2. Yuen S.T.S., Bioreactor landfills: Do they work? 2nd ANZ Conference on Environmental Geotechnics, Newcastle-Australia, 28-30 Kasım 2001.
3. Bartholameuz E.M., Hettiaratchi J.P.A., Kumar S., Enhanced performance of the aerobic landfill reactor by augmentation of manganese peroxidase, *Bioresource technology*, 218, 46-52, 2016.
4. Omar H., Rohani S., Treatment of landfill waste, leachate and landfill gas: A review, *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 9 (1), 15–32, 2015.
5. Cossu R., Morello L., Ragaa R., Giulia Cerminara Biogas production enhancement using semi-aerobic pre-aeration in a hybrid bioreactor landfill, *Waste Management*, 55, 83-92, 2016.
6. Ni Z., Liu J., Girotto F., Cossu R., Qi G., Targeted modification of organic components of organic components of municipal solid waste by short-term pre-aeration and its enhancement on anaerobic degradation in simulated landfill bioreactors, *Bioresource technology*, 216, 250-259, 2016.
7. Bolyard S.C., Reinhart D.R., Application of landfill treatment approaches for stabilization of municipal solid waste, *Waste management*, 55, 22-30, 2016.
8. Reinhart, D.R., Townsend, T.G., *Landfill Bioreactor Design and Operation*, CRC Pres Lewis Publ, New York. 1998.
9. Rhyner C.R., Schwartz L.J., Wenger R.B., Kohrell M.G., *Waste Management and Resource Recovery*, Lewis Publishers, USA. 1995.
10. Borling S.E., Hazen T., G., Oldenburg, C. M., Zawislanski, P., Comparison of Aerobic and Anaerobic Biotreatment of Municipal Solid Waste, *J.Air&Waste Management*, 54 (7), 815-822, 2004.
11. Cossu R., Raga R., Rossetti D., The PAF Model: An Integrated Approach For Landfill Sustainability, *Waste Management*, 23, 37-44, 2003.
12. Read A.D., Hudgins M., Phillips P., Perpetual Landfilling Through Aeration of the Waste Mass: Lesson from Test Cells in Georgia (USA), *Waste Management*, 21, 617-629, 2001.
13. Morris J.W.F., Vasuki N.C., Baker J.A., Pendleton, C.H., Findings From Long-Term Monitoring Studies at MSW Landfill Facilities With Leachate Recirculation, *Waste Management*, 23, 653-666, 2003.
14. Ishigaki T., Sugano W., Nakanishi A., Tateda M., Ike M., Fujita, M., The Degradability Of Biodegradable Plastics İn Aerobic And Anaerobic Waste Land.Ll Model Reactors, *Chemosphere*, 54, 225–233, 2004.
15. Smith M.C., Gatti D.K., Boothe D.D.H., Das K.C., Enhancing Aerobic Bioreduction under Controlled Conditions in A Municipal Solid Waste Landfill Through the Use of Air Injection and Water Recirculation”, *Advances in Environmental Research*, 3, 459-471, 2000.
16. Keener H.M., Elwell D.L., Das K., Hansen R.C., Specifying Design/Operation of Composting Systems Using Pilot Scale Data, *Applied Engineering in Agriculture*, 13, 767-772, 1997.
17. Bernreuter J. Stessel R.I., A Review of Aerobic Biocell Research and Technology, Biological Processes Subcommittee of SWANA, Earth and Environmental Engineering. Columbia University, New York, NY, 10027. 1999.
18. Bhatt A.H., Altouqi S., Karanjekar R.V., Sahadat Hossaina M.D., Chend V. P., Sattlera M. S., Preliminary regression models for estimating first-order rate constants for removal of BOD and COD from landfill leachate, *Technology & Innovation*, 5, 188-198, 2016.
19. APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC., 1998.
20. Ağdağ O.N., Sponza D.T., Katı Atıkların Biyoreaktörlerde Ayrışmasını Etkileyen Faktörler: Katı Atıkların Sıkıştırılması ve Parçalanması, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6, 83-95, 2004.



21. Kim H., Comparative Studies of Aerobic and Anaerobic Landfills Using Simulated Landfill Lysimeters, Doktora Tezi, University of Florida, USA, 2005
22. Jun D., Yongsheng Z., Henry R. K., Mei H., Impacts of Aeration and Active Sludge Addition on Leachate Recirculation Bioreactor, *Journal of Hazardous Materials*, 147, 240-248, 2007.
23. Erses S., Onay T.T., Yenigün O., Comparison of Aerobic and Anaerobic Degradation of Municipal Solid Waste in Bioreactor Landfills, *Bioresource Technology*, 99, 5418–5426, 2007.
24. Xu Q., Jin X., Ma Z., Tao H., Ko J.H., Methane Production in Simulated Hybrid Bioreactor Landfill, *Bioresource Technology*, 168, 92-96, 2014
25. Akkoyunlu B. O., Tayanç M., Four Storms with Sub-events: Sampling and Analysis, *Environment International*, 34, 606-612, 2008.
26. Başak B., Alagha O., The Chemical Composition of Rainwater over Büyükçekmece Lake, *İstanbul, Atmospheric Research*, 71, 275-288, 2004.
27. Karahan G., Öztürk N., Bayülken A., Natural radioactivity in various surface waters in İstanbul, Turkey, *Water Research*, 34(18), 4367–4370, 2000.
28. Sahal N., Lacasse M. A., Proposed method for calculating water penetration test parameters of wall assemblies as applied to Istanbul, *Turkey Building and Environment*, 2008, 43 (7), 1250-1260, 2008.
29. Güler E., Kişisel Görüşme, 2008.
30. Bilgili M. S., Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Atıkların Aerobik ve Anaerobik Ayrışması Üzerine Sızıntı Suyu Geri Devrinin Etkileri, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006
31. Qasim S.R., Chiang W., *Sanitary Landfill Leachate Generation, Control and Treatment*, Technomic Publishing Company, Switzerland, 1994.
32. Tchobanoglous G., Burton F.L., *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*, McGraw-Hill, 1991.
33. Ehrig H.J., *Basic Biochemical Processes in Landfills, Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact*, Academic Pres, New York, 213-229, 1989.
34. Alvarez-Vazquez H., Jefferson B, Judd S.J., Membrane bioreactors vs conventional biological treatment of landfill leachate: a brief review, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 79 (10), 1043-1049, 2004.
35. Barlaz M.A., Ham R.K., Schaefer D.M., Microbial, chemical and methane production characteristics of anaerobically decomposed refuse with and without leachate recycling, *Waste Management Research*, 10, 257-267. 1992.
36. Swarbrick, G.E., *Microbiology of landfill*. In: Smith, D.W., Fityus, S.G., Allman, M.A. (Eds.), *GeoEnvironment*, Australian Geomechanics Society, Newcastle, Australia, Swarbrick, G.E., 2001.
37. Godio A., Arato A., Chiampo F., Ruggeri B., Addario M. D., Fischetti M., Perissinotto E., Liquid Injection to Enhance Biogas Production in Landfills for Pretreated Municipal Solid Wastes, *Environmental Engineering and Management Journal*, 14 (7), 1623-1636, 2015.
38. Kjeldsen P., Barlaz M. A., Rooker A. P., Baun A. Ledin A., Christensen T. H., Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32 (4), 2002.
39. Toptas P., Erses Yay S., Kesikli (Kısmi) Aerobik, Hibrit ve Anaerobik Arıtma Yöntemlerinin Atık Yönetiminde Kullanılması, *Journal of Engineering and Science*, 5-2, 15-21, 2017.
40. Price G.A., Barlaz M.A., Hater G.R., Nitrogen Management in Bioreactor Landfills, *Waste Management*, 23, 675-688, 2003.
41. İnanç B., Çallı B., Saatçi A., Characterization and Anaerobic Treatment of the Sanitary Landfill Leachate in İstanbul, *Water Science and Technology*, 41, 223-230, 2000.
42. Ritzkowski M., Walker B., Kuchta K., Raga R., Stegmanna R., Aeration of the Teuftal landfill: Field scale concept and lab scale simulation, *Waste management*, 55, 99-107, 2016.
43. Zhao X., Musleh R., Maher S., Khire M.V., Voice T., Hashsham S. A., Start-up performance of a full-scale bioreactor landfill cell under cold-climate conditions, *Waste Management*, 28 (12), 2623-2634, 2008.
44. Giannis A. Makripodis G., Simantiraki F., Somara M., Gidarakos E., Monitoring Operational and Leachate Characteristics of an Aerobic Simulated Landfill Bioreactor, *Waste Management* 28 (8), 1346-54, 2007.
45. He R., Liu X., Zhang Z., Shen D., Characteristics of the Bioreactor Landfill System Using an Anaerobic-Aerobic Process for Nitrogen Removal, *Bioresource Technology*, 98, 2526-2532, 2007.
46. Cossu R., Serra R., Effects of Codisposal on Degradation Processes, *Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact*, Academic Pres, New York, 1989.
47. Xie S., Ma Y., Strong P.J., Clarke W.P., Fluctuation Of Dissolved Heavy Metal Concentrations in The Leachate From Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste in Commercial Scale Landfill Bioreactors: The Effect of pH and Associated Mechanisms, *Journal of Hazardous Materials*, 299 (15), 577-583, 2015.
48. Yao J., Li W., Kong Q., Zhu H., Long Y., Shen D., Fractionation of Zinc In Municipal Solid Waste Landfill Leachate: Effect of Leachate Recirculation, *Environmental Engineering & Management Journal*, 17 (2), 443-450, 2018.
49. Yang K., Zhu Y., Shan R., Shao Y., Tian C., Heavy Metals in Sludge During Anaerobic Sanitary Landfill: Speciation Transformation and Phytotoxicity, *Journal of Environmental Management*, 189, 58-66, 2017.
50. Ko J.H., Ma Z., Jin X., Xu Q., Effects of Aeration Frequency on Leachate Quality and Waste in Simulated Hybrid Bioreactor Landfills, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66 (12), 1245-1256, 2016.