



BİR ALKOLLÜ İÇKİ ENDÜSTRİSİ ANAEROBİK ARITMA SİSTEMİ PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE BİYOLOJİK ÇAMURUN KARAKTERİZASYONU

Orhan İNCE¹, Nilgün AYMAN ÖZ², Bahar KASAPGİL İNCE² ve Bengü KOÇARSLAN¹

¹*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, 34469, İstanbul*

²*Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, 34342, Bebek-İstanbul*

Öz: Bu çalışmada, bir alkollü içki endüstrinin atıksularını arıtan yukarı akışlı anaerobik çamur yatağından alınan granül çamur örneğinde Spesifik Metan Aktivite (SMA) Testi kullanılarak sistemin potansiyel yükleme kapasitesi belirlenmiştir. Anaerobik granül çamurun potansiyel metan üretim (PMÜ) hızı 376 ml CH₄/gUAKM.gün olarak bulunmuştur. Bu değer anaerobik reaktörden elde edilen gerçek metan üretim (GMÜ) hızı ile karşılaştırıldığında, GMÜ/PMÜ oranı 0.12 olarak bulunmuştur ve sistemin potansiyel yükleme kapasitesinin sadece %12'sinin kullanıldığını göstermektedir. Anaerobik reaktörün organik yükleme değeri 8 kg KOİ/m³.gün'de KOİ giderme verimi %85 iken reaktörün daha sonraki işletme sürecinde 3 kg KOİ/m³.gün organik yükte KOİ giderme verimi %55'e kadar düşmüştür. Bu sonuçlar anaerobik reaktörde yeterli miktarda aktif metan türlerinin bulunduğunu fakat sistemin performansının mevcut işletme koşullarından dolayı olumsuz etkilenmiş olabileceğini göstermektedir. Ayrıca anaerobik reaktörde toplam popülasyon ve baskın olan otofloresan metanojenlerin morfolojileri belirlenmiştir. Mevcut işletme koşullarında anaerobik çamurun yaklaşık %25'ini otofloresan metanojenler oluşturmaktadır. Alınan biyolojik çamur örneğinde otofloresan özelliğe sahip baskın metan türleri, %79 oranında kısa çubuk, bunu takiben %20 orta çubuk ve %1 uzun çubuk türleri olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Alkol distile atıksuları, otofloresan metanojenler, spesifik metan aktivite test düzeneği, yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı*

EVALUATION OF PERFORMANCE OF AN ANAEROBIC TREATMENT SYSTEM AT AN ALCOHOL DISTILLERY AND CHARACTERIZATION OF BIOLOGICAL SLUDGE

Abstract: In this study, SMA test was used to determine potential loading capacity of an anaerobic granular sludge taken from a full-scale upflow an anaerobic sludge blanket (UASB) reactor treating an alcohol distillery effluent. Potential Methane Production (PMP) rate of the anaerobic granular sludge was found to be 376 mlCH₄/gVSS.day. When it is compared with actual methane production (AMP) rate obtained from the anaerobic reactor AMP/PMP ratio was calculated to be 0.12 which showed that the UASB reactor uses 12% of its potential loading capacity. COD removal efficiency of the UASB reactor was 85% at an organic loading rate (OLR) of 8 kg COD/m³.d whereas that of was 55% at an OLR of 3 kg COD/m³.d for the further operating period. Overall results showed that UASB reactor contained sufficient quantity of active methanogenic population, however the performance might have been adversely affected due to the current operating conditions. Epifluorescence microscopic examinations of the granular sludge were also carried out. The results showed that the percentage of total autofluorescent methanogens was found to be 25% in total population. Dominant methanogenic species were short rods (79%), medium rods (20%) and long rods (1%).

Keywords: *Alcohol distillery effluents, autofluorescent methanogens, epifluorescence microscopy, upflow anaerobic sludge blanket reactor, acetoclastic methanogenic activity*

GİRİŞ

İki aşamalı anaerobik-aerobik biyolojik arıtma sistemleri, alkol endüstrisi atıksuları gibi kuvvetli atıksuların arıtılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Anaerobik arıtmada organik madde giderimini kontrol eden en önemli faktörler, metan topluluğunun miktarı ve aktivitesidir. Bu nedenle, anaerobik reaktörlerin işletilmesi sırasında metan topluluğun sayısında, türlerinde ve aktivitelerinde meydana gelebilecek değişimleri belirlemek önemlidir. Anaerobik çamurun asetoklastik metanojenik kapasitesini gösteren Spesifik Metan Aktivite (SMA) Testi, reaktör işletmeye alma dönemlerinde sistemde tutulması gereken UAKM miktarının belirlenmesini ve sisteme uygulanabilecek optimum organik yüklemenin hesaplanmasını sağlayarak, bu tür sistemlerin işletmeye alma sürecini kısaltmaktadır. Ayrıca işletme sırasında, olumsuz işletme şartları nedeniyle metan türlerinin aktivite-sinde meydana gelen değişimleri belirleyerek, sistem veriminin artırılmasında ve sistem stabilitesinin sürekliliğinin sağlanmasında bir kontrol parametresi olarak kullanılabilir.

Sistemden alınan çamur örneğinde sistemin potansiyel metan üretim (PMÜ) hızı, spesifik metan aktivite testi kullanılarak belirlenmektedir. Bu değerler anaerobik reaktörden elde edilen gerçek metan üretim (GMÜ) hızı ile karşılaştırılır. GMÜ/PMÜ oranı hesaplanarak bu oranın belli bir mertebede tutulmasıyla anaerobik reaktörlerin güvenli bir şekilde işletilmesi sağlanabilir. Arıtma sistemlerinin, anaerobik çamurun potansiyel metanojenik kapasitesi göz önüne alınmadan işletilmesi durumunda olumsuz işletme şartları sonucunda konvansiyonel parametrelerle belirlenemeyen aktivite kayıpları nedeniyle, hedeflenen arıtma verimi gelecekteki işletme sürecinde sağlanamayabilir.

Anaerobik biyolojik çamurun mikrobiyolojisinin incelenmesi ve özellikle etkin olan metan türlerinin sayı ve kompozisyonlarının belirlenmesi, anaerobik arıtma sistemlerinin performanslarını ve davranışlarını anlamada önemlidir. Atıksu karakteri, reaktör tipi, aşı çamuru ve işletme koşulları gibi faktörler anaerobik reaktörlerdeki mikroorganizma topluluğunun sayı ve aktivitesini etkiler. Aynı atıksuyu arıtan fakat daha fazla miktarda asetoklastik metan topluluğu içeren bir anaerobik biyolojik çamurun kullanılması veya işletme koşullarının optimize edilmesiyle

sağlanabilecek daha aktif bir asetoklastik anaerobik biyolojik çamur hem daha küçük reaktör hacimlerinin kullanılmasına ve hem de işletme masraflarının önemli ölçüde azaltılmasına olanak sağlayabilir.

Bu çalışmada, bir alkollü içki endüstrisinde işletmede bulunan yukarı akışlı anaerobik çamur yatağının işletim performansı ile reaktörden alınan biyolojik çamur örneğinde otofloresan metan türlerinin morfolojisi ve potansiyel metan üretim hızı tartışılmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Materyal ve Metot

Spesifik Metan Aktivite Test Düzenegi

Bu çalışmada asetoklastik metan aktivitesini belirleyebilmek için Spesifik Metan Aktivite (SMA) test düzenegi kullanılmıştır. (Monteggia, 1991; İnce 1995a). Şematik gösterimi Şekil 1'de verilen SMA test ünitesi 8 adet 1 litre hacimli anaerobik reaktörlerden oluşmuştur. Bu anaerobik reaktörler sıcaklığı otomatik olarak kontrol edilen bir su banyosunun içerisine yerleştirilmiştir. Reaktörleri aynı hızda karıştırarak ortak bir sistem mevcuttur. DAS 800 Model data işleme kartı içeren bir bilgisayar (Metrabyte Corporation), reaktörlerden çıkan gazı sürekli olarak kaydetmek amacıyla kullanılmıştır. Reaktörlerden çıkan biyogaz üç kollu vanalar kullanılarak kontrol edilmektedir. Bu vanaları kontrol eden ve gelen sinyalleri bilgisayara gönderen bir vana kontrol ünitesi de mevcuttur.

Spesifik Metan Aktivitesinin Hesaplanması

Potansiyel metan üretimi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir.

$$\text{SMA (ml CH}_4\text{/gUAKM.gün)} = (\text{A} \times \text{B} \times \text{C} \times 24) / (\text{D} \times \text{E})$$

A: 1 saatteki biyogaz üretimi

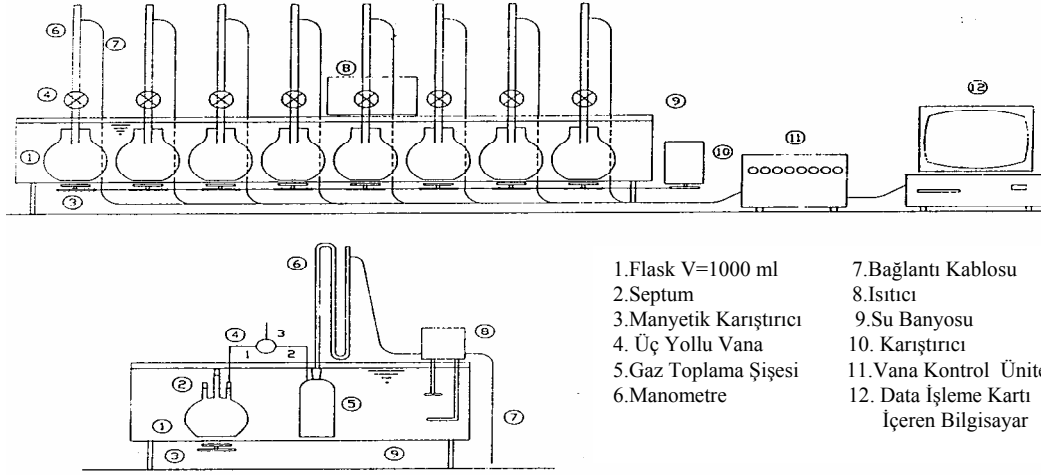
B: Biyogazın metan içeriği

C: Vana faktörü

D: SMA test reaktörünün aktif hacmi

E: SMA test reaktöründeki biyokütle konsantrasyonu (gUAKM/l)

Bir Alkollü İçki Endüstrisi Anaerobik Arıtma Sistemi Performansının Değerlendirilmesi ve Biyolojik Çamurun Karakterizasyonu



Şekil 1. SMA test ünitesi

Spesifik Metan Aktivite Test Prosedürü

Testin yürütülmesinde İnce (1993), Monteggia (1991) ve James ve diğ. (1990) tarafından önerilen adımlar izlenmiştir:

1. Teste başlamadan önce (en fazla 12 saat) teste tabi tutulacak numunedeki UAKM miktarı belirlenir.
2. Her bir reaktörde UAKM konsantrasyonu yaklaşık olarak 2000 mg/l olacak şekilde Tablo 1'deki değerler yardımıyla gerekli seyreltmeleri yapılır.
3. 1 litrelik reaktörün 900 ml'sinin aktif olması sağlanır.
4. Manometrenin içindeki su seviyesi, respirometre kullanılarak ayarlanır.
5. Reaktör içindeki sıvının pH'ı 6.8-7 arasında olacak şekilde ayarlanır.
6. Reaktörün içerisinde anaerobik şartları sağlamak gerektiğinden, reaktörün içerisinde kalan oksijeni gidermek için yaklaşık 5-10 dakika süresince besleme hattından 35-70 kN/m² basınçlı helyum yada azot gazı yıkama yapılır.
7. Yıkamadan sonra reaktöre atmosferden oksijen girişi sağlanmaması için reaktörün kapağı hemen kapatılır.
8. Reaktörlerin bulunduğu su banyosu elektrikli bir ısıtıcı ile 35°C'ye ısıtılmalıdır. Reaktörde sıcaklığın her tarafa eşit dağılması sağlanır.
9. Mikroorganizmaların yeni ortamlarına alışması için 12-16 saat beklenir.
10. Reaktör gerekli miktarda asetat ile beslenir.
11. Son kez reaktör besleme hattından helyum ya da azot gazı ile 5-10 dakika beslenir.

12. Reaktör, besleme hattından içeri hava sızmayacak şekilde kapatılır.
13. Karıştırma sistemi açılır. Her bir reaktör için saatte gözlenen devir sayısı otomatik olarak bilgisayarın belleğine kaydedilir. Daha sonra bu veriler kullanılarak SMA değerleri hesaplanır.
14. Düzenli aralıklarla herbir reaktörden 1 ml hacimli şırınga kullanılarak biogaz içindeki metan içeriği analiz edilir.

Tablo 1. Seyreltme suyu *

Bileşik	Konsantrasyon (mg/l)
KH ₂ PO ₄	2500
K ₂ HPO ₄	1000
NH ₄ Cl	1000
MgCl ₂	100
Na ₂ S.7H ₂ O	100
Maya	200

*Valcke ve Verstraete, 1983

Seyreltme suyu pH'sı 6.8 olmalıdır.

Aşı Çamuru ve Besleme Çözeltilisi

Kompleks substratın anaerobik ayrışması sırasında oluşan metan gazının yaklaşık %72'si asetik asitten geldiğinden, SMA testinde besleme çözeltisi olarak asetat kullanılmıştır (McCarty, 1964). SMA testinde 1000 mg/l, 2000 mg/l, 3000 mg/l ve 4000 mg/l asetat konsantrasyonları kullanılmıştır. 3000 mg/l asetat konsantrasyonunda maksimum asetoklastik metan aktivitesi elde edilmiştir. Anaerobik çamurun toplam katı madde (TKM) ve toplam uçucu katı madde (TUKM) konsantrasyonları sırasıyla 178 g/l ve 130 g/l olarak bulunmuştur.

Analitik Metodlar

Gaz kompozisyonu, HP 6850 model termal kondaktivite detektörlü bir gaz kromatografı (HP Plot Q Kolon 30 mx0.53 mm) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Askıda katı madde (AKM), uçucu askıda katı madde (UAKM), toplam katı madde (TKM) ve toplam uçucu katı madde (TUKM) deneyleri standart metoda göre yapılmıştır (APHA, 1992).

Mikrobiyolojik Çalışmalar

Anaerobik biyolojik çamur içerisindeki toplam populasyon ve metan tür sayılarının ve kompozisyonlarının belirlenmesi için floresan ataşmanlı ve 100 W'lık yüksek basınçlı civa lambalı Olympus BX 50 model bir mikroskop kullanılmıştır. Sayım işleminde Olympus marka 60x10 büyütme lensler kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında, hacmi bilinen spesifik bir homocitometre (Neubaur chamber) kullanılarak birim hacim ve/veya birim UAKM içerisindeki toplam populasyon, otofloresan metanojenlerin sayısı ve hakim olan türler belirlenmiştir (İnce ve diğ., 1997). Bu sayım kamarası 0.1 mm derinliğinde 1 mm²'lik alanındadır ve 5x5 kare ve herbirinde 4x4'lik 16 küçük kare içermektedir. Kesin hacmi bilinen sayım kamarası üzerine, bir damla numune konularak gerekli sayım işlemine başlanmıştır. 25 adet kareden gelişigüzel seçilen 5 tanesinde toplam populasyon sayılarak ortalaması alınmıştır. Numuneler her bir görüş alanına 100-400 arası mikroorganizma sayılacak şekilde seyreltilip homojen hale getirilmiştir. Numunenin homojenizasyonu 2500 devir/dk hızla 5-10 dakika süreyle Nova tüp karıştırıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Reaktördeki biyokütle konsantrasyonlardaki değişikliğin yapılacağı etkilerden kaçınmak için sayılan ml'ye düşen mikroorganizma yerine mg UAKM'ye düşen mikroorganizma sayısı şeklinde hesaplanmıştır (İnce ve diğ., 1995). Toplam mikroorganizma sayısının ve 1 ml içindeki metan türlerinin sayısını hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmıştır (İnce ve diğ., 1995; İnce ve diğ., 2000).

$$N=M*SF/V$$

N: Birim hacimdeki mikroorganizma sayısı

M: Herbir karedeki ortalama sayım

SF: Seyreltme faktörü

V: Alanın Hacmi

Her bir küçük karenin alanı : 1/400 mm²

Kamaranın derinliği: 0.1 mm

Herbir küçük karenin hacmi = 1/400 x 0.1 = 2.5x10⁻⁷ ml

Alan = 16 x 1/400=0.04 mm²

Herbir karenin hacmi = 0.04 mm² x 0.1 mm=4x10⁻⁶ ml

Metan türleri ultraviyole ışığı altında görülebilen floresan özelliğine sahip F420 koenzimleri içerdiğinden dolayı sayımları yapılabilir. Metan türleri morfolojilerine göre altı farklı grupta toplanabilir: kısa çubuk (0.2-0.5x3 µm), orta çubuk (0.3-0.6x6 µm), uzun çubuk (0.3-0.6x10µm), *Methanococcus*, *Methanosarcina*, filamentler (İnce, 1994).

Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörü

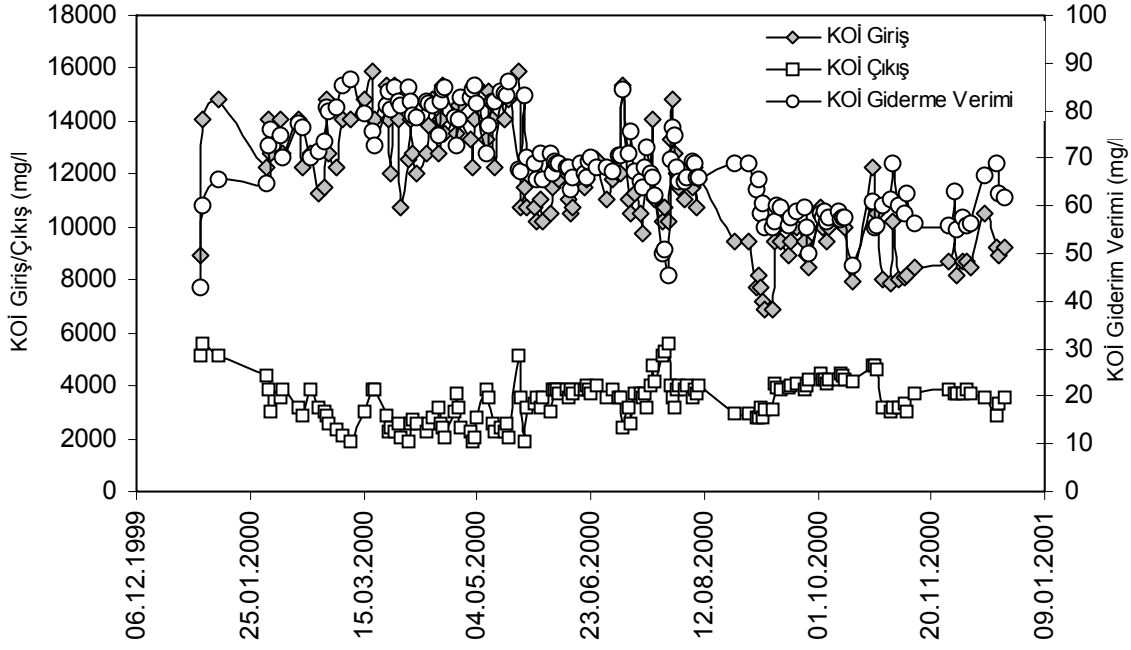
Alkollü içki endüstrisi arıtma tesisinde anason ünitesi atıksuları ve evsel atıksular arıtılmaktadır. Rakı ünitesinden gelen atıksu, yüksek kirlilik içerdiği için önce anaerobik olarak arıtılması amaçlanmıştır. İstenilen deşarj limitlerini sağlayabilmek için anaerobik arıtma sonrası iki kademeli aerobik biyolojik arıtma uygulanmıştır. Atıksu içerisinde çok yüksek miktarda bulunan anason tohumları elek vasıtasıyla ayrıldıktan sonra, pH'ı ayarlanan atıksu hızlı karıştırılmadan flokülatöre ardından ön çökeltme tankına gönderilir. Çökeltme tankının üstünden savaklanan atıksu, arıtma tesisi çıkış suyu ile karıştırılarak seyreltmenin yapıldığı ve azot ve fosfor gibi besi maddelerinin eklendiği resirkülasyon tankına geçer. Reaktörde besleme pompaları ile basılan atıksu, anaerobik reaktörün tabanından reaktör kesiti boyunca aşağıdan yukarıya doğru beslenir ve reaktör içerisinde bulunan 1.5 m yüksekliğindeki granül yatağından geçer. Bu geçiş esnasında metan fazı gerçekleşir ve oluşan biyogaz seperatörlerde toplanarak ayrılır. Biyogaz daha sonra bir borulama ile reaktör dışına alınır. Anaerobik arıtmadan çıkan atıksu, nihai arıtma için 1. ve 2. kademe aerobik arıtmaya gönderilir.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

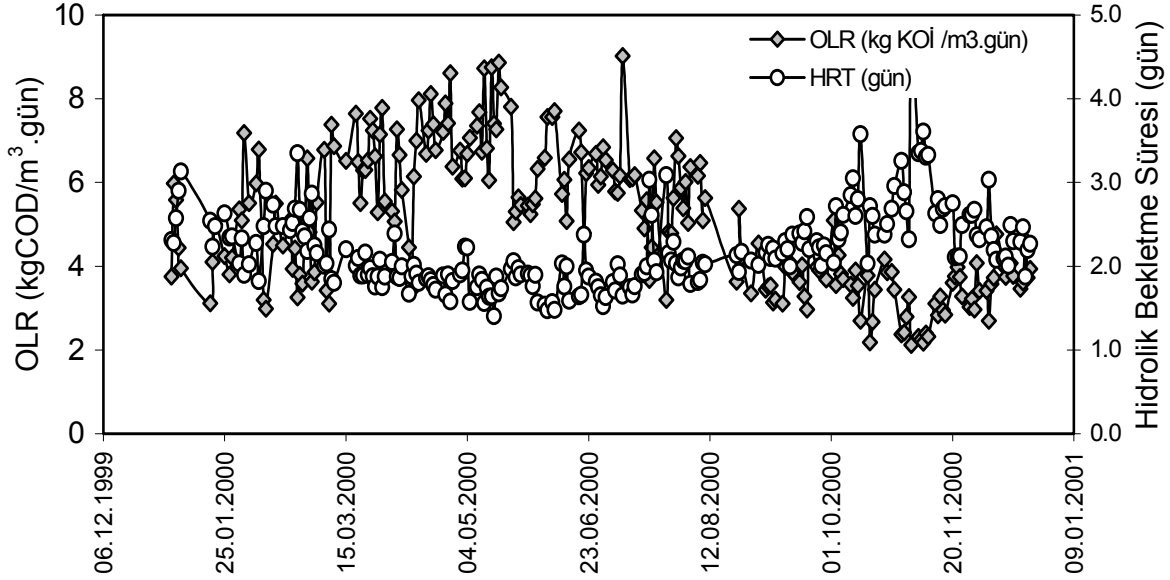
Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yatağının Performansı

2000-2001 yılları arasında KOİ giriş ve çıkış değerleri ile buna bağlı olarak KOİ giderme verimi Şekil 3'te, organik yükleme değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Sistemde KOİ giderim verimi 1 yıllık zaman aralığında bir azalma göstermiştir. Aynı zaman diliminde anaerobik reaktör daha düşük organik yükleme değerlerinde işletilmiştir.

Bir Alkollü İçki Endüstrisi Anaerobik Arıtma Sistemi Performansının Değerlendirilmesi ve Biyolojik Çamurun Karakterizasyonu



Şekil 2. Yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı KOİ giderim performansı değişimi



Şekil 3. Yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı organik yük değişimi

İlk 100 günlük dönemde, organik yükleme 7.5-8 kg KOİ/m³.gün değerinde ve %80-85 KOİ giderim verimi elde edilmesine rağmen daha sonraki işletme sürecinde organik yük kademeli olarak 2.5-3 kg KOİ/m³.gün'e kadar indirilmiş ve KOİ giderim verimi %55'e kadar düşmüştür.

Spesifik Metan Aktivite Test Sonuçları

Bu çalışmada, alkol üreten bir endüstrinin atıksularını arıtan arıtma sisteminin yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı reaktöründen alınan çamur örneğinde, SMA Testi yapılarak sistemin potansiyel yükleme kapasitesi belirlenmiştir. SMA test sonuçlarının zamana bağlı değişimi Şekil 4'te

verilmiştir. 3000 mg/l asetat konsantrasyonunda, çamurun potansiyel metan üretim hızının 376 ml CH₄/gUAKM.gün olarak bulunmuştur. Anaerobik reaktörden elde edilen GMÜ hızı 45 ml CH₄/gUAKM.gün olarak bulunmuş ve GMÜ/PMÜ oranı 0.12 olarak hesaplanmıştır. Bu oran anaerobik granül çamurun potansiyel yükleme kapasitesinin ancak %12'sinin kullandığını göstermektedir. Literatürde anaerobik reaktörlerde stabilitenin sürekliliğinin sağlanması ve istenilen sistem performansının elde edilmesi için GMÜ/PMÜ oranı 0.6-0.7 aralığında tutulması gerektiği belirtilmiştir (İnce ve diğ., 1994, 1995; Monteggio, 1991). Bu işletme koşulları altında reaktörlerde tutulan metan türlerinin potansiyel aktivitelerinde

zamanla ciddi kayıplar olabileceği ve bu duruma bağlı olarak sistem veriminin olumsuz etkilenebileceği sonucu çıkmaktadır.

Çamur numunesinin TUKM/TKM oranı %73 göz önüne alındığında ve literatürdeki benzer atıksuları arıtan anaerobik sistemlerden elde edilen PMÜ değerleri (>200 ml CH₄/gUAKM) ile karşılaştırıldığında hali hazırda işletmede bulunan anaerobik reaktörde tutulan çamurun iyi kalitede olduğu sonucu çıkarılabilir. Literatürde %100 asetoklastik metan bakterileriyle yapılan saf kültür çalışmalarında PMÜ değeri maksimum 1000 ml CH₄/gUAKM.gün bulunmuştur (Valcke and Verstraete, 1983). Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan biyolojik çamurun yaklaşık %38'ini asetoklastik metan bakterilerinin oluşturduğu söylenebilir.

Mikrobiyolojik Çalışma Sonuçları

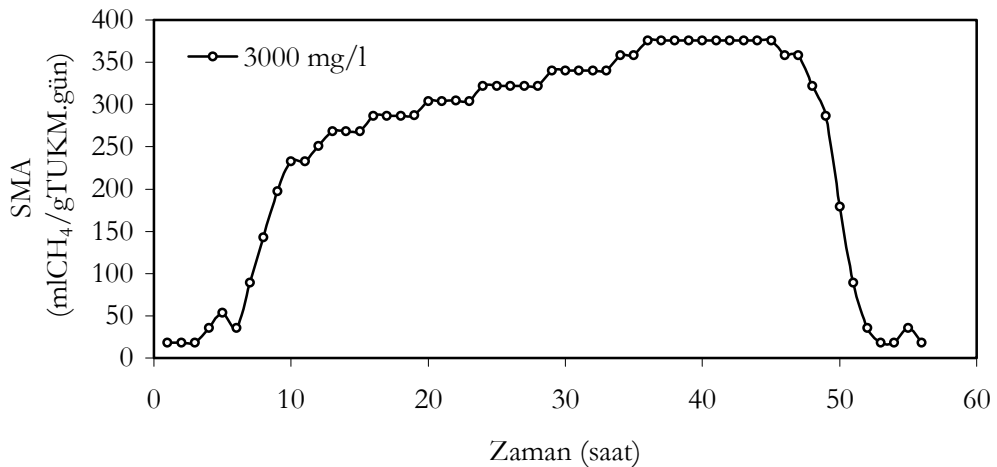
Yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı reaktöründeki etkin olan türlerin belirlenmesi amacıyla, SMA testi kullanılarak potansiyel yükleme kapasitesi belirlenen anaerobik biyolojik çamurun mikrobiyolojisi çalışılmış, direkt mikroskopik sayım yöntemi ile otofloresan metanojenlerin toplam popülasyon içerisindeki miktarı ve baskın olan otofloresan metan türlerinin morfolojisi belirlenmiştir. Şekil 5a ve Şekil 5b toplam popülasyonun ve toplam otofloresan metanojenlerin dağılımını vermektedir. Toplam bakterinin yaklaşık %25'ini otofloresan metanojenler oluşturmaktadır. Diğer araştırmacıların çalışmaları doğrultusunda toplam popülasyon içerisindeki değişimi %1-10 arasında olduğu görülmektedir (Morgan, 1991; Bellos, 1993). Ülkemizde alkollü içki endüstrisinde

işletmede bulunan diğer anaerobik reaktörlerde ise otofloresan metan türleri toplam bakteri içerisindeki yüzdesi genel olarak % 20-30 civarında bulunmuştur ve diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında bu değer yüksek olduğu görülmektedir. Yukarı akışlı anaerobik çamur yatağından alınan biyolojik çamur örneğinde morfolojik çalışma sonuçları değerlendirildiğinde, otofloresan metan bakteri özelliğine sahip baskın tür, %79 kısa çubuk, bunu takiben %20 orta çubuk, %1 uzun çubuk bakterileri olarak belirlenmiştir.

SONUÇLAR

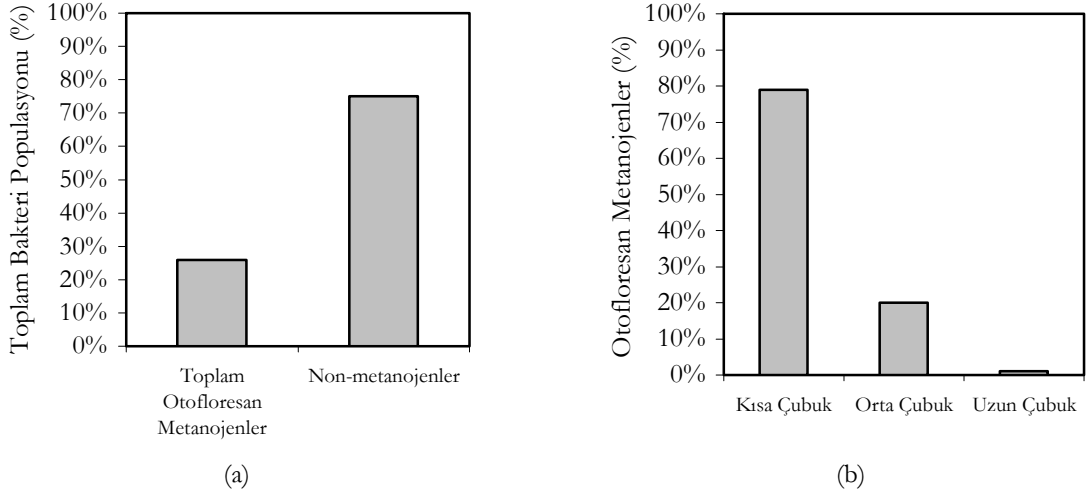
Alkollü içki endüstrisi atıksularını arıtan anaerobik arıtma tesisinden alınan granül çamur örneğinde Spesifik Metan Aktivite (SMA) Testi yapılarak, sistemin potansiyel metan üretim hızı 376 mlCH₄/gUAKM.gün ve GMÜ/PMÜ oranı 0.12 olarak bulunmuştur. Bu oran anaerobik reaktörün potansiyel yükleme kapasitesinin yalnızca %12'sinin kullandığını göstermektedir.

Anaerobik reaktörün organik yükleme değeri 8 kg KOİ/m³.gün'de KOİ giderimi %85 iken reaktörün daha sonraki işletme sürecinde 3 kg KOİ/m³.gün organik yüklemeye KOİ giderme verimi %55'e kadar düşmüştür. Bunun sonucunda anaerobik reaktörde yeterli miktarda aktif metan türlerinin bulunduğunu fakat sistemin performansının mevcut işletme koşullarından dolayı olumsuz etkilenmiş olabileceğini göstermektedir. Anaerobik granül çamur örneğinin %25'ini otofloresan metanojenler oluşturmaktadır ve baskın otofloresan metanojenler, kısa çubuk, orta çubuk ve uzun çubuklar olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. Spesifik metan aktivite test sonuçları

Bir Alkollü İçki Endüstrisi Anaerobik Arıtma Sistemi Performansının Değerlendirilmesi ve Biyolojik Çamurun Karakterizasyonu



Şekil 5. (a) Toplam populasyonun dağılımı

(b) toplam otofloresan metanojenlerin dağılımı

KAYNAKLAR

- APHA, AWWA, WPCF. (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed., American Public Health Association, Washington, DC 20005.
- İnce, O., Anderson, GK and Kasapgil, B. (1995a). Control of Organic Loading Rate Using the Specific Methanogenic Activity Test During Start-Up of an Anaerobic Digestion System. *Wat. Res.*, **29**(1): 349-355.
- İnce, O., Anderson, G.K., and Kasapgil, B. (1995b). Effect of Changes in Composition of Methanogenic Species on Performance of a Membrane Anaerobic Reactor System Treating Brewery Wastewater. *Environ. Technol.*, **16**: 901-914.
- İnce, O., Anderson, G. K., and Kasapgil, B. (1997). Composition of the Microbial Population in a Membrane Anaerobic Reactor System During Start-up. *Wat. Res.*, **31**(1): 1-10.
- İnce, O., İnce, B., and Yenigun, O. (2001). Determination of Potential Methane Production Capacity of a Granular Sludge from A Pilot-scale Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor Using A Specific Methanogenic Activity Test. *J. Chem. Tech. and Biotec.*, **76**: 573-578.
- İnce, O., Karadede O., Oz N., Kasapgil İnce B., Koluçırık M. (2002). An Investigation into Full-Scale UASB Reactor Treating an Alcohol Distillery Effluent In Terms of Performance, Acetoclastic Methanogenic Capacity and Microbial Composition. *Bildiriler Kitabı, ISWA*.
- McCarty, P.L. (1964). Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. *Public Works*, **1**, 95:107-112.
- Monteggia, L. (1991). The Use of a Specific Methanogenic Activity Test Controlling Anaerobic Reactors. PhD Thesis, The University of Newcastle upon Tyne.
- Valcke D. and Verstraete W. (1983). A Practical Method To Estimate the Acetoclastic Methanogenic Biomass in Anaerobic Reactors. *J. WPCF*, **55**: 1191-1195.