

Sızıntı sularının yukarı akışlı çamur yatak / tam karışımli tank reaktör sistemlerinde arıtılması

Osman Nuri AĞDAĞ^{*1}, Delya SPONZA²

¹ Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fak., Çevre Müh. Böl., Kınıklı Kampüsü, Denizli

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Çevre Müh. Böl., Buca Kaynaklar Kampüsü, İzmir

Özet

Bu çalışmada yiyecek atıkları içeren anaerobik katı atık reaktöründen oluşan sızıntı sularının yukarı akışlı çamur yatak (YAÇY)/ sürekli karıştırmalı tank (SKT) reaktör sistemlerinde anaerobik/aerobik arıtılabilirliği incelenmiştir. Deneyler iki YAÇY reaktör ve bir aerobik SKT reaktörde 42 gün sürdürülmüştür. Bu çalışmadan önce sistem 30 gün kararlı koşullarda YAÇY'de % 43 ile % 60 KOİ ve aerobik reaktörde % 85 KOİ giderim verimleri ile çalıştırılmıştır. Besleme debisi 2 l.gün⁻¹ ve anaerobik reaktörlerde yukarı akış hızı 0.25 m l.gün⁻¹ olmuştur. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) konsantrasyonlarının 5400 den 20000 mg l⁻¹ ye artırılmasıyla 4.3- 16 kg KOİ.m⁻³.gün⁻¹ lük organik yüklemelerde çalışılmıştır. Birinci YAÇY çıkışı (Sistem 1) ikinci YAÇY reaktöre (Sistem 2) bağlanmış, onun çıkışı aerobik SKT reaktöre (Sistem 3) verilmiştir. 12.8 kg m⁻³.gün⁻¹ organik yükleme hızında (OYH) KOİ giderme verimleri birinci YAÇY reaktörde minimum % 58 maksimum % 79 iken toplam sistemde minimum % 96 maksimum % 98 dir. Aerobik kademede NH₄-N giderme verimi % 99.6 dir. Birinci ve ikinci YAÇY'ler için maksimum metan yüzdeleri 12.8 kg m⁻³.gün⁻¹ lük organik yükleme ve 16000 mg l⁻¹ giriş KOİ konsantrasyonunda % 64; 4.3 kg m⁻³.gün⁻¹ lük organik yükleme ve 5400 mg l⁻¹ giriş KOİ konsantrasyonunda % 43 olarak gerçekleşmiştir. S1 ve S2 reaktörleri için sırası ile 12.8 kg m⁻³.gün⁻¹, 4.2 kg m⁻³.gün⁻¹ OYH ile 16000 mg l⁻¹ ve 4160 mg l⁻¹ KOİ konsantrasyonlarında metan verimleri 0.35 m³ metan gazı kg⁻¹ KOİ_{giderilen} ve 0.39 m³ metan gazı kg⁻¹ KOİ_{giderilen} bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Sızıntı suyu arıtımı, ardışık anaerobik/aerobik reaktör sistem, KOİ giderimi, NH₄-N giderimi.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Osman Nuri AĞDAĞ. o.agdag@deu.edu.tr.

Makale metni 25.05.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 28.03.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Treatment of landfill leachate in upflow sludge blanket reactor /completely stirred tank reactor systems

Extended abstract

Solid waste landfills may cause severe environmental impacts if leachate and gas emissions are not controlled. Leachate generated in municipal solid waste landfill contains large amounts of organic and inorganic contaminants. Leachate may also have a high concentration of metals and contain some hazardous organic chemicals. Due to the hazards arising from the presence of nitrogen compounds in water and groundwater sources, the discharge of these compounds must be minimized. After methanation phase, the leachates contain relatively low concentrations of degradable organic matter but high concentrations of ammonia nitrogen. The slow leaching of nitrogen from solid waste in municipal solid waste landfills results in high concentrations of ammonia in the landfill leachate. The removal of organic material based on chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD) and ammonium nitrogen from leachate is the usual prerequisite before discharging the leachates into natural waters. Anaerobic treatment methods are more suitable for the treatment of concentrated leachate streams, offer lower operating costs, the production of usable biogas product, and production of a pathogen free solids residue which can be used as a cover material. High-rate anaerobic processes such as upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) and anaerobic filter (AF) have been shown to be efficient in the treatment of leachate having a COD higher than 800 mg/l and the BOD/COD ratio higher than 0.3. In this study, the treatability of leachate produced from the food wastes in a lab-scale simulated anaerobic reactor was investigated, in two-stage sequential upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB)/ aerobic completely stirred tank reactor (CSTR). The experiments were performed in two UASB reactors and a CSTR reactor, having effective volumes of 2.5 l and 9 l, respectively. Hydraulic retention times in anaerobic and aerobic stages were 1.25 and 4.5 days, respectively, through 42 days at a constant flowrate of 2 l. They were operated at 37 °C using an electronic heater located in the medium part of the reactor. The system was operated under steady-state conditions at COD removal efficiencies of 43-60 % in the first

UASB reactor while 85 % COD removal efficiency was obtained in the aerobic reactor through 30 days before continuous study. After the start-up period, the COD concentration of leachate was steadily increased from 5400 mg l^{-1} to 20000 mg l^{-1} . Organic loading rates (OLRs) were increased from 4.3 to 16 kg COD $m^{-3}.d$ by increasing the COD concentrations from 5400 mg l^{-1} to 20000 mg l^{-1} . The effluent of the first anaerobic UASB reactor (Run 1) was used as the influent of the second UASB reactor (Run 2) while the effluent of the second UASB reactor was used as the influent of the aerobic CSTR reactor (Run 3). COD removal efficiencies were 58 (minimum value) and 79 (maximum value) at a OLR of 12.8 kg $m^{-3}.d$ in the first UASB reactor. COD removal efficiencies in the whole system (two steps UASB+CSTR) were 96-98 % at the aforementioned OLR. Inert COD values were measured in all organic loading rates for Run 1. Inert COD was measured as approximately 10 % of total COD value. Ammonium removals were insignificant in the anaerobic runs. But, NH_4-N removal efficiency was approximately 99.6 % in the effluent of the aerobic stage. The volatile fatty acid (VFA) concentration of leachate increased from 1400 mg l^{-1} to 2300 mg l^{-1} by increasing the OLR from 4.3 kg COD $m^{-3}.d$ to 16 kg COD $m^{-3}.d$ in Run 1 reactor. The VFA concentration of Run 1 reactor was higher than Run 2 reactor during the operation period. pH values of the Run 1 and Run 2 reactor were approximately neutral value. During the operation period, quantity of total and methane gas increased. Total and methane gas quantity of Run 1 reactor was higher than Run 2 reactor. Quantity of methane gas was measured 5.9 and 0.71 $l.d^{-1}$ at OLR of 16 kg COD $m^{-3}.d$ in Run 1 and Run 2 reactors, respectively. The maximum methane percentages of the first and second UASB reactors were 64 % and 43 % at OLR of 12.8 kg $m^{-3}.d$ and 4.2 kg $m^{-3}.d$ and influent COD concentrations of 16000 mg l^{-1} , 4160 mg l^{-1} respectively. The methane yields in Run 1 ve Run 2 reactors were 0.35 m^3 methane gas $kg^{-1}COD_{removed}$ and 0.39 m^3 methane gas $kg^{-1}COD_{removed}$ at a OLR of 12.8 kg/ $m^3.d$ and a COD concentration of 16000 mg l^{-1} , respectively. H_2S gas was not detected in the anaerobic reactors.

Keywords: Leachate treatment, sequential anaerobic/aerobic system, COD removal, NH_4-N removal.

Giriş

Katı atık düzenli depolama alanları sızıntı suyu ve gaz oluşumu kontrol altına alınmadığı takdirde önemli çevre sorunlarına sebep olabilmektedir. Kentsel katı atık depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı suları yüksek miktarda organik ve inorganik kirlilik parametrelerini içermektedir (Kettunen ve Rintala, 1998). Anaerobik arıtma prosesleri ekonomik olmaları, yüksek organik yüklemelerde çalıştırılabilmesi, metan gazının enerji eldesinde kullanılabilir olması ve kalan katı maddenin hastalık yapıcı mikroorganizma içermemesi gibi avantajlara sahiptir. Bu nedenle anaerobik reaktörler konsantre sızıntı suyu arıtımı için uygundur (Malina ve Pohland, 1992).

İnanç ve diğerleri, (2000) sızıntı sularını anaerobik arıtmak amacıyla YAÇY, yukarı akışlı anaerobik filtre ve hibrit reaktörler kullanmışlardır. Organik yükleme hızları $1.3 \text{ kg KOİ/m}^3\text{.gün}$ 'den $8.2 \text{ kg KOİ/m}^3\text{.gün}$ 'e çıkarılmış, hidrolik bekleme süresi 2.4 -2 gün mertebelerinde çalışılmıştır. Kullanılan tüm reaktörlerde yaklaşık % 80-90 civarında KOİ giderme verimi elde edilmiştir. Kettunen ve Rintala, (1998) sızıntı sularının YAÇY reaktörlerde düşük sıcaklıklarda arıtılabilirliği üzerine bir çalışma yapmışlardır. Pilot ölçekli tesiste yapılan çalışmada $13-23 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta %65-75 KOİ, % 95'in üzerinde de BOİ_5 giderme verimi elde edilmiştir. Kettunen ve diğ., (1996) tarafından yapılan buna benzer bir çalışmada, sızıntı sularının anaerobik ve ardışık anaerobik-aerobik arıtımı gerçekleştirilmiş ve çıkış suyunda 380 mg l^{-1} KOİ ve 22 mg l^{-1} BOİ_5 değerleri gözlenmiştir. Lin ve diğerleri, (2000) tarafından yapılan bir çalışmada sızıntı suları ile evsel atıksuların birlikte YAÇY reaktörlerde anaerobik arıtımı denenmiştir. Evsel atıksu/sızıntı suyu karışım oranları 3:1, 2:1, ve 1:1 olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda sızıntı suları ile evsel atıksuların YAÇY reaktörlerde anaerobik arıtılmalarının başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Frigon ve diğerleri, (2003) tarafından yapılan bir diğer çalışmada da sızıntı sularının anaerobik YAÇY reaktörü takiben iki paralel aerobik aktif çamur reaktörde arıtılabilirliği incelenmiştir. Anaerobik reaktörde 4, aerobik reaktörlerde 1 günlük hidrolik bekleme süre-

leri sonucunda % 96-98 KOİ giderme verimi sağlanmıştır.

Sızıntı sularından organik madde ve azot giderimi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Im ve diğerleri, (2001) sızıntı sularından organik madde giderimi ve denitrifikasyon için anaerobik biyofilm reaktör ve aktif çamur reaktörü kullanmışlardır. Ilies ve Mavinic, (2001) yüksek amonyum içeren sızıntı sularında nitrifikasyon ve denitrifikasyon için 4 kademeli Bardenpho prosesi kullanmışlardır. Kennedy ve Lentz, (2000) YAÇY reaktör kullanmışlar ve $19 \text{ kg.KOİm}^{-3}\text{.g}^{-1}$ lük organik yüklemelerde yaklaşık % 90'ın üzerinde KOİ giderimi sağlamışlardır.

Hoilijoki ve diğerleri, (2000) anaerobik ön arıtmadan geçmiş katı atık depolama alanı sızıntı sularının laboratuvar ölçekli aktif çamur reaktöründe nitrifikasyonunu çalışmışlardır. Aerobik safhadan sonra çıkış suyu KOİ konsantrasyonu $150-500 \text{ mg l}^{-1}$, BOİ_5 7 mg l^{-1} 'den daha düşük, $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonunun ise 13 mg l^{-1} olduğu gözlenmiştir. Tyrrel ve diğ., (2002) sızıntı sularından arazide $\text{NH}_3\text{-N}$ giderimi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada sızıntı suları arazide arıtma metodu kapsamında *Agrostis stolonifera* türü çim bitki örtüsü üzerine verilmiş ve $\text{NH}_3\text{-N}$ giderimi sağlanmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucunda $\text{NH}_3\text{-N}$ gideriminin % 85-90 düzeyinde olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, mutfak atıklarından kaynaklanan sızıntı sularının farklı organik yüklemelerde iki kademeli YAÇY ve SKT reaktörlerde anaerobik/aerobik olarak arıtılmasıdır. Çalışmada kullanılan sızıntı suları laboratuvar ortamında kurulan; ağırlıklı olarak organik atıkların (mutfak atıkları %80-85, kağıt %2-7, plastik, cam %2-3 ve tekstil %1) yüklendiği katı atık simüle biyoreaktöründen elde edilmiştir. Anaerobik/aerobik reaktörlerde metan üretimi, KOİ ve uçucu yağ asidi (UYA) giderimi ve $\text{NH}_4\text{-N}$ değişimleri incelenmiştir.

Materyal ve metot

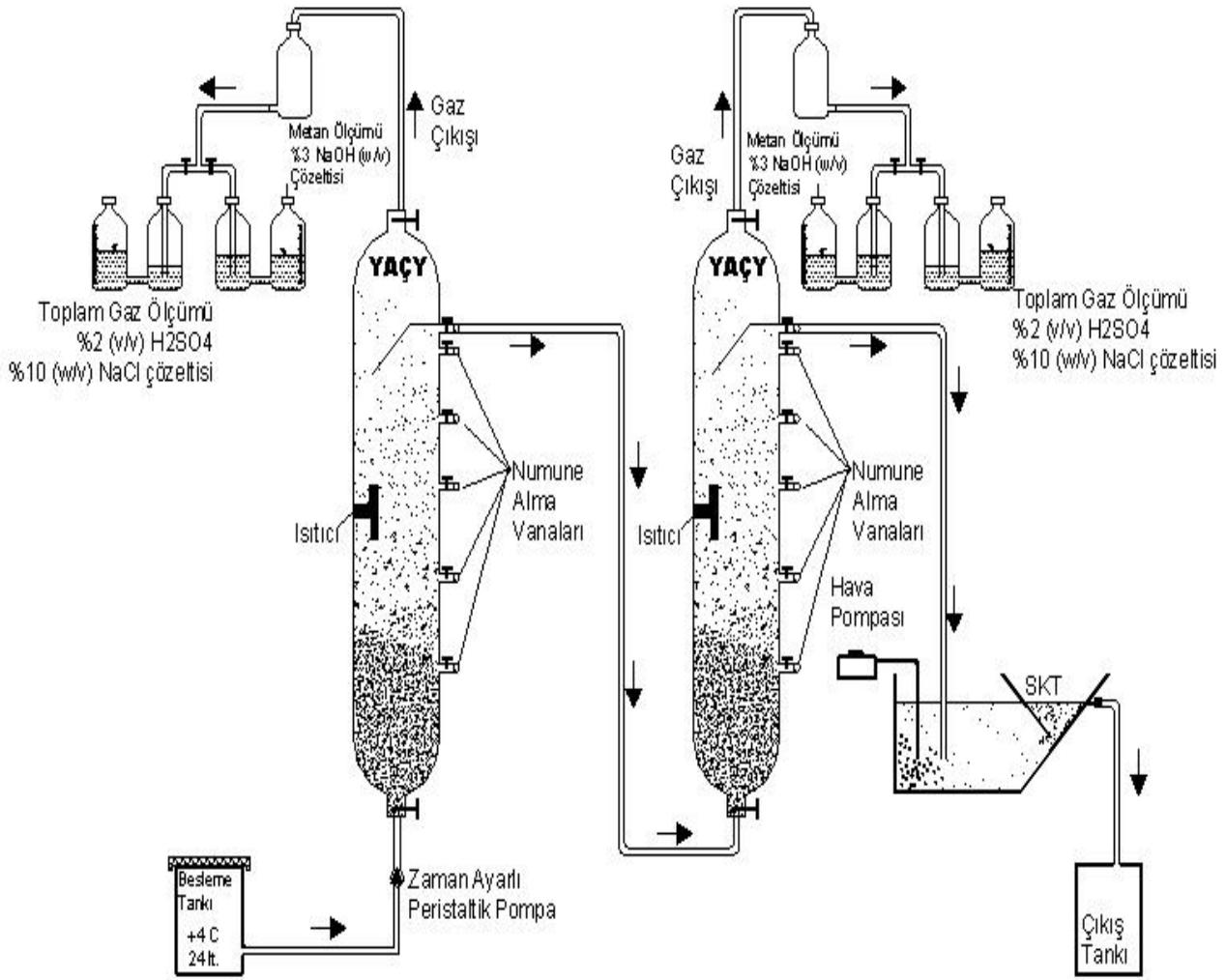
Laboratuvar ölçekli reaktör sistemler

Deneylerin gerçekleştirilmesi için paslanmaz çelik malzemedeki iki adet YAÇY, bir adet SKT

reaktör yaptırılmıştır. İkinci YAÇY'nin kullanılmasının sebebi, birinci reaktörde giderilemeyen yüksek KOİ'nin giderilmesi ve sistem verimliliğinin artırılmasıdır. YAÇY reaktör 2,5 l hacminde olup, elektronik bir ısıtıcı ile 37-38°C'de ısıtılmaktadır. SKT reaktörün havalandırma bölümü hacmi 9 l, çökeltme bölümü hacmi 1,32 l'dir. Laboratuvar ölçekli ardışık reaktörler Şekil 1'de gösterilmektedir. SKT reaktörde çözülmüş oksijen konsantrasyonu 3-4 mg l⁻¹ arasında tutulmuştur. YAÇY reaktörlerinin yüklenmesi için maya endüstrisi (Pakmaya, İzmir) arıtma tesisi metan reaktöründen alınan 1 litre anaerobik çamur (TSS= 40 g l⁻¹) kullanılmıştır. Aerobik SKT reaktörün aşılınması için boya endüstrisi (DYO, İzmir) arıtma tesisinden alınan 2 litre aktif çamur kültürü (MLSS = 2600 mg l⁻¹) kullanılmıştır.

İşletme Şartları

Dokuz Eylül Üniversitesi yemekhane atıklarından alınan evsel çöplerin % 80-85'ni organik madden % 2-7'si kağıt, % 5-6'sı da plastik, cam ve tekstil ürünleri içermektedir. Deneysel çalışmalar 42 gün sürdürülmüştür. Rutin analizlere geçilmeden önce sistem 30 gün kararlı hal koşullarında YAÇY'de % 43 ile % 60 KOİ ve aerobik reaktörde % 85 KOİ giderim verimleri ile çalıştırılmıştır. KOİ konsantrasyonları arttırılarak yaklaşık 5-10 gün sistemler çalıştırılarak sabit bir çıkış KOİ'si ve metan verimi elde edildikten sonra rutin işletme periyoduna geçilmiştir. Yaklaşık olarak 2-3 gün aynı KOİ giderme verimi ile metan yüzdesi elde edildikten sonra sürekli işletme ile ilgili periyota geçilmiş ve sistemdeki parametrelerle ilgili değerler alınmıştır.



Şekil 1. Laboratuvar ölçekli anaerobik/aerobik reaktörler sistemlerinin şematik görünümü

Anaerobik reaktörler başlangıç safhasında 5000 mg l^{-1} KOİ ve mineral ortam içeren glikoz besiyeri ile beslenmiştir. Besiyeri; 5.16 gl^{-1} glikoz, 5 ml l^{-1} vanderbilt mineral ortam, anaerobik ve nötral koşulları sağlamak için 0.5 mg l^{-1} Nathioglikolat ve 5000 mg l^{-1} NaHCO_3 alkalinitesi ilave edilerek hazırlanmıştır (Sponza ve Işık, 2002). İki hafta süren başlangıç periyodunda sızıntı suyu ilavesi yapılmamıştır. Başlangıç periyodunun ardından sızıntı suyu KOİ konsantrasyonu periyodik olarak 5400'den 20000 mg l^{-1} 'ye yükseltilmiştir. Sistem sabit 2 lgün^{-1} debide işletilmiş olup, anaerobik reaktörlerde hidrolik bekleme süresi (HBS)1.25 gün

iken aerobik reaktörde 4.5 gündür. SKT reaktörde çamur yaşı (ÇY)15 gün olarak ayarlanmıştır. Anaerobik reaktörde toplam katı madde (TSS) konsantrasyonu 80-82 gl^{-1} 'ye aerobik reaktörde ise askıda katı madde konsantrasyonu (MLSS) konsantrasyonu 2500-3000 mg l^{-1} seviyesindedir. Anaerobik reaktörler 0.25 m gün^{-1} 'lük yukarı akış hızında sabit olarak çalıştırılmıştır. Birinci YAÇY reaktörün çıkışı (Sistem 1) ikinci YAÇY reaktöre (Sistem 2) bağlanmış, onun çıkışı aerobik SKT reaktöre (Sistem 3) verilmiştir. Anaerobik-aerobik deney sisteminin işletme koşulları Tablo 1a ve b'de gösterilmektedir.

Tablo 1a. Anaerobik deney sisteminin işletme koşulları

İşletme zamanı (gün)	OYH ($\text{kg KOİ m}^{-3} \text{gün}^{-1}$)	Anaerobik Giriş KOİ (mg l^{-1})	Anaerobik Giriş $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg l^{-1})	pH YAÇY	Anaerobik ÇY (gün)	HBS (gün)	F/M oranı ($\text{kg KOİ kg TSS}^{-1} \cdot \text{gün}^{-1}$)
30**	4.3	5400	258	7.19	40	1	0.03
0-7	4.3	5400	258	7.19	40	1	0.03
5*	5.76	7200	294	7.27	40	1	0.04
7-14	5.76	7200	294	7.27	40	1	0.04
8*	7.2	9000	349	7.21	40	1	0.06
14-21	7.2	9000	349	7.21	40	1	0.06
9*	10.4	13000	422	7.30	40	1	0.09
21-28	10.4	13000	422	7.30	40	1	0.09
10*	12.8	16000	536	7.19	40	1	0.12
28-35	12.8	16000	536	7.19	40	1	0.12
6*	16	20000	679	7.18	40	1	0.16
35-42	16	20000	679	7.18	40	1	0.16

* Kararlı hale ulaşmak için aklımasyon periyotları (gün)

Tablo 1b. Aerobik deney sisteminin işletme koşulları

İşletme zamanı (gün)	OYH ($\text{kg KOİ m}^{-3} \text{gün}^{-1}$)	Aerobik Giriş KOİ (mg l^{-1})	pH YAÇY	Aerobik ÇY (gün)	HBS (gün)	F/M oranı ($\text{kg KOİ kg}^{-1} \text{MLSS} \cdot \text{gün}^{-1}$)
30*	0.3	1361	7.20	15	4.5	0.1
0-7	0.3	1361	7.20	15	4.5	0.1
5*	0.37	1630	7.30	15	4.5	0.13
7-14	0.37	1630	7.30	15	4.5	0.13
8*	0.43	1920	7.30	15	4.5	0.15
14-21	0.43	1920	7.30	15	4.5	0.15
9*	0.5	2250	7.30	15	4.5	0.18
21-28	0.5	2250	7.30	15	4.5	0.18
10*	0.53	2410	7.19	15	4.5	0.19
28-35	0.53	2410	7.19	15	4.5	0.19
6*	0.54	2430	7.20	15	4.5	0.18
35-42	0.54	2430	7.21	15	4.5	0.18

*Kararlı hale ulaşmak için aklımasyon periyotları (gün)

Analitik yöntemler

KOİ ölçümleri kapalı reflux kolorimetrik yöntemi ile yapılmıştır (APHA-AWWA, 1992). Gaz üretimleri sıvı yer değiştirme yöntemi ile ölçülmüştür. Toplam gaz miktarı, reaktörde oluşan gazın doymuş NaCl ve % 2'lik H₂SO₄ içeren sıvıdan geçirilerek (Beydilli vd., 1998), metan gazı miktarı ise reaktörde oluşan gazın %3'lük NaOH içeren sıvıdan geçirilerek (Razo-Flores vd., 1997) okunmuştur. Oluşan toplam gazın içerisindeki metan %'si, Drager® Pac-Ex marka dijital metan ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Toplam gazda oluşan hidrojen sülfür Drager Kitleri ile ölçülmüştür Anaerobik reaktör çıkışında sızıntı suyu örneklerinde titrimetrik olarak uçucu yağ asitleri test edilmiş ve bir bilgisayar programı ile hesaplanmıştır (Anderson ve Yang, 1992). Uçucu yağ asidi ve bikarbonat alkalinitesi aşağıdaki formüllerle hesaplanır:

$$A1 = \frac{[\text{HCO}_3^-] \times ([\text{H}]_2 - [\text{H}]_1)}{[\text{H}]_1 + K_C} + \frac{[\text{VA}] \times ([\text{H}]_2 - [\text{H}]_1)}{[\text{H}]_2 + K_{\text{VA}}} \quad (1)$$

$$A2 = \frac{[\text{HCO}_3^-] \times ([\text{H}]_3 - [\text{H}]_1)}{[\text{H}]_3 + K_C} + \frac{[\text{VA}] \times ([\text{H}]_3 - [\text{H}]_1)}{[\text{H}]_3 + K_{\text{VA}}} \quad (2)$$

Bu formüllerde;

A1 ve A2, pH = 5.1 ve pH = 3.5'de tüketilen asidin molar eşdeğer değeridir.

HCO₃⁻, Bikarbonat konsantrasyonu,

[VA], uçucu yağ asidi iyon konsantrasyonu,

[H]_{1,2,3}, orijinal örneğin hidrojen iyonu konsantrasyonları,

K_C, karbonik asidin ayrışma hız sabiti,

K_{VA}, uçucu yağ asitlerinin toplam ayrışma hız sabiti (C₂-C₆),

Bikarbonat için K_C=6.6*10⁻⁷,

Uçucu yağ asitleri için K_{VA}=2.4*10⁻⁵.

pH ölçümleri WTW pH 330/SET pH-metre cihazı kullanılarak yapılmıştır. BOİ₅ ölçümleri WTW Oxi Top IS12 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Amonyum azotu ve nitrat azotu ölçümleri ise 14752 ve 14542 nolu spectroquant kitler kullanılarak SQ 300 Merck fotometresinde yapılmıştır (Merck, 1999). Sızıntı suyundaki anaerobik inert KOİ ölçümü Germirli ve diğ. (1990) tarafından geliştirilen glikoz karşılaştırmalı metod kullanılarak yapılmıştır.

robik inert KOİ ölçümü Germirli ve diğ. (1990) tarafından geliştirilen glikoz karşılaştırmalı metod kullanılarak yapılmıştır.

Sonuçlar ve tartışma

Ardışık YAÇY/SKT reaktör sistemlerinde KOİ giderimi

Organik yükleme hızı 4.3 ten 16 kg m⁻³.gün⁻¹'e çıkartıldığında reaktörlerdeki KOİ giderme verimlerinin arttığı gözlenmektedir. Şekil 2 besleme, sistem1 (S1), sistem2 (S2) ve sistem3 (S3) için KOİ değerlerinin değişimlerini göstermektedir. Şekil 3'te OYH değerlerine bağlı olarak KOİ giderme verimlerinin değişimleri verilmiştir. S1, S2 ve S3 reaktörlerde çıkış KOİ konsantrasyonları 2260-4205, 1361-2430 ve 208-390 arasında ölçülmüştür. Şekil 3'ten görüldüğü üzere OYH 4.3 ten 16 kg m⁻³.gün⁻¹'e çıkartıldığında KOİ giderme verimi S1 reaktöründe % 58'den % 79'a yükselmiştir. Organik madde artışı ile bu reaktörde KOİ giderimleri arasında anlamlı bir artış gözlenmiştir. İkinci YAÇY reaktördeki KOİ giderme verimi % 40-42 civarında olmuş, aerobik safhadaki (SKT reaktör) KOİ giderme verimi % 85-89 civarında gerçekleşmiştir. Aerobik reaktörde de çıkış suyuna göre artan organik yüklemeye bağlı olarak KOİ yüksek bir arıtma verimi ile giderilmektedir. Aerobik safhanın KOİ giderme verimine anlamlı bir katkısı bulunmaktadır. Organik yüklemenin 4.3 ten 16 kg KOİ m⁻³.gün⁻¹'e çıkarılması ile toplam KOİ'nin %96-98'lik bir giderme verimi ile giderilmesi ardışık sistemin yüksek arıtma verimlerine ulaşılmasını sağladığını göstermektedir. Bu çalışmada uygulanan OYH ve ulaşılan arıtma verimleri Lin ve diğerleri, (2000) ve Van Handel ve Lettinga (1994) tarafından bulunan sonuçlarla karşılaştırılabilir düzeydedir.

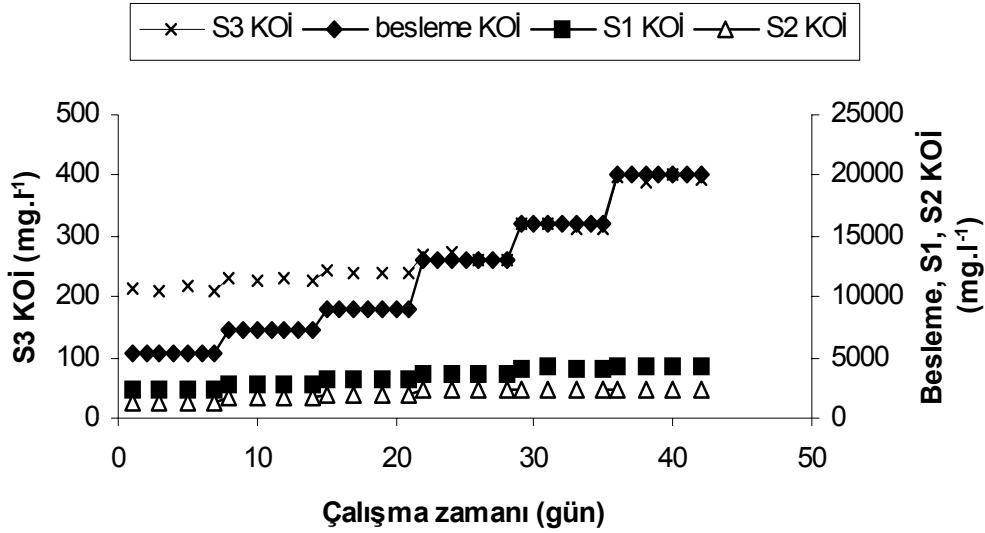
Giriş KOİ konsantrasyonunun 5400 den 20000 mg l⁻¹ ye çıkarılması birinci YAÇY reaktörde KOİ giderme veriminin artmasına sebep olmakta, bu da YAÇY reaktörün yüksek KOİ konsantrasyonlarından etkilenmediğini göstermektedir. Ayrıca 1. ve 2. anaerobik reaktörlerin sızıntı suyunda kalan KOİ yüksek KOİ giderme verimleri ile (% 85-89) aerobik safhada ayrılmaktadır. Iglesias Lin ve diğerleri, (2000) tarafından kent sel katı atıkların metana dönüştürülmesi ile ilgili

pilot ölçekli üç reaktörde gözlenen KOİ değerleri ile bu çalışmada ölçülen KOİ konsantrasyonları uyum göstermektedir. Ayrıca, bu çalışmada YAÇY reaktörlerinde gözlenen KOİ giderme verimleri Kettunen ve diğ., (1996); Shin Lin ve diğ., (2001); Kennedy ve Lentz (2000); Lin ve diğ., (2000); Gülşen ve Turan (2002); Sahrigi ve diğ., (2002) tarafından yapılan çalışmalarla uyum göstermektedir. Kettunen ve diğ., (1996) tarafından ardışık anaerobik-aerobik reaktörlerde yapılan çalışmalarda bütün sistem için KOİ giderme verimi % 85-90 iken anaerobik safhadaki KOİ giderme verimi %60'ta kalmıştır.

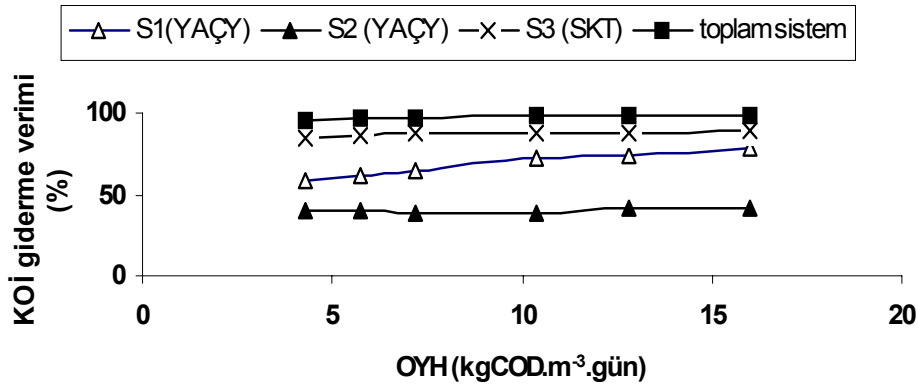
Sızıntı suyu örneklerinde ölçülen $BOI_5/KOİ$ oranları da biyolojik ayrışabilirliğin yüksek olduğunu göstermektedir (Şekil 4). BOI_5 konsantrasyonlarının sırası ile S1 ve S2 reaktörlerde

organik yüklemenin $4.3 \text{ kg m}^{-3} \cdot \text{gün}^{-1}$ 'den $16 \text{ kg m}^{-3} \cdot \text{gün}^{-1}$ 'e çıkarılması ile 400 mg l^{-1} 'den 850 mg l^{-1} 'ye çıktığı gözlenmiştir. $BOI_5/KOİ$ oranlarının ise S1, S2 ve S3 reaktörlerde sırası ile 0.2, 0.13 ve 0.15 olduğu gözlenmiştir.

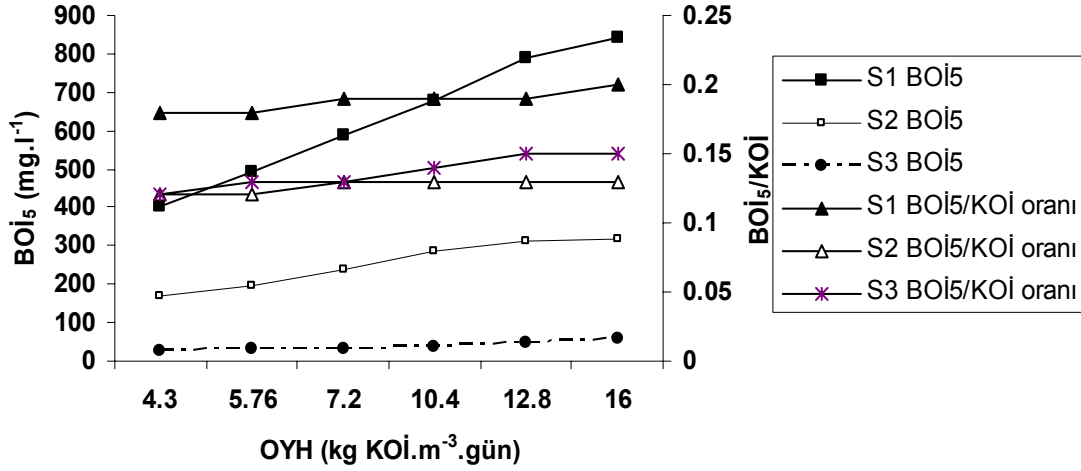
S1 reaktöründeki çıkış suyu KOİ konsantrasyonlarını değerlendirirken sızıntı suyunda bulunan ve biyolojik olarak ayrışamayan organik maddeyi de dikkate almak gerekmektedir. Çünkü çıkış suyunda ölçülen KOİ'nin yaklaşık %10'unu ayrışmayan KOİ oluşturmaktadır (Tablo 2). Sızıntı suyunu arıtan anaerobik S1 reaktör çıkışında ölçülen 2260 mg l^{-1} 'lik çözünmüş KOİ'nin 238 mg l^{-1} 'si inert KOİ'den oluşmaktadır. Yine sızıntı suyunu arıtan anaerobik S1 reaktör çıkışında ölçülen 4205 mg l^{-1} 'lik çözünmüş KOİ'nin 454 mg l^{-1} 'si inert KOİ'den oluşmaktadır. Kağıt ve kimya endüstrilerinde değişik zaman aralıklarında arıtma



Şekil 2. Besleme, S1, S2 ve S3 reaktörlerde KOİ değerleri



Şekil 3. S1, S2 ve S3 reaktörlerde OYH'nın KOİ giderme verimi üzerine etkisi



Şekil 4. S1, S2 ve S3 reaktörlerde OYH'ye bağlı olarak BOI₅ konsantrasyonları ve BOI₅/KOİ oranlarının değişimleri

tesisi çıkış sularında ölçülen çözülmüş KOİ değerleri 1260 ve 270 mg l⁻¹ iken bu endüstrilerde ölçülen inert KOİ konsantrasyonları sırası ile 125 ve 43 mg l⁻¹ olmuştur (Sponza, 2001).

Tablo 2. YAÇY reaktörde ölçülen ayrışmayan (inert) KOİ değerleri

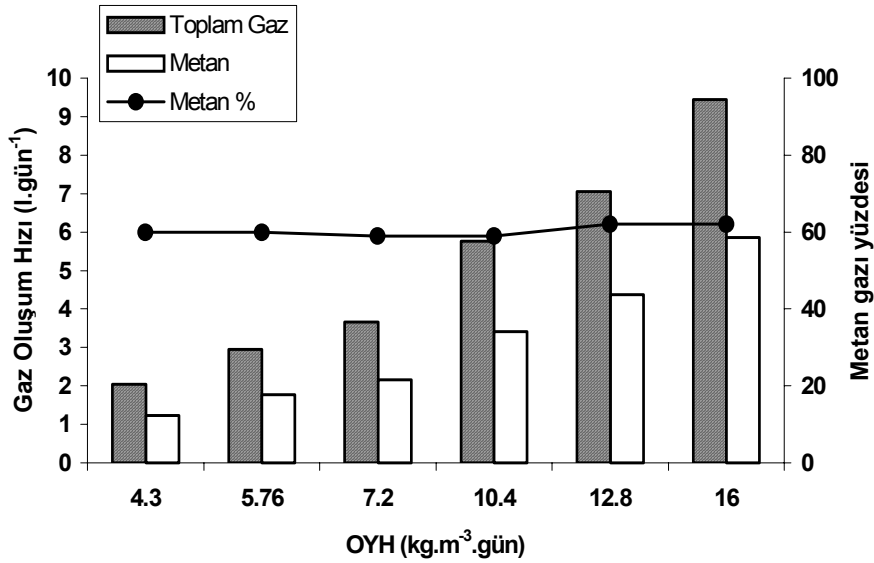
S1 çıkış KOİ (mg l ⁻¹)	S1 anaerobik inert KOİ (mg l ⁻¹)
2260	238
2730	280
3150	324
3640	381
4160	429
4205	454

Kağıt endüstrisinde inert KOİ, çözülmüş KOİ'nin %10'u iken kimya endüstrisinde bu oran %7 olarak bulunmuştur. Tekstil, deri ve petrokimya endüstrisi arıtma tesisi çıkış sularında ölçülmüş çözülmüş KOİ değerleri 410, 600 ve 600 mg l⁻¹ iken çözülmüş inert KOİ konsantrasyonları sırası ile 25, 142 ve 15 mg l⁻¹ olarak bulunmuştur (Sponza, 2001). Buna göre tekstil, deri ve petrokimya endüstrilerinde inert KOİ çözülmüş KOİ'nin %16, %4.2 ve %40'ı oranındadır. Orhon ve diğerleri, (2001) tarafından yapılan çalışmada pamuklu tekstil endüstrisindeki inert KOİ yüzdesinin çözülmüş KOİ 'ye oranının %7-9 arasında değiştiği gözlenmiştir.

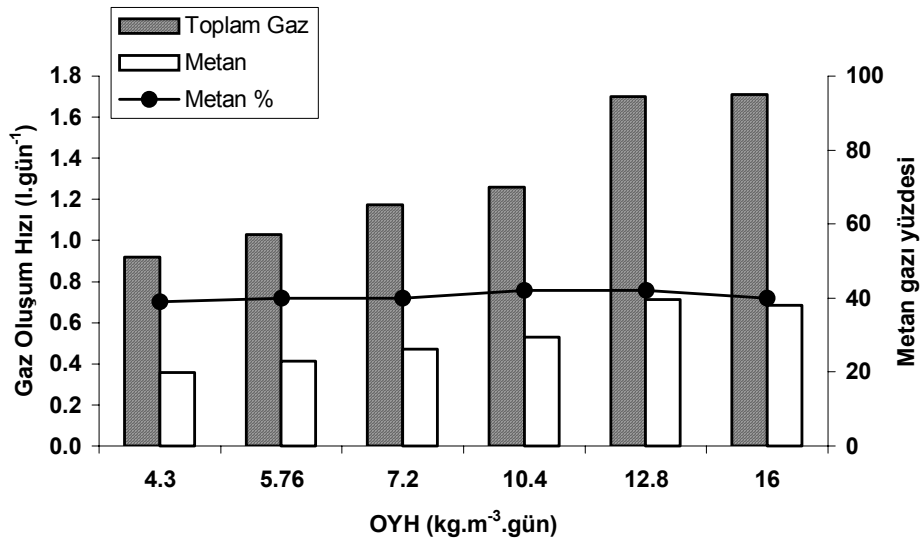
Kimya, deri, boya ve şarap endüstrisinde yapılan çalışmalarda atıksuda çözülmüş KOİ'nin sırası ile 1700, 1992, 1950 ve 7000 mg/l iken inert KOİ'nin 22, 14.5, 20 ve 0.70 mg/l olduğu saptanmıştır (Sponza, 2004). Sızıntı sularından inert KOİ giderilmesi ile ilgili olarak Çeçen ve diğerleri, (2003) tarafından yapılan bir çalışmada; toz aktif karbon yöntemi ile ayrışamayan KOİ'nin büyük bir kısmının giderildiğini belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra, Çallı ve diğerleri, (2005) ozon veya fenton oksidasyonu ile inert KOİ'nin % 85'ini giderdiklerini belirtmişlerdir.

YAÇY reaktörlerdeki gaz oluşumu ve bileşimi

YAÇY reaktörlerde 42 günlük çalışma zamanı boyunca toplam gaz ve metan gazı miktarlarında sürekli bir artış gözlenmiştir. Şekil 5 ve 6, S1 ve S2 reaktörlerinde oluşan toplam ve metan gaz miktarlarını ve % metan değerlerini göstermektedir. Şekillerden de görüldüğü üzere OYH 4.3 den 16 kgKOİ.m⁻³.gün⁻¹'e çıkarıldığında toplam gaz miktarı S1 reaktöründe 9.5 l.gün⁻¹'e, S2 reaktöründe 1.7 l.gün⁻¹'e çıkmıştır. Benzer şekilde OYH'nın artırılması ile bu reaktörlerdeki metan gazı miktarları da sırasıyla 5.9 ve 0.71 l.gün⁻¹'e çıkmıştır. S1 reaktöründe metan yüzdesi % 59 ile % 61 arasında değişirken, S2 reaktöründe % 39 ile % 42 arasında bir değişim göstermiştir. İkinci anaerobik reaktörde birinci anaerobik reaktörden kalan KOİ kullanıldığı



Şekil 5. S1 reaktöründe OYH'nın toplam ve metan gazı oluşumuna ve metan yüzdesine etkisi



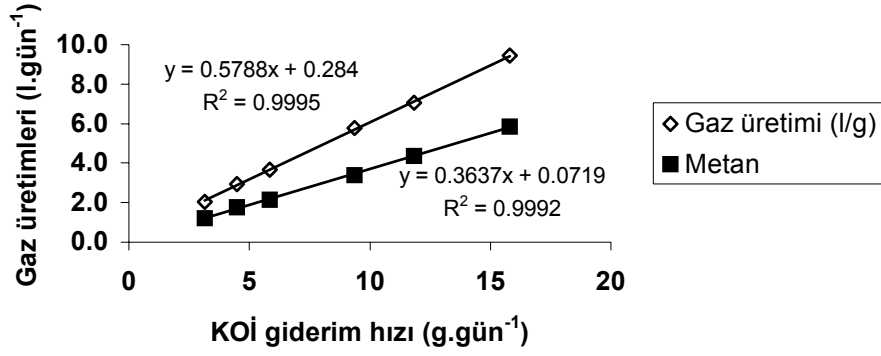
Şekil 6. S2 reaktöründe OYH'nın toplam ve metan gazı oluşumuna ve metan yüzdesine etkisi

için organik yüklemeler düşmüş ve oluşan gazdaki metan yüzdesi de doğal olarak %40 civarında seyretmiştir. Her iki reaktörde oluşan gazda H₂S 'e rastlanmamıştır. Aerobik reaktör çıkışındaki NO₃-N'u geri devrettirilmediğine göre denitrifikasyon olmadığı için azot gazı olması ihtimali düşüktür. Buna göre toplam gazdaki en önemli bileşenin metan olduğuna karar verilmiştir.

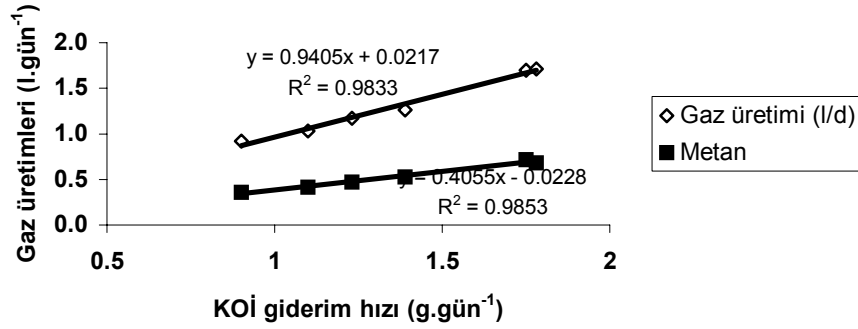
Im ve diğerleri, (2001) tarafından yapılan çalışmada da metan yüzdesi bakımından buna benzer

sonuçlar elde edilmiştir. Yine bu şekillerden görüleceği üzere birinci YAÇY (S1) reaktörde oluşan toplam ve metan gazı miktarları ikinci YAÇY (S2) reaktörde oluşan toplam ve metan gazından daha fazladır.

Şekil 7 ve 8 birinci ve ikinci YAÇY reaktörleri için KOİ giderimi ile gaz oluşumu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Gaz oluşumu KOİ giderimi ile lineer bir ilişki göstermektedir. Metan oluşum hızı KOİ yükleme hızının artması ile artış göstermiştir. En yüksek metan üretim oranı



Şekil 7. S1 reaktörü için KOİ giderim hızı ile gaz üretimi arasındaki ilişki



Şekil 8. S2 reaktörü için KOİ giderim hızı ile gaz üretimi arasındaki ilişki

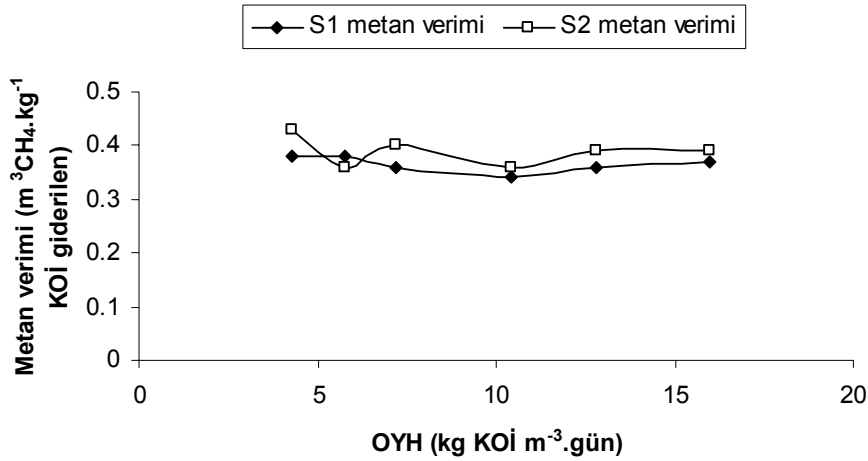
en yüksek KOİ yüklemesi sırasında görülmüştür. Sızıntı suyu arıtımı ile ilgili yapılan çalışmalarda 9-10 kgKOİ.m⁻³.gün⁻¹ organik yükleme oranında Chang (1988) anaerobik filtrede 2.8 l CH₄g⁻¹, Kennedy ve diğerleri, (1988) yukarı akışlı filtrede 1.9 l CH₄gün⁻¹ metan verimi elde etmişlerdir. Timur ve Öztürk (1999) anaerobik ardışık kesikli reaktörde giderilen KOİ başına 0.2 l CH₄ oluşumu gözlemlemişlerdir.

Şekil 9'da S1 ve S2 reaktörleri için OYH'na göre metan verimleri verilmiştir. S1 reaktörü için OYH'na bağlı olarak metan verimi 0.34-0.38 m³ metan gazı kg⁻¹KOİ_{giderilen} (r²= 0.99) bulunmuştur. S2 reaktörü için OYH'na bağlı olarak metan verimi 0.36-0.43 m³ metan gazı kg⁻¹KOİ_{giderilen} (r²= 0.98) bulunmuştur. Im ve diğerleri, (2001) tarafından yapılan bir çalışmada KOİ giderim hızının gaz üretim hızı ile ilişkisi olduğu belirtilmiş, metan verimi 0.33 m³ gaz kg⁻¹KOİ (r²= 0.98) bulunmuştur. Kennedy ve Lentz (2000) tarafından sızıntı sularının YAÇY reaktörde artırılması ile ilgili yapılan çalışmada metan verimi 0.29-0.34 m³ CH₄ kg⁻¹ KOİ_{giderilen} olarak ölçülmüştür. Bizim çalışmamızda OYH arttıkça üretilen metan

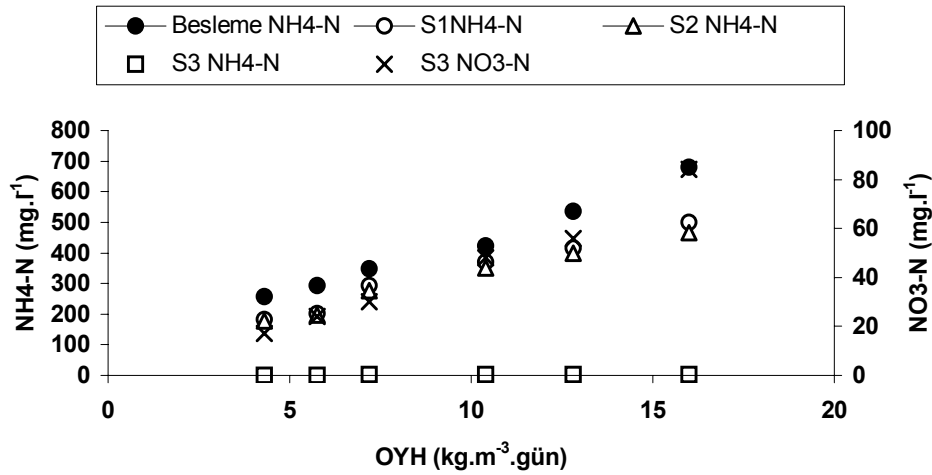
miktarında artış olmasına karşılık metan verimi çok küçük salınımlar göstermekte, OYH arttıkça nisbeten bir azalma meydana gelmektedir.

Ardışık YAÇY/SKT reaktör sistemlerinde NH₄-N giderimi

Bu çalışmada, besleme suyundaki sızıntı suyu miktarı arttırıldıkça (OYH ve KOİ'nin artırılması) NH₄-N konsantrasyonu artmıştır. S1, S2 ve S3 reaktörlerindeki NH₄-N konsantrasyonları ile S3 reaktöründeki NO₃-N konsantrasyonları Şekil 10'da gösterilmektedir. Anaerobik reaktörlerde önemli ölçüde bir NH₄-N giderimi olmamıştır. S1 ve S2 reaktörlerinde gözlenen NH₄-N giderme verimleri sırası ile %13-27 ve %2-7 olmuştur. Aerobik reaktörde NH₄-N giderme verimi % 99.6 olmuştur. Aerobik reaktörde NH₄-N konsantrasyonu azalırken NO₃-N konsantrasyonu hızla artmıştır. Bu olay aerobik reaktörde nitrifikasyonun gerçekleşmesi ile açıklanabilir. Bizim çalışmamıza benzer sonuçlar Kettunen ve diğerleri, (1996) tarafından yapılan çalışmada da bulunmuştur. Bu çalışmada YAÇY reaktördeki en yüksek NH₄-N giderme verimi %10 olmuştur. NH₄-N konsantrasyonu



Şekil 9. S1 ve S2 reaktörlerde OYH'na bağlı olarak metan verimleri

Şekil10. S1, S2 ve S3 reaktörlerindeki NH₄-N konsantrasyonları ve S3 reaktöründeki NO₃-N konsantrasyonu

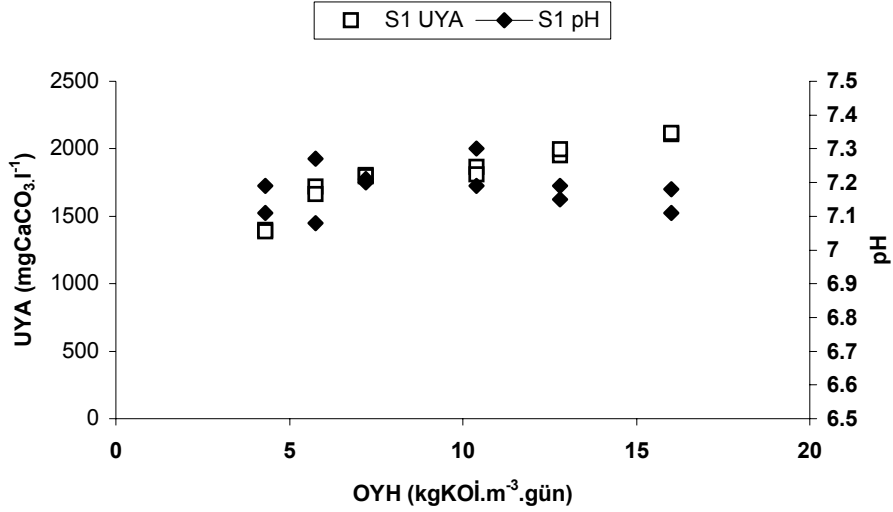
aerobik kademede 10 saatlik hidrolik bekleme süresinde 178 mg.l⁻¹'den 35 mg.l⁻¹'ye düşmüştür. İm ve diğerleri, (2001);İlies ve Mavinic (2001) ve Jokela ve diğerleri, (2002) aerobik kademede NH₄-N giderme veriminin % 90'ın üzerinde olduğunu bildirmişlerdir.

YAÇY reaktörlerdeki pH ve UYA değişimleri

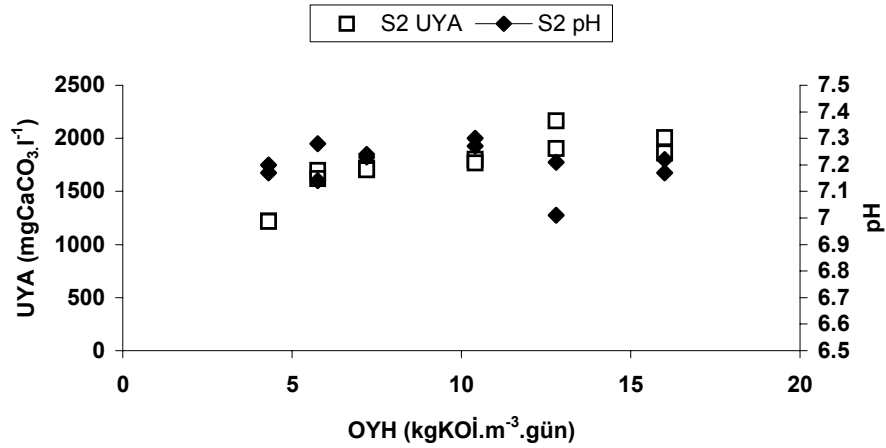
S1 reaktöründeki pH ve UYA değişimleri Şekil 11'de, S2 reaktöründeki pH ve UYA değişimleri ise Şekil 12'de gösterilmektedir. Bu şekillerden de görüldüğü üzere S1 reaktöründe OYH 4.3'den 16 kgKOİ.m⁻³.gün⁻¹'e çıkarıldığında UYA konsantrasyonu 1400'den 2300 mg.l⁻¹'e çıkmıştır. Kennedy ve Lentz (2000) tarafından yapılan çalışmada bizim çalışmamıza benzer

olarak 0.6 ile 19.7 16 kg/m³.gün⁻¹'lük OYH'larında ölçülen UYA konsantrasyonları 1100-2200 mg.l⁻¹ olarak ölçülmüştür.

İkinci YAÇY reaktörde oluşan UYA değerleri birinci YAÇY reaktörde oluşandan daha düşüktür. Sızıntı suyu pH değerleri her iki anaerobik reaktörde de UYA değerlerinden bağımsızdır. Her iki anaerobik reaktörde de pH yaklaşık nötral değerlerde seyretmesine rağmen OYH arttırıldıkça UYA konsantrasyonları artmaktadır. Bu durum bikarbonat alkalinitesinin tamponlama kapasitesi ile açıklanabilir. Bikarbonat alkalinitesi OYH 4.3'ten 16 kgKOİ.m⁻³.gün⁻¹'e çıkarıldığında 3780-2405 mgCaCO₃.l⁻¹ değerleri arasında kalmıştır (değerler gösterilmemektedir).



Şekil 11. S1 reaktöründe ölçülen pH ve UYA değerleri



Şekil 12. S2 reaktöründe ölçülen pH ve UYA değerleri

S1 ve S2 reaktörlerinde UYA/B.Alk. oranı 0.37-0.87 değerleri arasındadır. Bu durum reaktörlerin kararlılığını göstermektedir (Razo-Flores ve diğerleri, 1997).

Genel değerlendirme

S1 reaktörü için OYH'na bağlı olarak metan verimi $0.34-0.38 \text{ m}^3 \text{ metan gazı kg}^{-1} \text{ KOİ giderilen}$ ($r^2= 0.99$) bulunmuştur. S2 reaktörü için OYH'na bağlı olarak metan verimi $0.36-0.43 \text{ m}^3 \text{ metan gazı kg}^{-1} \text{ KOİ giderilen}$ ($r^2= 0.98$) bulunmuştur. Birinci YAÇY reaktördeki CH_4 yüzdesi OYH arttırıldıkça az da olsa bir düşüş göstermektedir. İkinci YAÇY reaktördeki metan yüzde değerleri birincisinden düşüktür. Bunun nedeni KOİ'nin büyük bir kısmının birinci anaerobik reaktörde metana dönüşmüş olmasıdır. Bi-

rinci anaerobik reaktörde $16 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ lık organik yüklemde KOİ giderme verimi % 79 iken, toplam sistemde % 98 giderme verimi gözlenmiştir.

İki kademeli anaerobik/aerobik ardışık sistem metan oluşumu ve nitrifikasyon bakımından sızıntı suyu arıtımı için uygun bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. İki kademeli YAÇY reaktörler KOİ giderimi ve metan oluşumu bakımından çok etkili olmaktadır. Aerobik kademede ise KOİ 390 mg l^{-1} 'nin altına düşmüştür.

Yiyecek atıklarından kaynaklanan sızıntı sularının arıtımında iki kademeli YAÇY reaktör sistemi oldukça başarılı olmuştur. Anaerobik kademedenin arkasında gelen aerobik safhada amon-

yum giderimi sağlanmıştır. $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 'e dönüştürülmüştür. Ancak denitrifikasyon prosesi ile N_2 'ye dönüştürülmesi gerekmektedir. İlerleyen çalışmalarda uygun $\text{KOI/NO}_3\text{-N}$ oranlarında denitrifikasyonla nitrat azotu giderimi çalışılacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma DEÜ Rektörlüğü Fen 021, 051 ve 03.KB.Fen.017 nolu bilimsel araştırma projeleri tarafından kısmen desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Anderson GK, Yang G., (1992). Determination of bicarbonate and total volatile acid concentration in anaerobic digesters using a simple titration, *Water Environment Research*, **64**, 53-9.
- APPA-AWWA-WEF., (1992). Standard Methods for the Examination Water and Wastewater, 18th Ed.; Washington DC, USA.
- Beydilli MI, Pavlosathis SG, Tinvher WC., (1998). Decolorization and toxicity screening of selected reactive azo dyes under methanogenic conditions, *Water Science and Technology*, **38**, 4-5, 225-32.
- Chang JE., (1988). Treatment of landfill leachate with an upflow anaerobic reactor combining a sludge bed and a filter, *Water Science and Technology*, **21**, 133-143.
- Çallı B, Mertoğlu B, İnanç B., (2005). Landfill leachate management in İstanbul: applications and alternatives, *Chemosphere*, **59**, 819-829.
- Çeçen E, Erdinçler A, Kılıç E., (2003). Effect of powdered activated carbon addition on sludge dewaterability and substrate removal in landfill leachate treatment, *Chemosphere*, **7**, 707-713.
- Frigon JC, Cimpoaia R, Guiot SR., (2003). Sequential anaerobic/aerobic biotreatment of bark leachate, *Water Science and Technology*, **48**, 6, 203-209.
- Germirli F, Orhan D, Artan N., (1990). Assessment of the initial inert soluble COD in industrial wastewater, *Water Science and Technology*, **23**, 1077-1086.
- Gülşen H, Turan M., (2002). Anaerobik akışkan yataklı reaktörde katı atık depolama alanı sızıntı sularının arıtılabilirliği, 8. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, İstanbul.
- Hoilijoki TH, Kettunen RH, Rintala JA., (2000). Nitrification of anaerobically pretreated municipal landfill leachate at low temperature, *Water Research*, **34**, 5, 1435-1446.

- Iglesias JR, Pelaez CL, Maison E, Andres HS. (2000). A comparative study of the leachates produced by anaerobic digestion in a pilot plant and at a sanitary landfill in Austrias, Spain, *Waste Management & Research*, **18**, 86-93.
- Ilies P, Mavinic DS., (2001). The effect of decreased ambient temperature on the biological nitrification and denitrification of a high ammonia landfill leachate, *Water Research*, **35**, 8, 2065-2072.
- Im JH, Woo HJ, Choi MW, Han KB, Kim CW., (2001). Simultaneous organic and nitrogen removal from municipal landfill leachate using an anaerobic-aerobic system, *Water Research*, **35**, 10, 2403-2410.
- İnanç B, Çallı B, Saatçi A., (2000). Characterisation and anaerobic treatment of the sanitary landfill leachate in İstanbul, *Water Science and Technology*, **41**, 3, 223-30.
- Jokela J, Kettunen RH, Sormunen KM, Rintala JA. (2002). Biological nitrogen removal from municipal landfill leachate: low-cost nitrification in biofilters and laboratory scale in-situ denitrification, *Water Research*, **36**, 4079-87.
- Kennedy KJ, Hamoda MF, Guiot SR. (1988). Anaerobic treatment of leachate using fixed film and sludge bed systems, *J. Water Pollut. Control Fed*, **60**, 1675.
- Kennedy KJ, Lentz EM., (2000). Treatment of landfill leachate using sequencing batch and continuous flow upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors, *Water Research*, **34**, 14, 3640-3656.
- Kettunen RH, Hoilijoki TH, Rintala JA., (1996). Anaerobic and sequential anaerobic-aerobic treatments of municipal landfill leachate at low temperatures, *Bioresource Technology*, **58**, 31-40.
- Kettunen RH, Rintala JA., (1998). Performance of an on-site UASB reactor treating leachate at low temperature, *Water Research*, **32**, 3, 537-546.
- Lin CY, Chang FY, Chang CH., (2000). Co-digestion of leachate with septage using a UASB reactor, *Bioresource Technology*, **73**, 175-178.
- Malina JF, Pohland FG., (1992). Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes, Water Quality Management Library Volume 7, Technomic Publishing Co., 169.
- Manual-photometer SQ 300 Merck.
- Orhon D, Babuna F, Kabdaşlı I, İnsel FG, Karahan Ö, Dulkadiroğlu H., Doğruel S., (2001). A scientific approach to wastewater recovery and reuse in the textile industry, *Water Science and Technology*, **43**, 11, 223-231.

- Razo-Flores E, Luijton M, Donlon BA, Lettinga G, Field J.A., (1997). Biodegradation of selected azo dye under methanogenic conditions, *Water Science and Technology*, **36**, 6-7, 65-72.
- Sahrigi AFE, Ghanem III, Chui PC, Tay JH., (2002). Two-phase anaerobic system for recycling of kitchen food residue and biogas production, *Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Technologies for Developing Countries*, volume1, 535-540, İstanbul, Turkey,.
- Shin HS, Han SK, Song YC, Lee CY., (2001). Performance of UASB reactor treating leachate from acidogenic fermenter in the two-phase anaerobic digestion of food waste, *Water Research*, **35**, 14, 3441-3447.
- Sponza DT, Işık M., (2002). Decolorization and azo dye degradation by anaerobic/aerobic sequential process, *Enzyme and Microbial Technology*, 102-110.
- Sponza D., (2001). Kağıt ve kimya endüstrisi atıksularının toksisitelerinin değerlendirilmesi, *Biyoteknoloji (Kükem) Dergisi*, **25**, 2, 41-55.
- Sponza D., (2001). Deri, tekstil ve petrokimya endüstrisi arıtma tesisi çıkış sularında toksisite izlenmesi, *Su Kirliliği Kontrolü Dergisi*, **11**, 3, 17-30.
- Sponza DT., (2004). Properties of four biological flocs as related to settling, *J. Environmental Engineering*, **130**, 11, 1289-1300.
- Timur H, Öztürk I., (1999). Anaerobic sequencing batch reactor treatment of landfill leachate, *Water Research*, **33**, 15, 3225-3230.
- Tyrrel SF, Harrison PBL, Harrison KS., (2002). Removal of ammonical nitrogen from landfill leachate by irrigation onto vegetated treatment planes, *Water Research*, **36**, 291-299.
- Van Haandel AC, Lettinga G., (1994). *Anaerobic Sewage Treatment*, Wiley, London, UK.