

Kesikli-Aerobik, Hibrit ve Anaerobik Arıtma Yöntemlerinin Atık Yönetiminde Kullanılması

Pınar Toptaş and*A.Suna Erses Yay

*Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering Sakarya University, Turkey

Özet

Bu çalışmanın amacı kesikli-aerobik, anaerobik ve hibrit (anaerobik-aerobik) sistemleri kullanarak atık stabilizasyonunu incelemektir. Bu sebeple laboratuvar koşullarında 3 adet reaktör kurulmuş ve reaktörler Sakarya'nın kentsel katı atık kompozisyonu ile doldurulmuştur. Sızıntı suyu ilavesi ile reaktörler biyoreaktör kavramında işletilmiştir. pH, alkalinite, ORP, KOİ, BOİ ve NH₄ parametreleri deney süresince izlenmiştir. Bu çalışma sonunda kısmi havalandırmanın atık stabilizasyonunu arttırdığı, kirleticileri azalttığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kesikli aerobik, hibrit biyoreaktör, anaerobik bioreaktör, düzenli depolama

Abstract

The aim of this study is to investigate waste stabilization using semi-aerobic, anaerobic and hybrid systems. For this reason, 3 reactors were constructed in the laboratory conditions and loaded with the municipal solid waste composition of Sakarya. Reactors were operated as bioreactor concept by recirculation of leachate. pH, alkalinity, ORP, BOD,COD and NH₄ parameters were monitored during the experimental period. This research showed that semi aerated conditions increase the waste stabilization and decrease the pollutants in leachate.

Key words: Semi-aeration, hibrit bioreactor, anaerobic bioreactor, landfilling

1. Giriş

Katı atıkların bertarafı yüzyıllardır süregelen en büyük çevresel sorunlardandır. Gelişen teknoloji ve nüfusun artması ile üretilen katı atık miktarı da artacağından bu sorun ciddi boyutlara taşınması beklenmektedir. Katı atıkların depolanması ise bilinen en eski bertaraf yöntemlerindedir. Düzenli depolama gerek diğer yöntemlere göre ekonomik oluşu gerekse diğer tüm bertaraf şekillerinin sonucunda kalan nihai (kül, çamur vs) atıklarında yok edilmesi için kullanılan bir yöntem oluşu sebebiyle geçerliliğini daha uzun yıllar koruyacak gibi görünmektedir. Ancak depo sahasında anaerobik ayrışma çok yavaş olup, yıllarca sürmekte ve sonucunda senelerce oluşan sızıntı suyu ve depo gazı insan sağlığı ve çevre için olumsuz etkiler yaratmaktadır. Atık ayrışması stabil oluncaya dek depo sahalarının kontrol altında tutulması gerekmektedir. Tüm bu sebepler göz önünde bulundurulduğunda geliştirilmeye ve iyileşmeye açık bir bertaraf yöntemidir [1,2,3]. Atıkların ayrışmasına yardımcı olmak için geliştirilen

*Corresponding author: A.Suna Erses Yay Address: Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: erses@sakarya.edu.tr, Phone: +902642955465

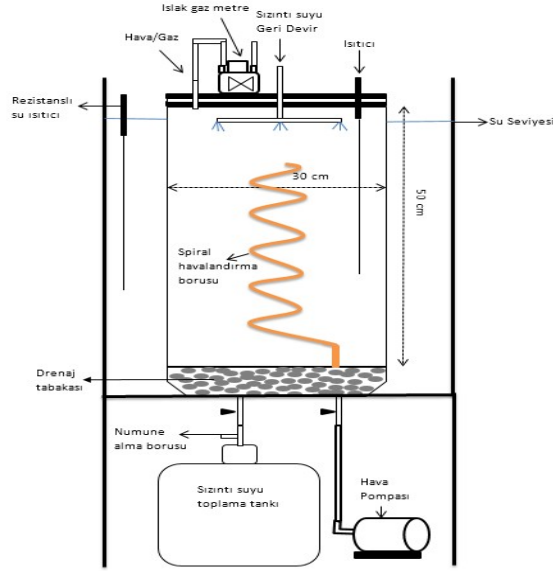
yöntemler ise atıkların parçalanması ve sıkıştırılması, arıtma çamuru, tampon ya da enzim eklenmesi, aerobik ayrışmanın oluşmasının sağlanması ve sızıntı suyunun geri devrettirilmesi [1,4,5]. Bu yöntemlerden sızıntı suyunun geri devrettirilmesiyle düzenli depolama alanlarının biyoreaktör olarak işletilerek atıkların nem muhtevasının artırılması ve buna bağlı olarak atık ayrışmasının artırılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır [3]. Üzerinde çok durulan diğer bir yöntem aerobik depolamayla sahadaki atıkların ayrışması oldukça hızlı olmaktadır ve oluşan depo gazı ile sızıntı suyunun miktarı bu sayede azalmaktadır [1].

Bu çalışma kapsamında katı atık depolama sahalarında ayrışmanın daha kısa sürede ve etkin bertarafı için havalı ayrışmaya alternatif olarak ekonomik olacağı düşünülen kesikli havalandırma ve hibrit yöntemleri araştırılmıştır.

2. Materials and Method

2.1. Reaktörlerin Kurulması

Araştırma için 50 cm yükseklik, 30 cm çap ve 35 L'lik hacimde pleksi glass malzemeden yapılmış 3 adet reaktör kurulmuştur. Çalışmada kullanılan reaktörlerin tasarımı Şekil 1'de verilmiştir. Hava verilerek işletilen reaktörlerin içlerine, verilen havanın homojen bir şekilde dağılması amacı ile bakır malzemeden yapılmış spiral delikli havalandırma boruları yerleştirilmiştir. Ayrışma takibi ve mikrobiyal aktivitenin devamlılığı için sıcaklık önemli bir faktör olduğundan reaktörler 32 ile 35°C sıcaklık aralığında işletilmiştir. Şekil 1' de görüldüğü gibi reaktörlerin üst kısmında 3 çıkış vardır. Bunlardan birincisi sıcaklık ölçmek için, ikincisi sızıntı suyunu geri devrettirmek ve düşen yağmur suyunu temsil eden saf suyu haftalık olarak eklemek için ve üçüncüsü ise ıslak gaz metreye bağlanarak günlük gaz çıkışı ölçmek ve gaz ölçüm cihazıyla oluşan gazın konsantrasyonunu belirlemek için kullanılmıştır. Reaktörlerin alt kısmında ise 2 çıkış vardır. Biri sızıntı suyu numunesi ve geri devir için, diğeri ise reaktör içlerinde bulunan havalandırma borularına havayı ileten hava pompasına ve debimetreye bağlamak için kullanılmıştır.



Şekil 1. Araştırmada kullanılan reaktörlerin tasarımı

2.2. Reaktörlerin Atıkla Yüklenmesi

Katı atıklar, reaktörlerin işletilmesi sürecinde daha hızlı ayrışması ve reaktörlere daha homojen bir şekilde koyulabilmesi için küçük parçalara ayrılarak 5 kg olarak reaktörlere yüklenmiştir. Oluşturulan atık karışımı (ağırlıkça % 44.7 organik (park bahçe ve mutfak), %11 kağıt, % 0.8 metal, % 3,6 cam, %13,4 plastik, % 12,1 tekstil, %13,5 diğer (kül, toz, karışık) ve % 0.9 yanamayan) Sakarya İli Belediye atık karakterizasyonuna göre hesaplanarak hazırlanmıştır.

2.3. Reaktörlerin İşletilmesi

Reaktörler anaerobik, hibrit (havasız-havalı) ve kesikli havalı olarak işletilmiştir. Düzenli olarak hava verilen reaktörlerin havalandırılması akvaryum pompası ile sağlanmış ve debi metre ile bu hava sabitlenmiştir. Tablo 1’de görüldüğü gibi kesikli reaktöre verilen hava miktarı 1 dakika için 0,07 L-kg/dak iken hibrit reaktör önce anaerobik şartlarda işletilmiş, daha sonra ise aerobik koşullara çevrilmiştir. Aerobik koşullara çevrildikten sonra zaman içerisinde günde 1 dakika ile 24 saat arasında değişen 0.07L-kg hava reaktörlere verilmiştir.

Tüm reaktörler literatürde bulunan çalışmalara ve çalışılan çöp miktarına bağlı olarak belirlenen 1000 mL/hafta olarak sızıntı suyu geri devirli olarak işletilmiştir [6]. Ayrıca her hafta reaktörlere ortalama yıllık yağış miktarına göre (70 mm/yıl) karşılık gelen 200 mL saf su eklenmiştir.

Tablo 1. Reaktörlerin İşletilmesi

Reaktör	Verilen Hava Miktarı (L-kg/dak)	Havalandırma Süresi
Anaerobik	-	-
Hibrit (havasız-havalı)	0,07	1 dak/gün -24 saat/gün(542. günden itibaren)
Kesikli Havalı	0,07	60 dak/gün

2.4. Yapılan Analizler ve Yöntem

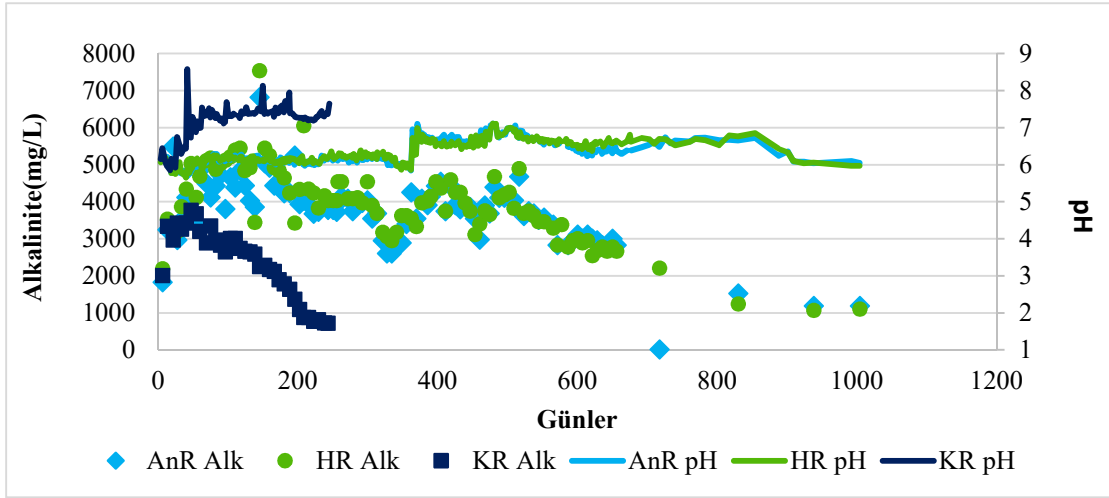
pH, alkalinite, yükseltgenme indirgenme potansiyeli (ORP), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), amonyum (NH₄) çalışma boyunca yapılan sızıntı suyu analizleridir. Analizler Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA, AWWA-WPCF-2012 yöntemlerine göre yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma boyunca sızıntı suyunda yapılan pH ve alkalinite analiz sonuçları Şekil 2’de gösterilmiştir. Reaktör boyutuna bağlı olarak atık miktarının az olması sebebiyle ayrışmanın başlangıcında görülmesi beklenen nötrale olma durumu gözlenmeden pH değerleri doğrudan düşüşe geçmiştir. pH değeri, anaerobik ve hibrit reaktörlerde ilk 65 gün azalırken 65. günden sonra yavaş bir yükselme eğilimi göstermiştir. Hibrit ve anaerobik reaktörlerde metan üretimini hızlandırarak pH’ı yükseltmek için çalışmanın 314. gününden sonra reaktörlere alkalinite eklenmiştir. İlk olarak 20 ml/gün şeklinde 3g/L NaHCO₃ eklenmiş [7] ve eklenen alkalinite yeterli gelmediği için NaHCO₃ konsantrasyonu 6g/L olarak artırılmıştır. Ancak alkaline ilavesinin ilk gününde itibaren geçen 20 günde istenilen pH değerleri görülememiştir. Metan üretiminin henüz gözlenememesi pH yükselmesine karşı görülen direnç reaktörlerde yağ asitlerinin birikiminin sebep olabileceği düşünülmüştür. Aynı zamanda bu reaktörlerde alkalinite sonuçlarına bakıldığında alkalinitenin çok değişiklik göstermemesi pH’ı yükseltmede yetersiz kaldığının göstergesidir. Anaerobik ve hibrit reaktörlere yapılan müdahalelere rağmen pH’ın yükselmeye karşı direnç göstermesi ve hatta düşmesi sebebiyle 363. günden sonra tekrar alkalinite ilavesi olmuştur. Başta eklenen alkalinite konsantrasyonunun varolan organik asitleri tamponlamaya yetersiz kaldığı düşünülmüş ve bu yüzden eklenen NaHCO₃ konsantrasyonu 60g/L seçilmiştir. Alkalinite, geri devir esnasında sızıntı suyu ile karıştırılarak pH 7-7,5 arayı yapılarak eklenmiştir. Bu alkalinite ilaveleri ile pH değerleri her iki reaktörde de 6,5 ile 7,11 arasında değiştiği görülmüştür. Ancak hala metan üretimi gerçekleşmediğinden anaerobik ve hibrit reaktörlerde metan üretmeye yarayan bakteri miktarının yetersiz olduğu düşünülerek çalışmanın devam ettirilebilmesi adına literatür taranmış ve reaktörlere çalışmanın 511. ve 654. günlerinde sırasıyla 100 ve 500 mL olacak şekilde bir tesisten alınan anaerobik çamur eklenmiştir. Anaerobik çamurla beraber pH yükselmiş ancak metan eldesi olmamıştır. Buna bağlı olarak ilk anaerobik çamur ilavesinden sonra elde edilemeyen metan neticesinde hibrit biyoreaktöre belirlenen hava (542.günden itibaren) günlük olarak verilmiştir. Verilen hava sonucunda çalışma sonuna kadar

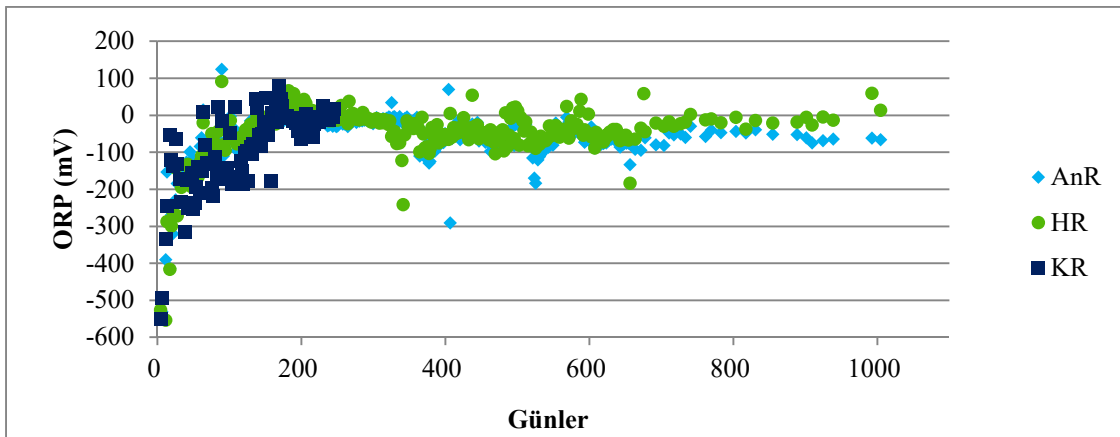
Şekil 2’de de görüldüğü gibi anaerobik ve hibrit biyoreaktör arasında çok farklılık gözlenmemiştir.

Kesikli havalı reaktörde pH başlangıçta 6 civarında iken günlük olarak verilen hava sebebiyle bu değer 25. günden sonra hızlı bir şekilde artarak 7 – 7,7 arasında eğilim göstermiştir. pH değerlerine bağlı olarak alkalinite de 54.günden sonra sürekli bir düşüş gözlenmiştir.



Şekil 2. pH ve Alkalinite Analiz Sonuçları

ORP katı atıkların kimyasal özelliği ile ilgili bilgi verdiği için önemli bir parametredir. Metan üretimi fazında uygun değer aralığı -150 ile -300 mV [8,9] ve asidojenik fazla elektron alıcı olarak NO_3^- ve SO_4^- ‘ün indirgenmelerine bağlı olarak -50 ile -100 aralığındadır [10].

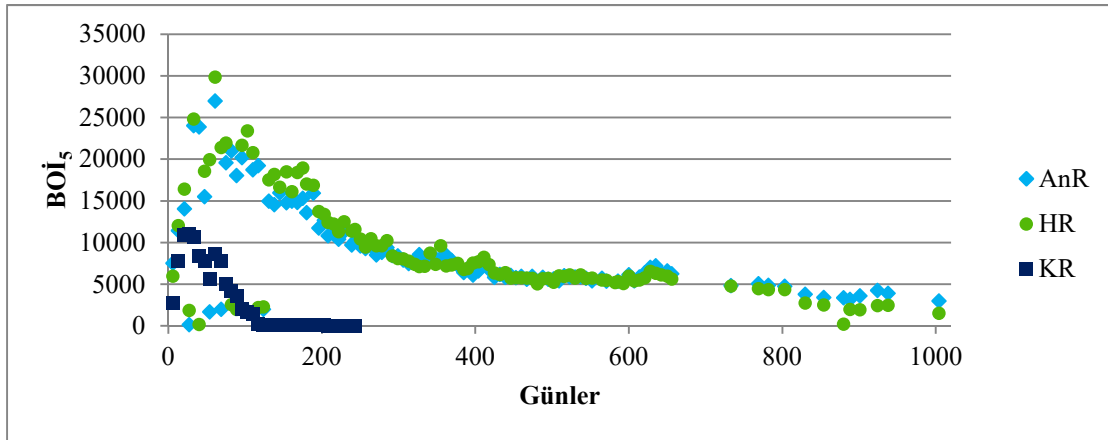


Şekil 3. ORP Analiz Sonuçları

Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.’deki ORP sonuçlarına göre kesikli havalı biyoreaktörün hibrit ve anaerobik biyoreaktörlere göre verilen hava neticesinde atıkların ayrışması daha hızlı olduğundan daha düşük değerlerdedir. Ayrıca verilen hava reaktörün üst kısımlarında daha etkili

olacağından reaktör tabanında biriken sızıntı suyunda anaerobik koşullar oluşabilir ve bu durumda sızıntı suyu içinde H_2S miktarı yüksek olur. H_2S miktarının yüksek olması ORP değerlerinin düşük olmasına neden olabilir. Anaerobik ve hibrit biyoreaktörü incelendiğinde ORP değerleri genellikle 0 ile - 100 aralığındadır. Alkalinite ilavesi ya da anaerobik çamur ilavesi olduğu süreçlerde artan eğilim, bu ilaveler bitiminden sonraki geçen süreçte yine azalan eğilim görülmüştür. Alkalinite ve anaerobik çamur ilavesi yapılan zaman diliminde genel olarak -50 ile -100 arasında değişim görülmüştür. Ayrıca hibrit reaktöre verilen havanın etkisiyle 620.günden sonra hibrit, anaerobik reaktörden ayrılarak biraz daha az değerlere sahip olmuştur. Bu süreçte anaerobik reaktör genellikle -50 ile -100 aralığında iken hibrit reaktör 0 ile -60 arasında bir eğilim göstermiştir. Hibrit ve anaerobik reaktörlerin ORP değerlerinin bu aralıklarda olması reaktörlerin asidojenik fazdan metojenik faza geçemediğinin bir göstergesidir.

Organik maddenin ayrışmasının göstergesi olan sızıntı suyundaki $BOİ$ sonuçları Şekil 4'de gösterilmiştir. Anaerobik ve hibrit reaktörde çalışmanın 6.gününde yapılan analiz sonucuna göre sırasıyla 7530 mg/L ve 6000 mg/L olarak görülmektedir. Anaerobik ve hibrit reaktörde en yüksek $BOİ$ değeri çalışmanın 61.gününde görülmüş ve ardından hızlı bir azalma eğilimi görülmüş ve bu azalma 300.günden sonra yavaşlamıştır. Ayrıca alkalinite anaerobik çamur ilaveleri ile ufak bir artma azalma eğilimleri grafikten görülmektedir. Hibrit reaktöre sonradan verilen hava neticesinde anaerobik reaktöre kıyasla çok net farklılıklar olmamıştır. Çalışma sonunda sızıntı suyunda hesaplanan $BOİ$ değerleri anaerobik ve hibrit reaktörlerde sırasıyla 3015 mg/L ve 1546 mg/L dir. Kesikli reaktörde ise sisteme verilen hava miktarının ve süresinin az olmasına karşın hızlı bir düşüş olmuştur. Kesikli havalı reaktörde 6.günde ölçülen $BOİ_5$ değeri 2800 mg/L dir ve en yüksek $BOİ_5$ seviyesine 27.günde 11070 mg/L ye ulaşmıştır. 27.günden sonra ani bir şekilde düşmüş ve 245.gün sonunda 20 mg/L olarak ölçülmüştür.



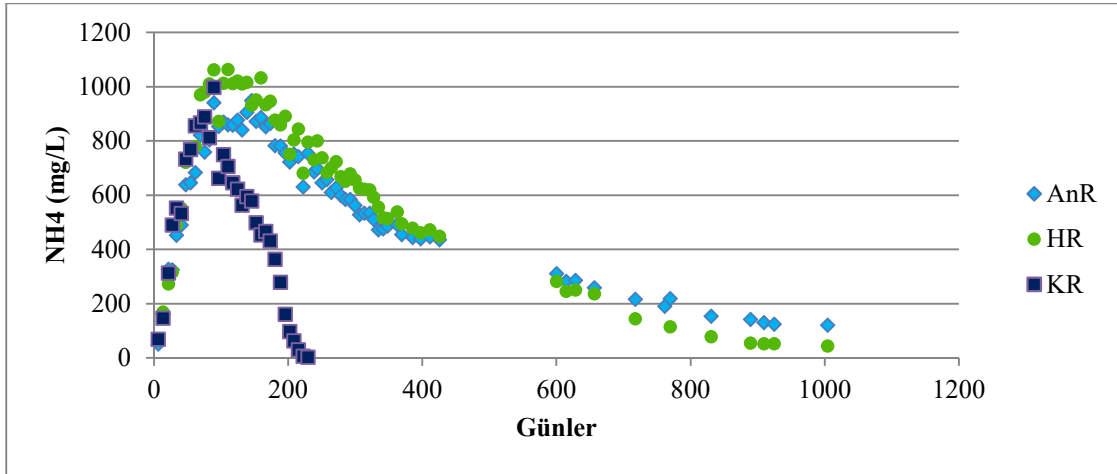
Şekil 4. $BOİ$ Analiz Sonuçları

Reaktörlerde başlangıç $KOİ$ değerleri yaklaşık 10000 mg/L dir. Organik maddelerin ayrışmasıyla $KOİ$ değerleri, anaerobik ve hibrit reaktörlerde 74.günden sonra yaklaşık 45000 mg/L ye kadar yükselmiştir. 114.günden sonra $KOİ$ konsantrasyonları azalmaya başlamıştır ancak 370.günden sonra çok yavaş bir azalma görülmüştür. Bu durum metan üreten bakterilerin yetersiz olması anlamına gelebilir. Hibrit reaktöre hava verilmesiyle 665.günden sonra anaerobik reaktöre göre

biraz daha hızlı düşüş görülmektedir ve çalışma sonundaki anaerobik ve hibrit reaktörlerde KOİ konsantrasyonları sırasıyla 6655 mg/L ve 3480 mg/L dir. Kesikli reaktörde ise ilk 38 gün KOİ konsantrasyonlarında yükselme görülmüş ve en yüksek değer 29800 mg/L olarak ölçülmüştür. 38.günden itibaren hızlı bir düşüş olmuştur. 245 gün boyunca çalıştırılan kesikli reaktörde çalışma sonunda ölçülmüş olan KOİ konsantrasyonu 396 mg/L dir. Buradan sisteme verilen oksijenin daha hızlı ayrıştırma etkisinin olduğu görülmektedir.

Diğer yandan BOİ/KOİ oranlarına bakılacak olunursa KOİ sonuçlar BOİ sonuçlarına göre daha yüksektir. Bunun nedeni ise biyolojik olarak daha kolay ayrışabilen maddelerin bitmesine olabilir. BOİ/KOİ oranının 0,4 ile 0,8 arasında olması biyolojik olarak parçalanacak organik maddenin fazla olduğunu göstermektedir [10]. Anaerobik ve hibrit reaktörde BOİ/KOİ oranı genel olarak 0,4'in üstünde seyretmiştir. Kesikli havalı reaktörü ise en yüksek değeri 69.günde 0,79 olarak bu günden sonra düşüşe geçmiş ve 243.günde 0,05 ile kapatılmıştır. BOİ/KOİ oranının düşmesi katı atığın stabilizasyona yaklaştığını göstermektedir [11]. Buna bağlı olarak kesikli havalı reaktörün stabilize olduğu sonucuna varılabilir.

Şekil 5'de görüldüğü üzere NH_4 değerleri anaerobik ve hibrit reaktörlerde aynı eğilim vardır. Reaktörlerde atıkların ayrışmasıyla azotlu organik bileşiklerin parçalanması sonucunda hızlı bir yükselme görülmüştür. Anaerobik ve hibrit reaktörlerde 145.gün sonunda en yüksek değerlere ulaşılmıştır ve kapatma değerleri sırasıyla 120 mg/L ve 44 mg/L olarak ölçülmüştür. Kesikli havalı reaktörde ise ilk 100 gün en yüksek değerlere ulaşılmış ve 238.günden sonra amonyak tespit edilememiştir. Eğer sızıntı suyundaki amonyak konsantrasyonu artarsa bakteriler üzerinde toksik etki gösterebilir ve 200 ile 1500 mg/L aralığında iken anaerobik ayrışma üzerinde toksik etki göstermemektedir [12]. Tüm reaktörlere bakıldığında en yüksek değerler anaerobik 948 mg/L, hibrit 1063 mg/L ve kesikli havalı reaktör 997 mg/L dir ve bu değerler göz önüne alındığında amonyumun toksik etki göstermediği sonucuna varılabilir.



Şekil 5. NH_4 Analiz Sonuçları

4. Sonuçlar

Düzenli olarak kısmi hava verilerek işletilen reaktörde diğer reaktörlere göre sızıntı suyu kirliliği daha hızlı giderilmiştir. Hibrit (havasız-havalı) reaktörde başlangıçta anaerobik reaktörle aynı koşullar sağlanmış ve tüm değerler aynı eğilimde olmuştur. Ancak hibrit reaktöre hava verme aşamasından sonra anaerobik reaktöre göre az da olsa farklılıklar gözlenmiştir. Kesikli havalı reaktörde KOİ konsantrasyonu 40.günden sonra hızla düşmüş ve diğer reaktörlere göre KOİ giderimi 4 kat daha hızlı olmuştur. Amonyak azotu kısmi havalı reaktörde daha hızlı artmış ve daha hızlı ve keskin olarak azalmıştır. Yapılan çalışmaya göre uygun hava oranı verilerek işletilen aerobik depolama alanındaki kirlilik yükünün anaerobik olarak işletilen depolama alanlarına göre daha hızlı azaltıldığı görülmüştür.

Teşekkür

Yazarlar, finansal destek sağladığı için sırasıyla 2012-01-12-014 kodlu Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesine ve 112Y257 kodlu Tübitak Projesine teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1]Sekman, E. “Katı Atıkların Aerobik Ayrışması Sırasında Gerekli Olan Optimum Hava Miktarının Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul; 2009.
- [2]Bilgili, M.S. Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Atıkların Aerobik ve Anaerobik Ayrışması Üzerine Sızıntı Suyu Geri Devrinin Etkileri. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. İstanbul; 2006.
- [3]Top, S. Katı Atıkların Aerobik ve Anaerobik Ayrışma Proseslerinin Arazi Ölçekli Test Hücrelerinde İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul; 2009.
- [4] Erses, A.S., (2008), Sustainable Solid Waste Management and In Situ Attenuation Mechanisms in Landfills Under Aerobic and Anaerobic Conditions, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul 2008.
- [5]Erses, S., Onay, T.T. ve Yenigün, O., (2008). Comparison of aerobic and anaerobic degradation of municipal solid waste in bioreactor landfills, *Bioresource Technology*, 99, 5418-5426.
- [6]San, İ., Onay, T. T. Impact of various leachate recirculation regimes on municipal solid waste degradation. *Journal of Hazardous Materials* 2001; 87, 259-271.
- [7]Ağdağ, O. N., Sponza, D. T. (2005). Anaerobic/aerobic treatment of municipal landfill leachate in sequential two- stage up-flow anaerobic sludge blanket reactor (UASB)/completely stirred tank reactor (CSTR) systems. *Process Biochemistry*, 40, 895–902.
- [8]Christensen, T.H., Kjeldsen, P. Basic Biochemical Processes in Landfills, Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact, eds: Christensen , T.H., Cossu,R., Stegmann, R., Academic Press, London, UK; 1989.
- [9]Pohland, F.G. Leachate Recycle as Landfill Management Option, *Journal of the Environmental Engineering Division* 1980; 106:1057-1069.

- [10] Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*, McGraw Hill, Inc, USA; 1993.
- [11] Reinhart, D.R. ve Townsend, T.G. “*Landfill Bioreactor Design & Operation*”, CR HC Press Lewis Publicity, New York 1998; 189pp.
- [12] Pohland, F. G., Gould, J. P., Esteves, W. R. and Spiller, B. J. *Fate of Heavy Metals During Landfill Stabilization of Solid Waste Materials With Leachate Recycle*. EPA Project No. R-806498, Cincinnati, Ohio, U.S.; 1987.