



Anaerobik biyofilm proseslerde organik yüklemeye bağlı mikrobiyal büyüme ve gelişim

Microbial growth depending on organic loading rate in the anaerobic biofilm processes

Hakkı Gülşen

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Geliş Tarihi: 04 Temmuz 2015
Revizyon Tarihi: 16 Eylül 2015
Kabul Tarihi: 11 Ekim 2015
Elektronik Yayın Tarihi: 28 Haziran 2016
Basım: 22 Temmuz 2016

Ö Z E T

Bu çalışmada, İstanbul Avrupa yakası, Kemberburgaz (Odayeri) katı atık düzenli depolama alanı sızıntı sularının anaerobik akışkan yataklı reaktörde (AAYR) arıtılmasında organik yüklemeye bağlı biyofilm oluşumu ve gelişimi araştırılmıştır. Bu amaçla laboratuvar ölçekli bir anaerobik akışkan yataklı reaktör kurulmuştur. Çalışmanın yapıldığı akışkan yataklı reaktörün çapı 10 cm, yüksekliği 165 cm, etkili hacmi 13 litre olup yatak malzemesi olarak 0,5 mm' lik filtre kumu kullanılmış ve sabit yatak yüksekliği 70 cm' dir. Yapılan çalışmada AAYR, organik yükleme (OLR) 4–37 kgKOİ/m³.gün aralığında ve hidrolik bekleme süresi 1 gün olarak işletilmiştir. Orijinal hacimsel organik yükleme 20 kg KOİ/m³.gün iken yapılan biyofilm çalışmalarında tutunmuş biyokütle konsantrasyonu ortalama 21,25kg/m³ ve biyokütle dönüşüm oranı (Y) 0,57 gUAKMtut/gKOİgid.gün olarak bulunmuştur.

Anahtar sözcükler: Anaerobik akışkan yataklı reaktör, Organik yükleme, Biyofilm, Dönüşüm oranı

A B S T R A C T

In this study, microbial growth depending on organic loading rate and treatability of leachate from Odayeri Sanitary Landfill located on the European part of Istanbul was investigated in an anaerobic fluidized bed reactor (AFBR). 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 to 37 kg COD/m³.day at the hydraulic retention time (HRT) 1 day. The mean attached biomass concentration also increased up to 21,25kgAVSS/m³ for the original landfill leachate (OLR=20 kgCOD/m³.day) and the biomass transformation rate (Y) is 0,57 gVSSatt/gCODrem.day.

Keywords: Anaerobic fluidized bed reactor, Organic loading rate, Biofilm, Yield rate

1. Giriş

Akışkan yataklı anaerobik biyoreaktörler biyofilm reaktörlerdir. Bu reaktörlerde mikroorganizmalar, destek yüzeyleri olarak katı tanecikler üzerinde tutunurlar. Yatak içindeki tanecikler, reaktörü besleyen atık su ve reaktördeki sirkülasyon akımı vasıtasıyla akışkan hale getirilir, bu esnada atık su içindeki istenmeyen kirletici maddeler biyofilm tarafından tutularak uzaklaştırılır.

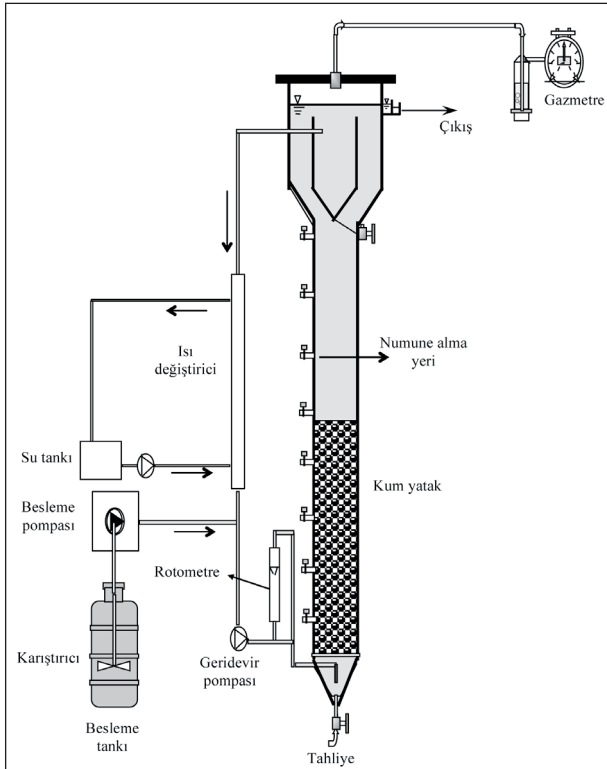
Akışkan yatak malzemesi olarak kum, granüler aktif karbon ve zeolit, sepiyolit gibi kil mineralleri kullanılabilir. Akışkan yataklı reaktörler, çok miktarda sabit biyokütle bulundurması, düşük bekleme süresinde yüksek giderme verimi sağlaması, tıkanma probleminin olmaması ve düşük çamur üretimi sağlaması gibi avantajlara sahiptir. Bu çalışmada anaerobik akışkan yataklı reaktörde katı atık depolama alanı sızıntı suyu kullanılmıştır. Katı atık düzenli depolama alanı sızıntı suyu miktarı, nihai üst

örtü tabakasının geçirimsizlik derecesi, iklim şartları, katı atık bileşimi, depo yaşı vb. faktörlere göre değişir. Sızıntı suyu miktarı kurak ve sıcak iklimli yerlerde düşük, yağışlı bölgelerde ise yüksektir (1). İstanbul'daki düzenli depolama alanlarından açığa çıkması beklenen sızıntı suyu miktarı için ilk 5 yılda 2 m³/ha.gün, daha sonraki yıllarda ise 5 m³/ha.gün olarak hesaplanmıştır (2). Akdeniz iklim kuşağında sızıntı suyu oluşumu için 0,15-0,20 m³/ton KA değerleri verilmektedir (3). Akışkan haldeki yatak malzemesinin özgül yüzeyi 2000-5000 m²/m³ gibi yüksek değerlere sahiptir. Biyokütle konsantrasyonları da 30000 mg/L'nin üzerine çıkabilir. 40 - 60 kg KOİ/m³. gün gibi çok yüksek organik yükler uygulanabilir ve hidrolik bekleme süresi 1.5-3 saate indirilebilir (4). Anaerobik akışkan yataklı reaktöründe (AAYR), biyokütle küçük çaplı ağır destek tanecikleri (partiküller) üzerindeki biyofilm tabakası olarak gelişir. Biyotaniclerin akışkan halde tutulabilmesi için, yüksek orandaki geri devir akımı ile yeterli yukarı akış hızının sağlanması gerekir (5). Özgül yüzeyi 3000 m²/m³'e ulaşan küçük çaplı tanecikler (0,2-0,8 mm) üzerindeki biyofilm halinde tutunan biyokütle konsantrasyonu 60 kg/m³ değerine kadar çıkabilir (6, 7, 8). Yüksek aktif biyokütle konsantrasyonu sebebiyle, AAYR'lerde çok yüksek arıtma kapasitelerine ulaşılabilir. Encina ve Hidalgo (9), lab ve pilot ölçekli AAYR'de sentetik atıksu kullanarak

mezofilik şartlarda biyofilm gelişimini incelemiştir. Destek malzemesi olarak biolite kullanılmıştır. Mussati vd. (10), metanojenik akışkan yataklı reaktörde kum destek malzemesi üzerinde biyofilm gelişimine etkiyen faktörleri ve metanojenik bakteri türlerini incelemiştir. Arnaiz vd. (11), anaerobik akışkan yataklı reaktörde yüksek biyokütle konsantrasyonları elde etmek için değişik destek malzemeleri (perlit ve sepiyolit) kullanmışlardır. Cresson vd. (12), çok fazlı anaerobik biyofilm reaktörde startup periyodunda biyofilm gelişimini incelemiştir. OLR değerleri 0,5-20 kgKOİ/m³.gün arasında değişmiş, düşük yüklerde KOİ giderimi %90 iken biyofilm gelişimi artmıştır. Bu çalışmada İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında kurulan pilot ölçekli anaerobik akışkan yataklı reaktör (AAYR)'de, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Odayeri (Kemberburgaz) katı atık düzenli depo alanı sızıntı suları ile mezofilik şartlarda değişik organik yükleme oranlarında biyofilm çalışmaları yapılmıştır.

2. Materyal ve Metod

Deneyel çalışmalar, İTÜ Çevre Mühendisliği, Pilot Tesisler Laboratuvarında pilot ölçekli bir anaerobik akışkan yataklı reaktörde yürütülmüştür. Deneylerde, İstanbul Avrupa yakasında Kemberburgaz (Odayeri) katı atık düzenli depolama alanından temin edilen sızıntı sularının anaerobik akışkan yataklı reaktörde (AAYR) arıtımı araştırılmıştır. Arıtmada kullanılan pilot-ölçekli akışkan yataklı reaktörün iç çapı 100 mm, yüksekliği 1,65 m ve efektif hacmi 13 L'dir (Şekil 1). Reaktörde, ortalama çapı $d_s = 0,5$ mm, yoğunluğu $\rho_s = 2,65$ g/cm³ olan tipik filtre kumu kullanılmıştır. Akışkan yatağın sabit yatak yüksekliği $h = 70$ cm'dir. Üstteki çökeltme kısmı 35 cm yükseklik ve 30 cm çapındadır. Besleme ve geri devir akımları, reaktör tabanındaki konik dağıtıcıdan akışkan yatak ortamına pompalanmaktadır. Geri devir pompası 400 L/sa debide çalıştırılmış ve %30-40 mertebesinde genleşme sağlanmıştır. Sızıntı suyunu beslemede dozaj pompası kullanılmış olup, reaktör sıcaklığı sirkülasyon



Şekil 1: Pilot ölçekli anaerobik akışkan yataklı reaktörün (AAYR) şematik diyagramı.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan sızıntı suyunun karakterizasyonu.

Parametre	Konsantrasyon(mg/l)
pH ^a	7 - 8
KOİ	10.000 - 70.000
TKM	37.500 - 46.000
TÇM	17.000 - 35.700
TKN	1630 - 2750
NH ₃ -N	1030 - 2350
PO ₄ -P	6,8 - 16,2
Alkalinite	2.500 - 6.000

hattında yerleştirilmiş bir ısı değiştirici ile kontrol edilmiştir. pH ise 7–8 arasında değişmiştir. Çalışmalar 35-37°C de mezofilik şartlarda yapılmıştır. Biyofilm ölçümleri için, genişmiş yatak numunesi (biyokütle ve sızıntı suyu) reaktör kolonunun üç farklı yüksekliğinden (30, 80 ve 110 cm) musluklar yoluyla alınmıştır. Bu numuneler, bir seramik evaporatör diski içinde 105°C'de 24 saat kurutulmuş ve 550° C'de 1 saat yakılmıştır (13). Bunların ağırlıkları arasındaki birim reaktör hacmi başına fark, toplam uçucu askıda katı madde (TopUAKM) olarak toplam biyokütle konsantrasyonunu (X_{total}) vermektedir. Çıkış suyu uçucu askıda katı madde konsantrasyonu (UAKM_{sus}), askıda biyokütle (X_{sus}) olarak ölçülmektedir. Tutunmuş biyokütle konsantrasyonu (X_{att}) ise numunedeki X_{total} ve X_{sus} konsantrasyonları arasındaki fark konsantrasyon (UAKM_{tut}) olarak elde edilmektedir. Çalışmada kullanılan sızıntı suyunun karakterizasyonu Tablo 1'de verilmiştir.

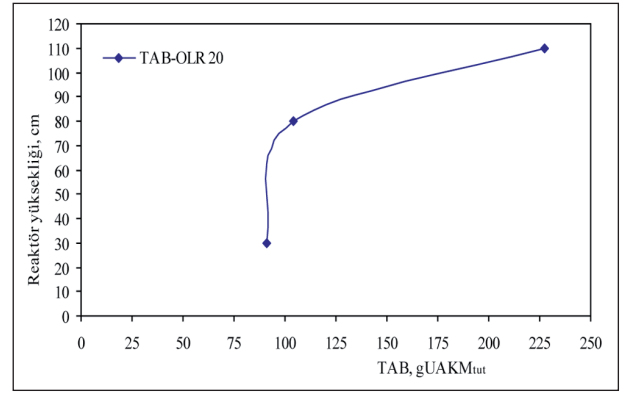
3. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada, AAYR prosesinin 1 gün hidrolik bekleme süresinde, düşük bir hacimsel organik yüklemekten başlayarak, organik yükü kademeli artırmak ve sonunda orijinal sızıntı suyu ile çalıştırılarak AAYR'ün biyofilm gelişimi ve büyümesinin izlenmesi amaçlanmıştır. Hacimsel organik yükleme (OLR) sırasıyla 2,5; 4,5; 8; 12; 18; 27; 37 ve 20 kgKOİ/m³.gün ve hidrolik bekleme süresi sabit tutulmuştur (HBS = 1 gün). Katı atık depolama alanından temin edilen orijinal sızıntı suyunun KOİ konsantrasyonu yüksek olduğundan, ara yüklemelerde çeşme suyu ile seyreltilerek AAYR'ün organik yükü ayarlanmıştır. Reaktör, 37-20 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükleme değerlerinde çöp depolama alanından getirilen orijinal sızıntı suyu seyrelme yapılmadan beslenerek çalıştırılmıştır. Mikrobiyal büyüme akışkan yatakta ilave bir genişlemeye sebep olmaktadır. Biyotanecikler (destek taneciği + biyofilm) üzerinde biyofilm düzgün olarak kaplanmamaktadır. Tabandaki tanecikler, biraz da akışın türbülansı sebebiyle kısmi biyofilmlerle kaplanmaktadır. Reaktörden üç noktadan (30, 80 ve 110 cm) biyofilmlerle kaplanmış kum numuneleri alınarak biyofilm gelişimi izlenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 2). Yapılan çalışmada AAYR' de biyokütle destek malzemesi olarak kullanılan kum taneciklerinin biyofilm kalınlığı tabandan başlayarak reaktör yüksekliği boyunca artmıştır. Ancak bu artış yatak dolgu malzemesinin tabandan başlayarak 80 cm'ye kadar olan bölümünde az olmuş daha sonra ani bir artış gözlenmiştir. Buda akışkanlaştırmanın etkisiyle kalın biyofilmlerle kaplı destek

malzemesinin reaktörün üst kısımlarında bulunduğunu göstermektedir (Şekil 2).

Biyofilm kalınlığı ve yatak porozitesi yatağın tabanından tepesine doğru değişmekte olup kalın biyofilmlerle biyotanecikler daha hafif olduğundan reaktörün üst kısımlarına hareket etmektedir. Bu sebepten tabandan tepe noktasına doğru biyofilm kalınlığı artmaktadır (14, 15).

AAYR' de ilk altı kademe organik yüklemelerde tutunmuş biyokütle konsantrasyonu fazla bir artış göstermemiş olmasına karşılık orijinal sızıntı suyu yüklemesinde ise ani bir artış olduğu gözlenmiştir. Reaktörde toplam biyotanecik hacmi ($V_{biyotanecik}$) 6,5 L olup, toplam tutunmuş biyokütle miktarı (TAB), birinci ve ikinci kademe organik yüklemelerde (2,5 ve 4,5 kgKOİ/m³.gün) ortalama 28 gUAKM_{tut} olarak



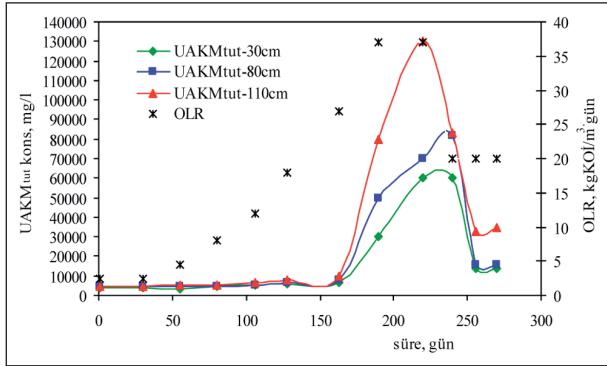
Şekil 2: AAYR'de reaktör yüksekliği boyunca toplam tutunmuş biyokütle değişimi.

Tablo 2: AAYR'de reaktör yüksekliği boyunca tutunmuş biyofilm gelişimi.

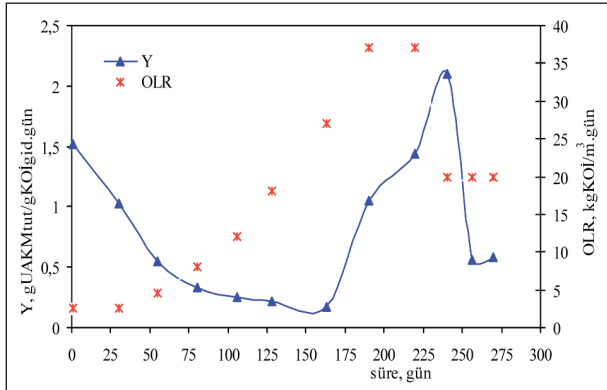
Süre gün	UAKM _{tut} , mg/l			OLR kgKOİ/ m ³ .gün
	alt 30cm	orta 80cm	üst 110cm	
1	3990	4310	4825	2,5
30	3716	4350	4850	2,5
55	3357	4693	4920	4,5
80	4290	4820	5350	8,1
106	4990	5130	6260	12
128	5620	6510	8120	18
163	6620	7590	9870	27
190	30000	50000	80000	37
220	60000	70000	130000	37
240	60000	82000	83000	20
256	13500	16000	33000	20
270	14000	16000	35000	20

bulunmuştur. Reaktörde KOİ giderim verimi arttığından dolayı biyokütleyle dönüşüm oranı (Y) başlangıçta 1,52 $gUAKM_{tut}/gKOİ_{gid}$.gün iken birinci kademe yüklemenin sonunda Y değeri 1 $gUAKM_{tut}/gKOİ_{gid}$.güne düşmüş ve ikinci kademe organik yüklemenin sonunda 0,54 $gUAKM_{tut}/gKOİ_{gid}$.gün değerine düşerek gerçekleşmiştir (Şekil 3). Orijinal sızıntı suyu organik yüklemesi olan 37 $kgKOİ/m^3$.gün değerinde AAYR işletilmeye başlandıktan sonra reaktördeki TAB miktarı yani biyofilm konsantrasyonu ani bir artış göstermiş ve bu değer 130 kg/m^3 seviyelerine çıkmış buna bağlı olarak ta biyokütleyle dönüşüm oranı artmış, KOİ giderim veriminin kararlı hale geldiği dönemde 1,43 $gUAKM_{tut}/gKOİ_{gid}$.gün değerine ulaşmıştır.

Son kademe organik yüklemesi olan 20 $kgKOİ/m^3$.gün değerinde reaktörde TAB miktarı ortalama 138 $gUAKM_{tut}$ seviyesinde iken biyofilm konsantrasyonu ortalama 21,25 kg/m^3 ve biyokütleyle dönüşüm oranı (Y) 0,57 $gUAKM_{tut}/gKOİ_{gid}$.gün olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4). Pilot ölçekli AAYR' de yapılan biyofilm gelişiminin incelenmesi çalışmalarında orijinal sızıntı suyunun beslediği kademe olan organik yüklemeler hariç diğer organik yükleme kademelerinde biyokütle dönüşüm



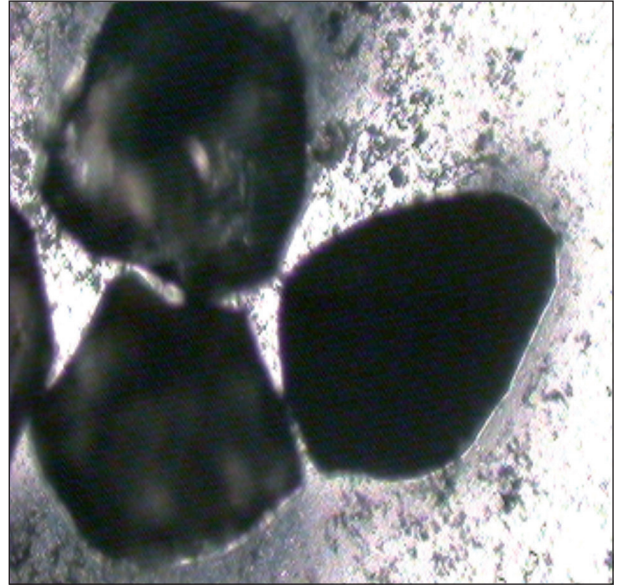
Şekil 3: AAYR yüksekliği boyunca zaman ve OLR' ye bağlı olarak UAKMtut konsantrasyonu değişimi.



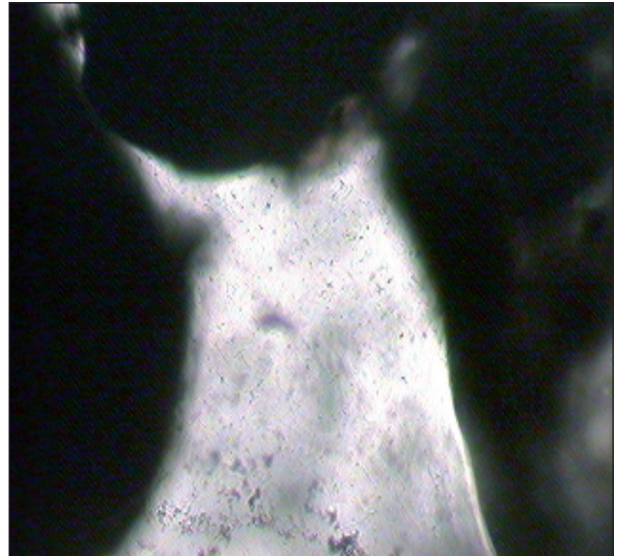
Şekil 4: AAYR'de OLR'ye bağlı organik maddenin biyokütleyle dönüşüm oranları.

oranı (Y) 0,17-0,58 $gUAKM_{tut}/gKOİ_{gid}$.gün (ortalama 0,2-0,6) aralığında kalmıştır. Orijinal sızıntı suyu kademelerinde ise biyokütleyle dönüşüm oranı (Y) 1-2 $gUAKM_{tut}/gKOİ_{gid}$.gün aralığında gerçekleşmiştir (16). Literatürde biyokütle dönüşüm oranları (Y), 0,12-4,75 $kgKOİ/kgUAKM$.gün değerleri mertebesinde değişiklik göstermektedir (17, 18).

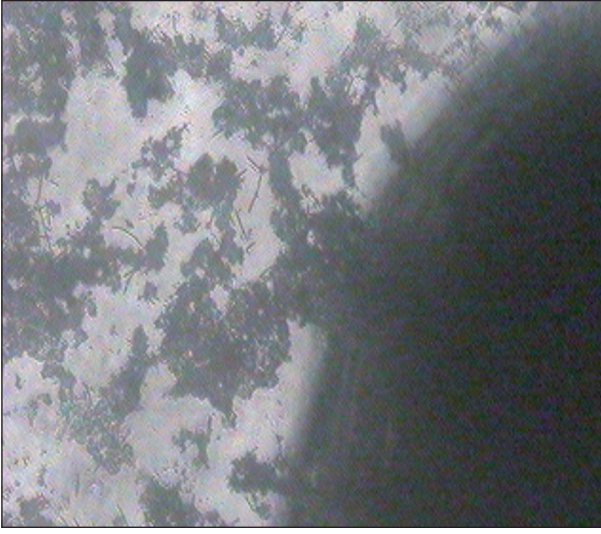
AAYR'ün üç farklı yüksekliğinden (alt 30cm, orta 80cm ve üst 110cm) alınan biyotanecek numunelerinde mikroskop altında biyofilm gelişimi incelenmiştir. Numuneler 40, 100, 200 ve 400 kere büyütülerek fotoğrafları çekilmiştir (Resim 1, 2, 3 ve 4).



Resim 1: OLR = 20 $kgKOİ/m^3$.gün ve 40 kere büyütülmüş biyofilm oluşumu (alt 30cm).



Resim 2: OLR = 20 $kgKOİ/m^3$.gün ve 100 kere büyütülmüş biyofilm oluşumu (alt30cm).



Resim 3: OLR=20 kgKOİ/m³.gün ve 200 kere büyütülmüş biyofilm oluşumu (üst 110cm).



Resim 4: OLR = 20 kgKOİ/m³.gün ve 400 kere büyütülmüş biyofilm oluşumu (üst110cm).

4. Sonuçlar

Biyofilm gelişiminin araştırılması, AAYR'den üç noktadan (30, 80 ve 110 cm) biyofilmlle kaplanmış kum numuneleri (biyotanicik) alınarak yapılmıştır. AAYR' de biyokütle destek malzemesi olarak kullanılan kum taneciklerinin biyofilm kalınlığı tabandan başlayarak reaktör yüksekliği boyunca artmaktadır. Ancak bu artış yatak dolgu malzemesinin tabandan itibaren 80 cm'ye kadar olan bölümünde çok yavaş olmuş daha sonra ani bir artış gözlenmiştir. Bunun sebebi, yoğunluğun azalması ile kalın biyofilmlle kaplı biyotaniciklerin reaktörün üst kısımlarına hareket etmesidir. Tutunmuş biyokütle miktarı (TAB), AAYR' de ilk altı kademe organik yüklemde fazla bir artış göstermemiş olup

ortalama 35 gUAKM_{tut} dir. Biyokütleyle dönüşüm oranı (Y) başlangıçta 1,5 gUAKM_{tut}/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 değer 560 gUAKM_{tut} seviyelerine çıkmıştır. Buna bağlı olarak Y değeri artarak kararlı halde 1,43 gUAKM_{tut}/gKOİ_{gid}.gün değerine ulaşmıştır. 20 kgKOİ/m³.gün organik yükleme değerinde AAYR'de, TAB miktarı ortalama 138 gUAKM_{tut} olarak bulunmuştur. Bu durumda, biyofilm konsantrasyonu ortalama 21,25 kg/m³ ve biyokütleyle dönüşüm oranı (Y) 0,57 gUAKM_{tut}/gKOİ_{gid}.gün olarak gerçekleşmiştir. AAYR' deki biyofilm gelişiminin incelenmesi çalışmalarında, orijinal sızıntı suyu organik yükleme kademelerinde biyokütleyle dönüşüm oranı (Y) 1-2 gUAKM_{tut}/gKOİ_{gid}.gün aralığında gerçekleşirken diğer organik yükleme kademelerinde ise biyokütleyle dönüşüm oranı (Y) 0,17-0,58 gUAKM_{tut}/gKOİ_{gid}.gün aralığında kalmıştır.

Sonuç olarak; reaktördeki 1 m³ destek malzemesi için ortalama 21 kg biyofilm (UAKM) tutunmaktadır. Maksimum olarak bu değer 130 kg UAKM' dir. Buna karşılık prosesin %90 KOİ giderim veriminde çalışması halinde organik maddenin (substrat) biyofilme dönüşüm oranı 02-06 kgUAKM/kgKOİ.gün olarak bulunmuştur.

Kaynaklar

1. Hjelmar, O., Johannessen, J.M., Knox, K., Ehrig, H.J., Flyvberg, J., Winther, P. Christensen, T.H., 1995. Composition and Management of Leachate from Landfills within the EU. In Proc. 5th International Landfill Symposium, Sardinia 95, Italy, 1, 243-262
2. CH2M Hill International Ltd., Antel Arıtma A.Ş., 1992. Municipal of Greater Istanbul Waste Management Study, İstanbul Anakenti Katı Atık Yönetimi Etüdü, İstanbul.
3. Fadel, M., Bou-Zeid, E., Chahine, W., Alaylı, B., 2002. Temporal Variation of Leachate Quality from Pre-Sorted and Baled Municipal Solid Waste with High Organic and Moisture Content, Waste Management, 22, 269-282
4. Öztürk, İ., Altınbaş, M., Arıkan, O., Tüylüoğlu, B.S., and Baştürk, A., 1999. Anaerobic and Chemical Treatability of Young Landfill Leachate in 7th International Waste Management and Landfill Symposium, October 4-8, Cagliari, Italy.
5. Buffière, P., Fonade, C., and Moletta, R., 1998. Mixing and Phase Hold-Ups Variations due to Gas Production in Anaerobic Fluidized-Bed Digesters: Influence on Reactor Performance. Biotechnol Bioeng, 60(1), 36-43.
6. Cooper, P., Crabtree, H.E., Austin, E.P. and 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, pp: 307-339.

7. Heijnen, J.J., Mulder, A., Weltevrede, R., Hols, J. and van Leeuwen, H., 1991. Large Scale Anaerobic- Aerobik Treatment of Complex Industrial Wastewater Using Biofilm Reactors, *Wat. Sci. Technol.* 23, 1427- 1436.
8. Shieh, W.K. and Keenan, J.D., 1986. Fluidized Bed Biofilm Reactor for Wastewater Treatment, in *Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology*, ed: Fiechter A., 33, Springer, Berlin, p: 131-169.
9. Encina, P.A.G., Hidalgo, M.D., 2005. Influence of Substrate Feed Patterns on Biofilm Development in Anaerobic Fluidized Bed Reactors (AFBR), *Process Biochemistry*, 40(7), 2509-2516.
10. Mussati, M., Thompson, C., Fuentes, M., Aguirre, P., Scenna, N., 2005. Characteristics of a Methanogenic Biofilm on Sand Particles in a Fluidized Bed Reactor, *Latin American Applied Research*, 35(4), 265-272.
11. Arnaiz, C., Gutierrez, J.C., Lebrato, J., 2006. Support Material Selection for Anaerobic Fluidized Bed Reactors by Phospholipid Analysis, *Biochemical Engineering Journal*, 27(3), 240-245.
12. Cresson, R., Carrere, H., Delgenes, J.P., Bernet, N., 2006. Biofilm Formation During the Start-Up Period of an Anaerobic Biofilm Reactor - Impact of Nutrient Complementation, *Biochemical Engineering Journal*, 30(1), 55-62.
13. Hsu, Y., and Shieh, W.K., 1993. Startup of Anaerobic Fluidized Bed Reactors With Acetic Acid as the Substrate, *Biotechnol. Bioengng.*, 41, 347-363.
14. Ro, K.S., and Neethling, J.B., 1994. Biological Fluidized Beds Containing Widely Different Bioparticles, *J. Environ. Engrg. ASCE.* 120(6), 1416-1426.
15. Turan, M., 2000. Mechanisms of Biofilm Detachment in an Anaerobic Fluidized Bed Reactor, *Environ. Technol.*, 21, 177-183.
16. Gulsen, H., Turan, M., Armagan, B., 2004. Anaerobic Fluidized Bed Reactor for the Treatment of Landfill Leachates, *Journal of Environmental Science and Health A*, 39(8), 2195 – 2204.
17. Borja, R., Martín, A., Banks, C.J., Alonso, V., and Chica, A., 1995. A Kinetic Study of Anaerobic Digestion of Olive Mill Wastewater at Mesophilic and Thermophilic Temperatures, *Environ. Pollut.*, 88(1), 13-18.
18. Diez, V., García, P.A., and Fdz-Polanco, F., 1999. Evaluation of methanogenic kinetics in an anaerobic fluidized bed reactor (AFBR), *Process Biochemistry*, 34(3), 213-219.