

Katı atık depolama alanı sızıntı sularının Anaerobik Akışkan Yataklı Reaktör'de arıtılabilirliği

Hakkı GÜLŞEN*, Mustafa TURAN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Katı atık depolama alanı sızıntı suyunun kalitesi oldukça değişken olup birçok endüstriyel atıksuya göre daha geniş aralıkta bir kirlilik yüküne sahiptir. Bu çalışmada, İstanbul Avrupa yakası, Kemerburgaz (Odayeri) katı atık düzenli depolama alanı sızıntı sularının Anaerobik Akışkan Yataklı Reaktör'de (AAYR) arıtılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmanın yapıldığı akışkan yataklı reaktörün çapı 10 cm, yüksekliği 165 cm, etkili hacmi 13 L'dir. Yatak malzemesi olarak 0.5 mm'lik filtre kumu kullanılmış ve sabit yatak yüksekliği 70 cm'dir. Organik Yükleme (OLR) sekiz kademede sırasıyla 2.5; 4.5; 8; 12; 18; 27; 37 ve 20 kgKOİ/m³-gün olarak yapılmıştır. Giderilen KOİ başına üretilen gaz miktarı parametresi izlenerek reaktör kontrol altında tutulmuştur. KOİ giderimi, birinci kademede %80'ler civarında iken, sonraki kademelerde %90'lar seviyesine ulaşmış ve sistem yaklaşık 6 haftada kararlı hale gelmiştir. Yükleme artırıldıkça biyogaz üretimi de artmıştır. Sekiz kademede gerçekleştirilen organik yüklemelerde biyogaz üretimleri, 14 - 203 L/gün arasında değişmiştir. Sistem her yükleme kademesinde kararlı hale ulaştığında, giderilen KOİ başına üretilen toplam gaz miktarı 0.51-0.53 L/gKOİ_{gid}.gün olarak elde edilmiştir. Yapılan ölçümlerde toplam gazdaki metan içeriği %75 olarak bulunmuştur. Reaktörün üç noktasından (30, 80 ve 110 cm) kum numuneleri alınarak biyofilm gelişimi izlenmiştir. Tutunmuş biyokütle konsantrasyonunun (X_{att}) taban ve tepe noktaları arasındaki değer farkı %3 ile %38 arasında değişmiştir. Yaklaşık yedi ayda ortalama biyokütle konsantrasyonu 70.000 mgUAKM_{att}/L değerine erişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sızıntı suyu, anaerobik arıtma, akışkan yataklı reaktör, biyogaz üretimi.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Hakkı GÜLŞEN. gulsenh@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 37 76.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Katı atık depolama alanı sızıntı sularının anaerobik akışkan yataklı reaktörde arıtılabilirliği" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 27.02.2009 tarihinde dergiye ulaşıp, 03.06.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.06.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Treatability of landfill leachate treatment in anaerobic fluidized bed reactors

Extended abstract

The sanitary landfill method for ultimate disposal of municipal and industrial solid wastes is widely used in many countries around the world. The leachate generated from a landfill site containing organic, inorganic and heavy metal compounds, is a complex mixture with foul odour.

The flow rate and composition of sanitary landfill leachate vary depending on the site, season and age of the landfill. Leachate from young landfill is usually high-strength wastewaters consisted of 10000 - 70000 mg/L COD, pH of 7-8 and several toxic/hazardous components.

The main applicable methods for leachate treatment include biological, chemical and physical treatment processes. Many investigators have studied treatment of the sanitary landfill leachate using coagulation-flocculation, electro-Fenton method, Sequencing Batch Reactor (SBR), combined electro-Fenton oxidation and SBR, membrane processes Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactors and moving-bed biofilm process.

The fixed film reactors such as biofilter and fluidized bed reveal a greater efficiency than the conventional systems. The advantage of fluidized bed processes is the accumulation of a large amount of biomass by natural attachment, including high volumetric flow rates, short retention times and good stability performance. The fluidized bed technology has been successfully applied for the treatment of industrial wastewaters, and also the removal of nitrate, phosphorus and refractory/toxic organic.

The Anaerobic Fluidized Bed Reactors (AFBR) have many advantages over the aerobic treatment processes due to lower energy costs and low sludge production. These reactors have been operated with different wastewaters and a large range of organic loading rate values between 3-150 gCOD/L day.

Anaerobic fluidized bed reactors have been applied to different wastewaters for various Volumetric Loading Rates (VLR) ranging from a few kg COD/m³.d to as much as 150-180 kg COD/m³.d. Although anaerobic biological processes often present the most economical solutions for high strength

wastewater treatment, Advanced Oxidation Processes (AOPs) provide an effective means of treating biorefractory compounds with efficient process control.

In this study, treatability of leachate from Odayeri sanitary landfill located on the European part of Istanbul was investigated in an anaerobic fluidized bed reactor. The experiments have been performed in a pilot-scale fluidized bed reactor having an inner diameter of 10 cm, a height of 165 cm and an effective volume of 13 L. The reactor media was typical filter sand having an arithmetic mean diameter of 0.5 mm and a fixed bed height of 70 cm.

The AFBR experiments were carried out by increasing the Organic Loading Rate (OLR) from 2.5 to 37 kg COD/m³.day in eight operating steps. During 270 days of the operation, the feed rate (Q_f) and the Hydraulic Retention Time (HRT) were 13 L/d and 1 day, respectively.

Ammonia removal efficiency appeared to be very low, however, ammonia inhibition did not occur during the study. COD removal increased from 80% to 90% with increasing organic loading rates and the AFBR attained steady state conditions with a COD removal of 90% after 6 weeks.

The AFBR systems have the characteristics of three-phase fluidized bed reactors due to the biogas formation. Therefore, the classic solid-liquid fluidized bed can be obtained introducing a correction factor for the biogas effects. Biogas production in the AFBR continuously increased during the leachate treatment process.

The biogas production rate (Q_{gas}) (L/d) obtained as 14 L/d after 20 days of the operation, also increased with increasing the OLR and the influent COD. Good biogas production yield (Y_{gas}) was obtained as 0.51-0.53 L biogas per g COD_{rem} with a methane (CH₄) content of 75%.

The attached biomass concentration (X_{att}) amounted to about 90% of the total biomass concentration and showed an increase throughout the bed between the ranges 3-38%. The mean attached biomass concentration also increased up to 70000 mgVSS_{att}/L in the last two months.

Keywords: Landfill leachate, anaerobic treatability, fluidized bed reactor, biogas production.

Giriş

Atıksuların anaerobik akışkan yataklı reaktörlerde arıtılması üzerine dünyada birçok araştırma yapılmasına rağmen, sızıntı sularının bu reaktörlerde arıtılabilirliği ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Katı atık depolama alanı sızıntı suyu kalitesi oldukça değişken olup, depolama alanındaki katı atığın derinliği ve türü, depolama yaşı, geri devreden sızıntı suyunun oranı, depolama alanı tasarımı ve işletilmesi gibi pek çok faktöre bağlı olarak değişim göstermektedir. Sızıntı suları, katı atıkların ana bileşenlerinden kaynaklanan organik ve inorganik iyonlar ile ağır metaller dışında mikrokirleticileri de içerebilmektedirler.

Birçok araştırmacı, sızıntı sularının koagülasyon-flokülasyon (Amokrane vd., 1997), elektro-Fenton metodu (Gau ve Chang, 1996), anaerobik ardışık kesikli reaktör, anaerobik hibrit yataklı reaktör (Timur ve Öztürk, 1999; İnanç vd., 2000; Loukidou ve Zouboulis, 2001), anaerobik akışkan yataklı reaktör (Gülşen vd., 2002) ve yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörde (Öztürk vd., 1999a,b) arıtılabilirliği üzerinde çalışmalar yürütmüştür.

Anaerobik akışkan yataklı reaktörler, hem mezofilik (35°C) hem de termofilik (55°C) olarak çalıştırılabilmektedir (Diez Blanco vd., 1995). Bu tip reaktörlerde biyokütle, akışkan haldeki 0.1- 0.6 mm çaplı kum, antrasit, aktif karbon, doğal kil gibi ince tanecikli yatak malzemesi yüzeyinde tutunmaktadır. Akışkanlaştırılmış yatak malzemesinin özgül yüzeyi 2000-3000 m²/m³ gibi yüksek değerlere, biyokütle konsantrasyonları da 30000 mg/L'nin üzerine çıkabilmektedir.

Sızıntı suyunun KOİ değeri çok geniş bir aralıkta değişmekte olup ilk üç yılda konsantrasyon 10000-60000 mg/l arasındadır (Ehrig, 1989; Knox ve Jones, 1979). Akışkan yataklı biyofilm reaktörleri, yüksek hızda su ve/veya hava ile devamlı olarak hareketin sağlandığı biyofilm prosesleridir (İza, 1996). Bu reaktörlerde çok yüksek organik yüklere (40-60 kg KOİ/m³.gün) çıkılabilmekte ve düşük hidrolik bekleme sürelerinde (1.5-3 saat) çalışılabilmektedir (Gülşen

vd., 2004a; Turan ve Öztürk, 1996; Öztürk, 1999; Turan, 2000).

Wu ve diğerleri (1988), sıcaklığın, anaerobik sızıntı suyu arıtımına etkisini araştırmışlardır. Söz konusu çalışmada ham sızıntı suyunun anaerobik arıtımında 1.07-2.16 kgKOİ/ m³.gün'lük yüklemde %90'ın üstünde bir giderme verimi sağlanmıştır. Hidrolik bekleme süresi 5-20gün, sıcaklık 23-30°C aralığında ve biyogaz üretimi 0.27-0.31 m³CH₄/kgKOİ_{gid}'dir. 11°C'de KOİ gideriminin %22'ye ve biyogaz üretiminin 0.16 m³CH₄/kgKOİ_{gid} değerine düştüğü tespit edilmiştir.

Anaerobik Akışkan Yataklı Reaktörlerde (AAYR), biyokütle küçük çaplı ağır destek tanecikleri (partiküller) üzerindeki biyofilm tabakası olarak gelişebilmektedir. Biyotaneceklerin akışkan halde tutulabilmesi için, yüksek orandaki geri devir akımı ile yeterli yukarı akış hızının sağlanması gerekmektedir.

AAYR'lerin askıda çoğalan tipte biyokütellerin hakim olduğu sistemlere göre önemli üstünlükleri vardır. Bu tip reaktörlerde yatağın akışkanlaşmasını sağlamak için gerekli yukarı akış hızları 25 – 40 m/sa gibi yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Özgül yüzeyi 3000 m²/m³'e ulaşılan küçük çaplı tanecikler (0.2-0.8 mm) üzerindeki biyofilm halinde tutunan biyokütle konsantrasyonu 60 kg/m³ değerine kadar çıkabilmektedir (Cooper vd., 1984; Heijnen vd., 1991).

Yüksek aktif biyokütle konsantrasyonu sebebiyle, AAYR'lerde çok yüksek arıtma kapasitelerine ulaşabilmektedir. Bu nedenle AAYR'ler, çok kompakt, az yer kaplayan ve son 15 yıldan bu yana yaygın olarak kullanılan yüksek hızlı arıtma sistemleri olarak gündeme gelmektedir.

Bu çalışmada, katı atık depolama alanı sızıntı sularının anaerobik akışkan yataklı reaktörde arıtılabilirliği araştırılmış, sistem için optimum organik yükleme oranı belirlenerek, verimliliği ve pratikte uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

Materyal ve metod

Pilot sistem

Bu çalışmada, İstanbul, Kemerburgaz (Odayeri) katı atık depolama alanından temin edilen sızıntı

sularının anaerobik akışkan yataklı reaktörde arıtılabilirliği incelenmiştir. Arıtmada kullanılan pilot-ölçekli akışkan yataklı reaktörün iç çapı 100 mm, yüksekliği 1.65 m ve efektif hacmi 13 L'dir. Reaktörde, ortalama çapı $d_s = 0.5$ mm, yoğunluğu $\rho_s = 2.65$ g/cm³, küresellik katsayısı $\psi = 0.75$ ve sabit yatak yüksekliği $h = 70$ cm olan tipik filtre kumu kullanılmıştır. Besleme ve geri devir akımları, reaktör tabanındaki konik dağıtıcıdan akışkan yatak ortamına pompalanmaktadır (Şekil 1). Sızıntı suyunu beslemede dozaj pompası kullanılmış olup, besleme debisi 13 L/gün mertebesindedir. Akışkan yatağın genişmesi Richardson –Zaki denkleminde hesaplanmıştır.

$$U/U_i = \varepsilon^n \quad (1)$$

$$U_i/U_o = 10^{-d/D} \quad (2)$$

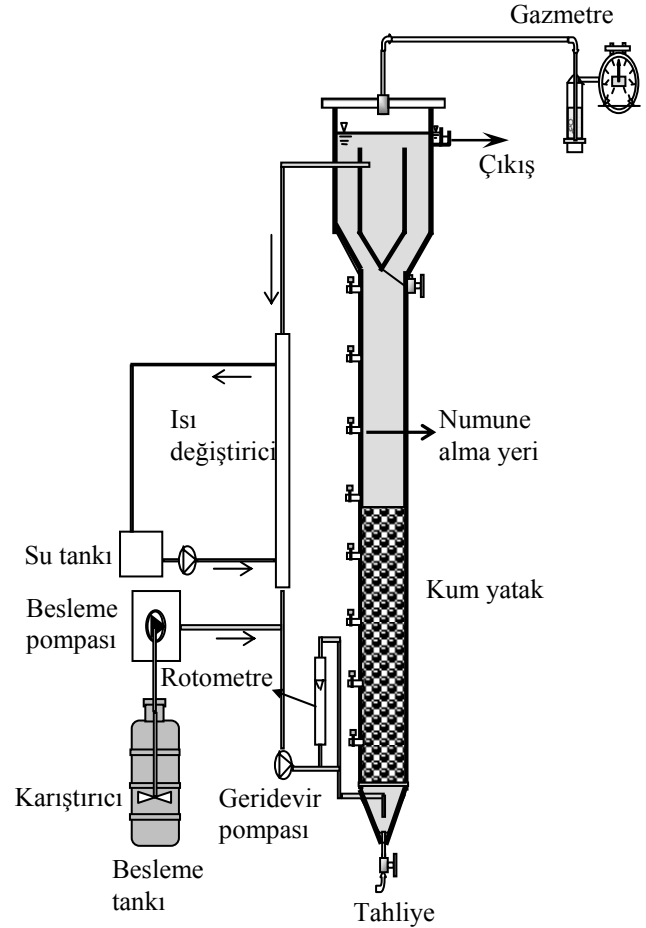
Burada, U = ortalama hız, ε = gözeneklilik, n = genişleme katsayısı, U_i = durdurma hızı, U_o = tanecik çökme hızı, d = tanecik çapı ve D = kolon çapıdır. Yatak genişleme katsayısı $n = 3.4$ ve tanecik çökme hızı $U_o = 8.2$ cm/s olarak bulunmuştur. Geri devir pompasının debisi 400 L/sa iken, yukarı akış hızı 1.42 cm/s ve yatak porozitesi $\varepsilon = (1.42/8.2)^{1/3.4} = 0.597$ olmaktadır. Minimum akışkanlaşma hızı 0.62 cm/s olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, genişleme oranı E_b (%) = 32 olarak bulunmuştur (Gülşen ve Turan, 2004c).

Reaktör ısısı sirkülasyon hattında yerleştirilmiş bir ısı değiştirici ile kontrol edilmiştir. Giriş pH değerleri 7-8 arasında değişmiştir. Sistem işletmeye alınırken, Tekel-Paşabahçe anaerobik arıtma tesisi çıkış suyu ile aşılanarak bir hafta kapalı devre çalıştırılmıştır. İşletme parametreleri; hidrolik bekleme süresi = 1 gün, reaktör girişindeki KOİ 2500-37000 mg/L, yukarı akış hızı 1-1.4 cm/s ve hacimsel organik yükleme 2.5-37 kgKOİ/m³.gün olarak uygulanmıştır. Çalışmalar 35°C de mezofilik ortamda yapılmıştır. Akışkanın dinamik viskozitesi = 0.73×10^{-2} g/cm.s dir.

DeneySEL tasarım

Kemberburgaz (Odayeri) düzenli katı atık depolama alanı 1995'den beri faaliyettedir. Çalışmada besleme için kullanılan sızıntı suyu

numuneleri katı atık (çöp) depolama alanından haftada bir getirilmiş ve buzdolabında saklanmıştır. Bu çalışmada pilot sistem, İstanbul Tekel-Paşabahçe Şişecam fabrikası, anaerobik yukarı akışlı çamur yataklı reaktörün üst fazından alınan süpernatant ile 2/3 oranında aşılama yapılmıştır (Gülşen ve Turan, 2004b).



Şekil 1. Pilot ölçekli anaerobik akışkan yataklı reaktörün şematik diyagramı

Orijinal sızıntı suyu kuvvetli bir atıksu olduğundan (KOİ 10000-70000 mg/L), deneylerde AAYR sisteminin düşük bir yükten başlayarak yükü artırmak suretiyle kademeli yüklenmesi ve performansının izlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, orijinal sızıntı suyu klorlanmış musluk suyu ile seyreltilerek, AAYR sistemi sekiz farklı kademedeki yüklenmiştir. KOİ giderme verimi maksimuma ulaştığında organik yük kademeli olarak artırılmıştır. Bu çalışmada, organik yükleme oranları 2.5 ve 37 kgKOİ/m³.gün arasında sekiz kademedeki uygulanmıştır.

Orijinal sızıntı suyunda anaerobik arıtma için gerekli olan miktarda fosfor bulunmamaktadır. Sızıntı suyunun fosfor ihtiyacına bağlı olarak KOİ/N/P= 500/7/1 oranını sağlamak için sızıntı suyuna fosforik asit ilavesi yapılmıştır.

Numuneler çöp depolama alanının en alt seviyesinde bulunan 200 m³ hacimli bekletme havuzundan alınmıştır. Karakterizasyonda zamana bağlı olarak meydana gelebilecek değişimler çalışma süresince takip edilmiştir.

Reaktörün çıkış sularında pH, alkalinite, sıcaklık her gün, KOİ, Toplam Kjehdahl Azotu (TKN), amonyak azotu (NH₃-N), Askıda Katı Madde (AKM) ve Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM) ölçümleri haftada 3 kez yapılmıştır. Ayrıca gaz üretimi de kaydedilerek giderilen KOİ başına üretilen gaz miktarı izlenerek reaktör kontrol altında tutulmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Deneysel çalışmada kullanılan depolama sahası sızıntı suyu karakteri

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)
pH	7 - 8
KOİ	10000 - 70000
TKM	37500 - 46000
TÇM	17000 - 35700
TKN	1630 - 2750
NH ₃ -N	1030 - 2350
PO ₄ -P	6.8 - 16.2
Alkalinite	2500 - 6000

Sızıntı suyu besleme tankındaki çökelmeyi önlemek için Heidolph marka bir karıştırıcı ile sürekli karıştırılmıştır. Reaktördeki pH ve sıcaklık, sırasıyla, WTW pH 330 model pH metre ve Julabo LC4 F model sıcaklık kontrolör kullanılarak ölçülmüştür. Biyogaz üretimi ölçümleri için Ritter TG 05 marka gaz metre kullanılmıştır. Giriş ve çıkış KOİ, sıcaklık, pH, alkalinite, TKN, NH₃-N, AKM ve UAKM ölçümleri Standart Metodlara göre belirlenmiştir (APHA, 1999).

Biyogaz kompozisyonu (CO₂ ve CH₄ içeriği), termal iletkenlik dedektörü (TCD) (taşıyıcı gaz

akımı 20 mL N₂/dk) ile donanımlı Hewlett Packard 4890 A model gaz kromatografisi (GC) ile belirlenmiştir. Gaz numuneleri, paslanmaz çelik (1.8 m x 0.6 cm) Porapak Q (100/120 ağ yapılı) kolon ile izotermal olarak ayrılmıştır. Kolon, enjektör ve dedektör sıcaklıkları sırasıyla 50, 50 ve 220°C'ye ayarlanmıştır. Gaz kromatografisinin kalibrasyonu her okuma öncesinde standart gaz (%60 CH₄ ve %40 CO₂) ile yapılmıştır. Standart gaz ve gaz numuneleri 0.3 mL Gastinght şırınga ile enjekte edilmiştir.

Ayrıca biyokütle ölçümleri için, genişmiş yatak numunesi (biyokütle ve sızıntı suyu) reaktör kolonunun üç farklı yüksekliğinden (30, 80 ve 110 cm) numune musluklar vasıtasıyla alınmıştır. Bu numuneler, bir seramik evaporatör diski içinde 105°C'de 24 saat kurutulmuş ve 550°C'de 1 saat yakılmıştır (Hsu ve Shieh, 1993). Bunların ağırlıkları arasındaki birim reaktör hacmi başına fark, toplam Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM_{toplam}) olarak toplam biyokütle konsantrasyonunu (X_{toplam}) vermektedir. Çıkış Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM_{çıkış}) konsantrasyonu, askıda biyokütle (X_{sus}) olarak ölçülmektedir. Tutunmuş biyokütle konsantrasyonu (X_{att}) ise numunedeki X_{toplam} ve X_{sus} konsantrasyonları arasındaki fark konsantrasyon (UAKM_{att}) olarak elde edilmektedir.

Deneysel bulgular ve değerlendirme

Anaerobik akışkan yataklı reaktör, başlangıç KOİ'si 2500 mg/L, debisi 13 L ve bekletme süresi 1 gün olarak işletmeye alınmıştır. KOİ giderme verimi stabil hale geldiğinde giriş KOİ konsantrasyonu artırılarak organik yükleme ayarlanmıştır.

Giriş KOİ'leri sırasıyla 4500, 8000, 12000, 18000, 27000, 37000 ve 20000 mg/L'dir. Bu giriş KOİ'lerine karşılık gelen organik yükleme oranları ise 2.5, 4.5, 8, 12, 18, 27, 37 ve 20 kgKOİ/m³.gün'dür. Organik yükleme, ilk üç kademede yüzde yüze yakın oranlarda daha sonraki kademelerde ise yüzde elli oranlarında artırılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. AAYR'ün işletme parametreleri ve arıtma performansı

OLR (kgKOİ/ m ³ .gün)	KOİ (mg/L)		E (%)	Q _{gaz} (L/gün)
	Giriş	Çıkış		
2.5	2520	430	83	13.8
4.5	4490	535	88	26
8	8130	825	90	49
12	12010	1210	90	73
18	18015	2000	89	108
27	27025	3050	89	163
37	37010	6750	82	203
20	20020	2150	92	120

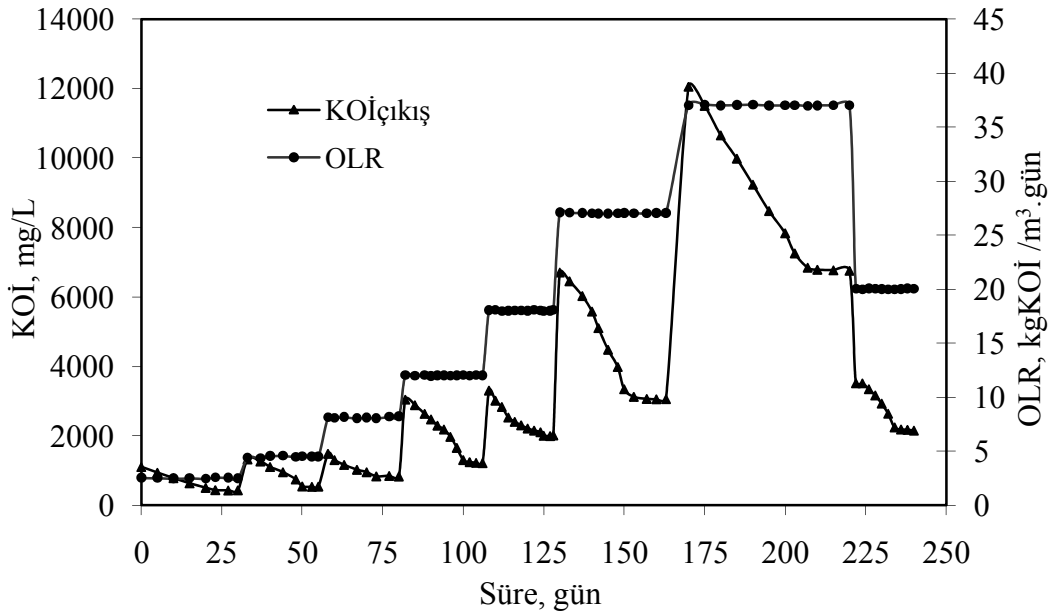
KOİ giderimi

Her yükleme artışından sonra KOİ giderme verimi bir miktar düşmüş ancak yaklaşık üç hafta sonunda tekrar stabil hale ulaşmıştır. Bundan dolayı sistemde üç haftada bir yükleme artışı yapılabileceği sonucuna varılmıştır. Çıkış KOİ değerleri, giderme verimine bağlı olmaksızın, organik yükleme arttıkça yükselmiştir. Bu değerler sırasıyla 430, 535, 825, 1210, 2000, 3050, 6750 ve 2150 mg/L'dir (Şekil 2). KOİ giderimi birinci yüklemede %80'ler mertebesinde iken bundan sonraki yüklemelerde %90'lar seviyesine ulaşmıştır. 37 kgKOİ/m³.gün yüklemesinde KOİ gideriminde ani bir düşüş meydana gelerek

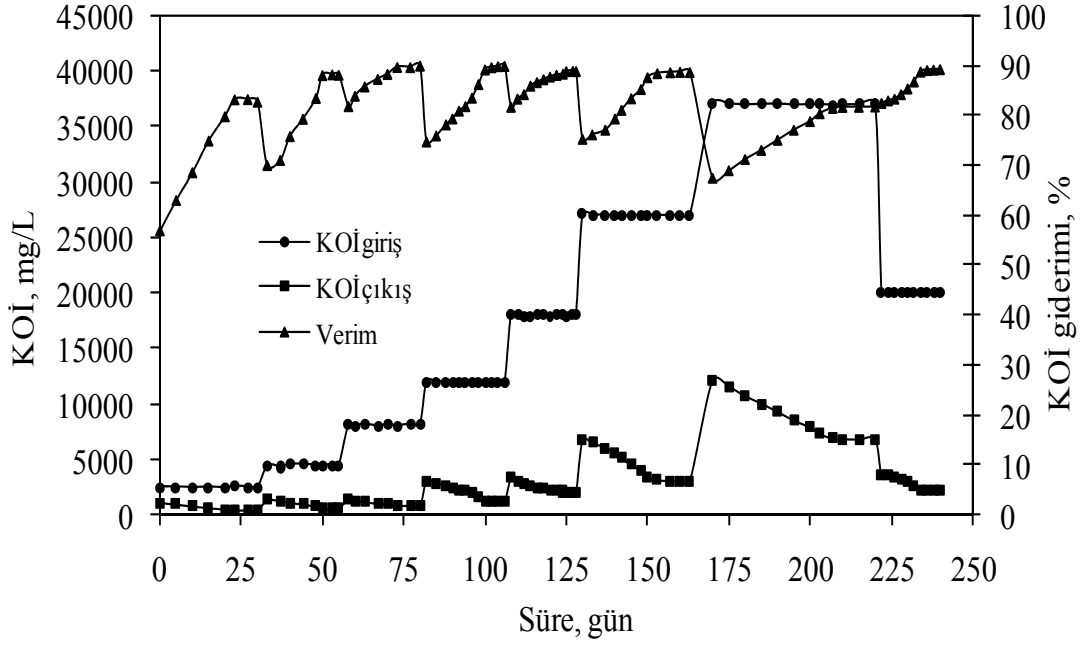
%80'ler seviyesine inmiştir (Şekil 3). Bu verim düşüşünden sonra sistem sabit 20 kgKOİ/m³.gün yüklemesinde çalıştırılmaya devam edilmiş ve giderme verimi tekrar %90'lara yükselmiştir. Yapılan çalışmada sistemin organik yükleme aralığı 4 – 30 kgKOİ/m³.gün olarak bulunmuştur. Sistem yaklaşık 45 günde ve 2. kademe yükleme sonunda, kararlı %90 giderme değerine ulaşmıştır (Şekil 4). Bu da sistemin alışma devresinin çok kısa sürdüğünü göstermektedir. Kısa olmasının sebebi; sistem orijinal sızıntı suyu ile beslenmeye başlanmadan önce yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktörün üst fazından (çıkışından) alınan süpernatant ile bir hafta kapalı devre çalıştırılması ile ilişkilendirilebilmektedir. Aynı zamanda bu üst faza 2/3 oranında sızıntı suyu ilave edilerek sistemin atıksuya alışması sağlanmıştır.

Biyogaz üretimi

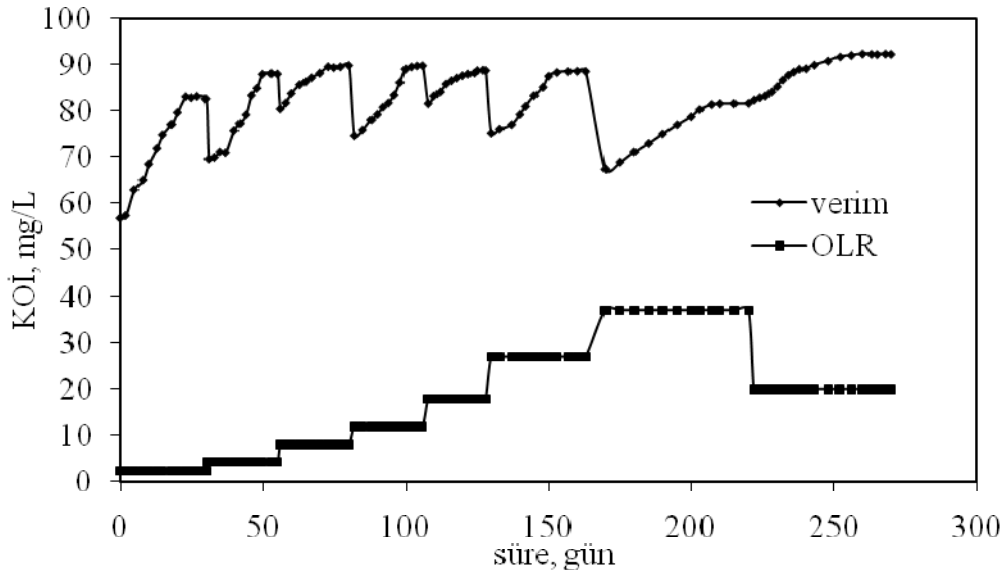
Sistem, bir hafta kapalı devre çalıştırılıp işletmeye alındıktan beş gün sonra biyogaz üretmeye başlamıştır. Biyogaz üretimi sürekli artmış ve KOİ giderim verimi kararlı hale geldiğinde gaz üretimi de o andaki yükleme kademesinde üretebileceği maksimum seviyeye ulaşmıştır. Bu çalışmada uygulanan organik yükleme kademelerinde sırasıyla ortalama olarak 138, 26, 49, 73, 108, 163, 203 ve 120 L/gün gaz üretimi değerlerine



Şekil 2. Organik yükleme ve çıkış KOİ'sinin zamana bağlı ilişkisi



Şekil 3. KOİ giderimi ve giriş-çıkış KOİ'si arasındaki ilişki



Şekil 4. Organik yükleme ve KOİ giderimi arasındaki ilişki

ulaşmıştır. Her yüklemede, KOİ giderim verimi stabil hale ulaştığında, günde giderilen KOİ (B_r) başına üretilmesi gereken gaz miktarı (Y_{gaz}) 0.51-0.53 L/gKOİ_{gid} değerleri arasında kalmıştır (Şekil 5).

Üretimde organik yüklemenin artırıldığı gün ve bunu takip eden birkaç gün içinde önce yavaş sonra hızlı bir artış meydana gelmiştir. Organik yükleme arttıkça günlük gaz üretimi de artmak-

tadır (Şekil 6). HP 4890A model gaz kromotografında yapılan analizlerde toplam gazın metan oranı %75 olarak belirlenmiştir.

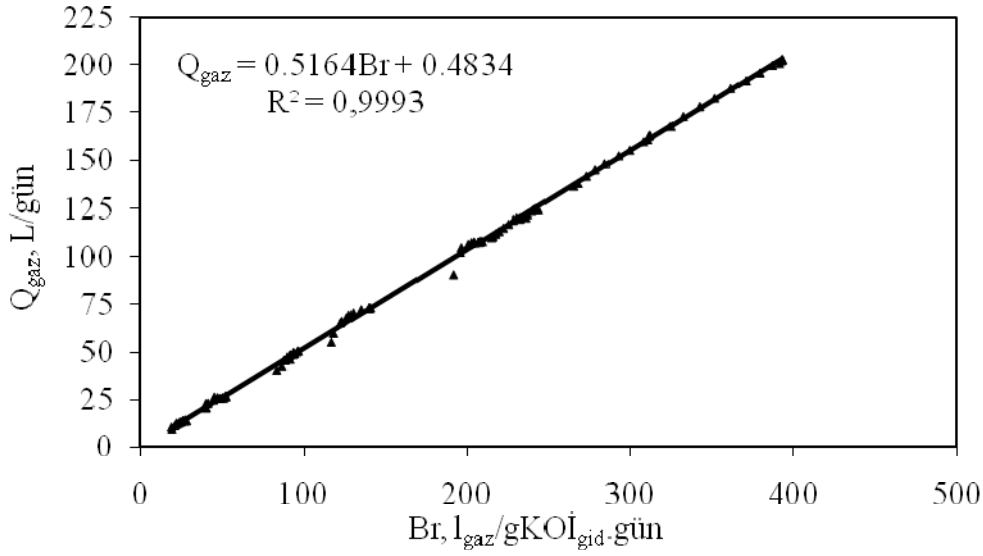
Biyofilm gelişimi

Reaktörün üç noktasından (30, 80 ve 110 cm) kum numuneleri alınarak biyofilm gelişimi izlenmiştir. İlk altı organik yükleme esnasında reaktördeki biyokütle konsantrasyonunda çok ciddi bir gelişme gözlenmemiştir. Bu değer orta-

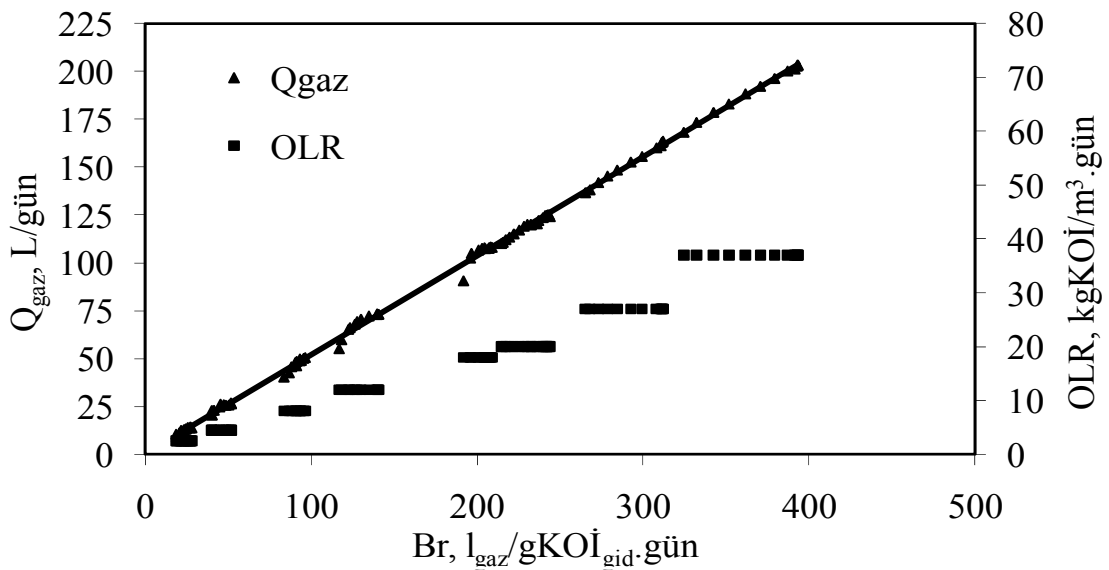
lama 5000 mgUAKM_{att}/L olup süre olarak altı aylık bir zaman dilimine karşı gelmektedir. Ancak sistem 37 kgKOİ/m³.gün organik yüklemesiyle işletilmeye başladıktan sonra biyofilm hızlı bir şekilde gelişme göstermiştir. Bu gelişim ile reaktördeki yatak seviyesi de yükselmiştir. Bu yükselme miktarı ortalama 30 cm olup reaktördeki biyofilm konsantrasyonu ortalama 70000 mgUAKM_{att}/L olarak ölçülmüştür. Bu süre yedi aylık zaman dilimine karşılık gelmektedir. Daha sonra sistem sabit 20 kgKOİ/m³.gün organik yüklemesinde çalıştırılmaya devam edildiğinde

de 70000 mgUAKM_{att}/L biyokütle konsantrasyonu sabit kalmıştır. Bu da sistemin biyofilm gelişimi açısından stabil hale geldiğini göstermektedir (Şekil 7).

Biyokütle dönüşüm oranı (Y), 0.2-2 kg UAKM_{tut}/kgKOİ_{gid}.gün değerleri mertebesinde değişiklik göstermektedir. AAYR'de ilk altı kade me organik yüklemelerde tutunmuş biyokütle konsantrasyonu fazla bir artış göstermemiş olmasına karşılık orijinal sızıntı suyu yüklemesinde ise ani bir artış olduğu gözlenmiştir. Reaktörde



Şekil 5. Giderilen KOİ ile üretilen gaz arasındaki ilişki



Şekil 6. Organik yükleme ile gaz üretimi arasındaki ilişki

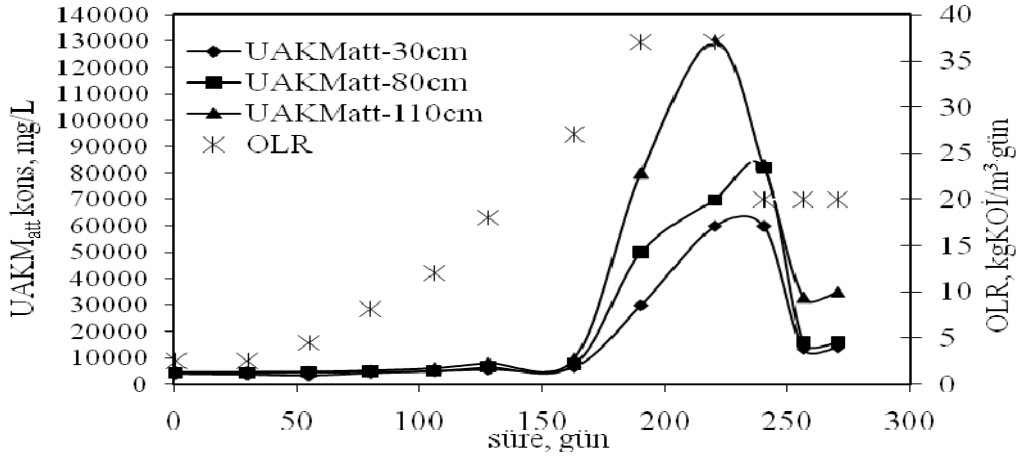
toplam biyotanecek hacmi ($V_{\text{biyotanecek}}$) 6.5 L olup, toplam tutunmuş biyokütle miktarı (TAB), birinci ve ikinci kademe organik yüklemelerde (2.5 ve 4.5 $\text{kgKOI}/\text{m}^3 \cdot \text{gün}$) ortalama 28 $\text{gUAKM}_{\text{att}}$ olarak bulunmuştur. Reaktörde KOİ giderim verimi arttığından dolayı biyokütle dönüşüm oranı (Y) başlangıçta 1.52 $\text{gUAKM}_{\text{att}}/\text{gKOI}_{\text{gid}} \cdot \text{gün}$ iken birinci kademe yüklemenin sonunda Y değeri 1 $\text{gUAKM}_{\text{att}}/\text{gKOI}_{\text{gid}} \cdot \text{gün}$ 'e ve ikinci kademe organik yüklemenin sonunda 0.54 $\text{gUAKM}_{\text{att}}/\text{gKOI}_{\text{gid}} \cdot \text{gün}$ değerine düşmüştür. 20 $\text{kgKOI}/\text{m}^3 \cdot \text{gün}$ OLR değerinde AAYR'de KOİ giderim verimi %92 seviyesinde sabit olduğunda reaktörde TAB miktarı ortalama 138 $\text{gUAKM}_{\text{att}}$ seviyesinde iken biyofilm konsantrasyonu ortalama 21.25 kg/m^3 ve biyokütle dönüşüm oranı (Y) 0.57 $\text{gUAKM}_{\text{att}}/\text{gKOI}_{\text{gid}} \cdot \text{gün}$ olarak gerçekleşmiştir (Şekil 8).

Sonuçlar

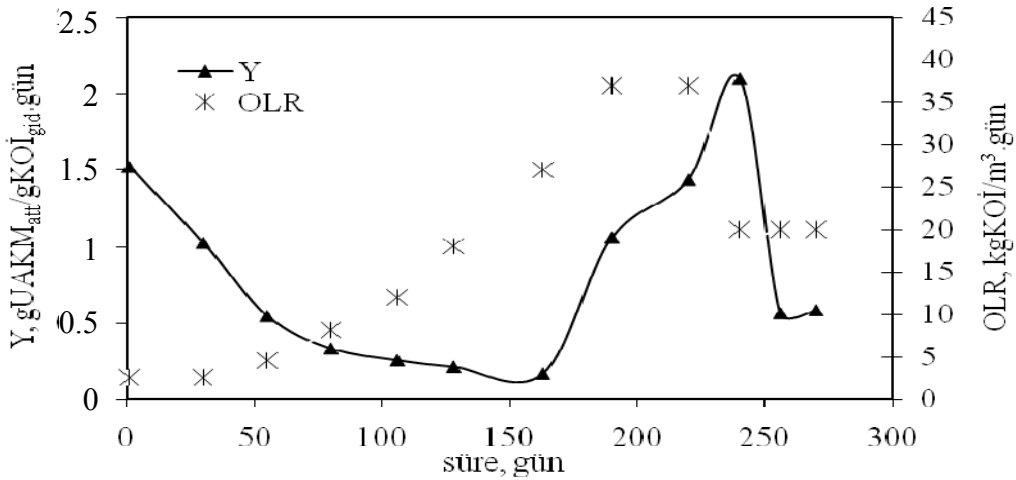
İstanbul'un Avrupa Yakası'ndaki Odayeri düzenli katı atık depolama alanına ait orijinal sızıntı sularının, yüksek aktif biyokütle konsantrasyonuna sahip, kompakt ve az alan ihtiyacı olan anaerobik akışkan yataklı reaktörde arıtılabilirliği çalışmaları yapılmıştır.

Çalışma süresince, sızıntı suyu besleme debisi (Q) 13 L/gün, organik yüklemeler (OLR) 2.5-37 $\text{kgKOI}/\text{m}^3 \cdot \text{gün}$, hidrolik bekleme süresi (HRT) 1 gün olacak şekilde ayarlanmıştır.

KOİ giderimi birinci yüklemelerde %80'ler mertebesinde iken bundan sonraki yüklemelerde kararlı halde %90'lar seviyesinde gerçekleşmiştir. AAYR, 37 $\text{kgKOI}/\text{m}^3 \cdot \text{gün}$ organik yüklemeler



Şekil 7. Sistemde biyofilm gelişimi ve organik yük ilişkisi



Şekil 8. Organik yüklemeler ve biyokütle dönüşüm oranının zamana bağlı değişimi

sinde beş hafta sonunda sabit %81-82 KOİ giderim verimine ulaşmıştır. Bu verim düşüşünden sonra sistem sabit 20 kgKOİ/m³.gün yüklemesinde çalıştırılmaya devam edilmiş ve giderme verimi tekrar %90'lara yükselmiştir.

Bu çalışmada, farklı organik yüklemelerde, AAYR de ortalama üç hafta sonunda maksimum %88-90 KOİ giderim verimine ulaşılmıştır. Buna göre AAYR'ün orijinal sızıntı suyunu kullanarak 1 günlük hidrolik bekletme süresi ile efektif olarak çalıştırılabileceği bulunmuştur. Sistemin organik yükleme aralığı 4 – 27 kgKOİ/m³.gün olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada, her yükleme kademesinde KOİ giderimi kararlı hale ulaştığında, üretilen toplam gaz miktarı 0.51-0.53 m³/kgKOİ_{gid}.gün olmuştur. Toplam gazın metan içeriği yaklaşık %75 olup, metan üretim hızı ortalama 0.38 L CH₄/gKOİ_{gid} olarak elde edilmiştir. Organik yükleme değeri 20 kgKOİ/m³.gün olan sızıntı suyu ile yapılan çalışmada biyokütlenin substrat kullanım oranı (U) 1.75 gKOİ_{gid}/gUAKM_{att}.gün olarak bulunmuştur. Biyogazın metan yüzdesi 75 olduğundan üretilen 1 m³CH₄'nın giderilen KOİ eşdeğeri 2.59 kgKOİ_{gid}/m³CH₄ olarak hesaplanmıştır.

Tutunmuş Biyokütle Miktarı (TAB), AAYR' de ilk altı kademe organik yüklemeye fazla bir artış göstermemiş olup ortalama 35 gUAKM_{att} olarak gerçekleşmiştir. Biyokütle dönüşüm oranı (Y) başlangıçta 1.5 gUAKM_{att}/gKOİ_{gid}.gün iken KOİ giderimi arttığından dolayı azalarak 1 – 0.17 gUAKM_{tut}/gKOİ_{gid}.gün arasında değişmiştir.

Orijinal sızıntı suyu (OLR 37 kgKOİ/m³.gün) ile AAYR işletildiğinde TAB miktarı ani bir artış göstermiş ve bu değeri 560 gUAKM_{att} seviyelerine çıkmıştır. Buna bağlı olarak Y değeri artarak kararlı halde 1.43 gUAKM_{att}/gKOİ_{gid}.gün değerine ulaşmıştır. 20 kgKOİ/m³.gün organik yükleme değerinde AAYR'de KOİ giderimi maksimum %92 değerine ulaşmış ve TAB miktarı ortalama 138 gUAKM_{att} olarak bulunmuştur. Bu durumda, biyofilm konsantrasyonu ortalama 21.25 kg/m³ ve biyokütle dönüşüm oranı (Y) 0.57 gUAKM_{att}/gKOİ_{gid}.gün olarak gerçekleşmiştir.

Kaynaklar

- Amokrane, A., Comel, C. ve Veron, J., (1997). Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation, *Water Research*, **31**, 2775-2782.
- Cooper, P., Crabtree, H.E., Austin, E.P. ve Green, M.K., (1984). Some recent developments in sewage treatment in UK with CAPTOR and biological fluidised bed, in *La Biomasse Fixee Dans Le Traitement des Eaux*, 37es Journees Int., CEBEDEAU, Liege, 23-25 Mai, 307-339.
- Diez Blanco, V., Garcia Encina, P.A. ve Fdz-Blanco, F., (1995). Effect of biofilm growth, gas and liquid velocities on the expansion of an Anaerobic Fluidized Bed Reactor (AFBR), *Water Research*, **29**, 7, 1649-1654.
- Ehrig, H.J., (1989). *Leachate quality*, in Christesen, T.H., Cossu, R., Stegmann, R., eds, *Sanitary landfilling: Process, Technology and Environmental Impact*, Academic Press, London, 213-229.
- Gau, S.H. ve Chang, F.S., (1996). Improved Fenton method to remove recalcitrant organics in landfill leachate, *Water Science and Technology*, **34**, 455-462.
- Gülşen, H., Turan, M. ve Armağan, B., (2004a). Anaerobic fluidized bed reactor for the treatment of landfill leachates, *Journal of Environmental Science and Health A*, **39**, 8, 2195-2204.
- Gülşen, H. ve Turan, M., (2004b). Startup of an anaerobic fluidized bed reactor for landfill leachate treatment, *Environmental Technology*, **25**, 10, 1107-1114.
- Gülşen, H. ve Turan, M., (2004c). Anaerobic treatability of sanitary landfill leachate in a fluidized bed reactor, *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, TÜBİTAK, **28**, 1-9.
- Gülşen, H., Altınbaş, M., Alp, K., Turan, M., Öztürk, I. ve Altın, Z., (2002). Combined anaerobic fluidized bed reactor and Fenton's oxidation treatment of landfill leachate, ISWA 2002, World Environment Congress and Exhibition, July 8-12, 2002, İstanbul, Turkey.
- Hsu, Y. ve Shieh, W.K., (1993). Startup of anaerobic fluidized bed reactors with acetic acid as the substrate, *Biotechnology and Bioengineering*, **41**, 347-363.
- Heijnen, J.J., Mulder, A., Weltevrede, R., Hols, J. ve van Leeuwen, H., (1991). Large scale anaerobic-aerobic treatment of complex industrial wastewater using biofilm reactors, *Water Science and Technology*, **23**, 1427-1436.
- İnaç, B., Çallı, B. ve Saatçi, A., (2000). Characterization and anaerobic treatment of the sanitary

- landfill leachate in İstanbul, *Water Science and Technology*, **41**, 3, 223-230.
- Iza, J., (1996). Fluidized bed reactors for anaerobic wastewater treatment. Anaerobic Treatment Technology for Municipal Wastewater, *Water Science and Technology*, **24**, 8, 257-277.
- Knox, K. ve Jones, P.H., (1979). Complexation characteristics of sanitary landfill leachates, *Water Research*, **13**, 839-846.
- Loukidou, M.X. ve Zouboulis, A.I., (2001). Comparison of two biological treatment processes using attached growth biomass for sanitary landfill leachate treatment, *Environmental Pollution*, **111**, 2, 273-281.
- Öztürk, İ., (1999). *Anaerobik biyoteknoloji ve atıksu arıtımındaki uygulamaları*, Su Vakfı Yayınları, Seher Ofset, İstanbul.
- Öztürk, İ., Altınbaş, M., Arıkan, O., Tüylüoğlu, B.S. ve Baştürk, A., (1999a). Anaerobic and chemical treatability of young landfill leachate, *Proceedings, 7th International Waste Management and Landfill Symposium*, October 4-8, Cagliari, Italy.
- Öztürk, İ., Altınbaş, M., Arıkan, O. ve Demir, A., (1999b). Anaerobic UASBR treatment of young landfill leachate, *Fresenius Environmental Bulletin*, **81** 5/6, 389-396.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (1999). 20th edn, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- Timur, H. ve Öztürk, İ., (1999). Anaerobic treatment of leachate using sequencing batch reactor and hybrid bed filter, *Water Science and Technology*, **36**, 6-7, 501-508.
- Turan, M. ve Öztürk, İ., (1996). Longitudinal dispersion and biomass hold-up of anaerobic fluidized bed reactors, *Water Science and Technology*, **34**, 5-69, 461-468.
- Turan, M., (2000). Mechanisms of biofilm detachment in an anaerobic fluidized bed reactor, *Environmental Technology*, **21**, 177-183.
- Wu, Y.C., Hao D.J., Ou K.C. ve Scholze R.J., (1988). Treatment of leachate from solid waste landfill site using a two-stage anaerobic filter, *Biotechnology and Bioengineering*, **31**, 257-266.