



**Research Article / Araştırma Makalesi**

**INVESTIGATION OF BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL AND  
ADAPTATION TO CATTLE MANURE OF ANAEROBIC FLOCULAR  
SLUDGE SEED**

**Fatih TUFANER\*<sup>1</sup>, Yaşar AVŞAR<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ADIYAMAN

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Esenler-İSTANBUL

**Received/Geliş: 11.10.2016 Accepted/Kabul: 02.11.2016**

**ABSTRACT**

In this study, investigation of biogas production potential and adaption to cattle manure (CM) of flocular sludge seed that was supplied from the wastewater treatment plant digester. The study was carried out with five laboratory scale anaerobic reactors and two bottles of 6.15 L and 1.5 L capacity, respectively. According to the results of the study, adaptation to CM of sludge seed has been realized within a short time such as 3-5 days. It was obtained that biogas production of sludge seed of 3 L was 7 L as a cumulative in 31 days. During this process, an average of about 17 L biogas production has been observed to the volume of the reactors at 6.15 L. Methane production is obtained about 0.35 L CH<sub>4</sub>/g COD<sub>removal</sub>. According to these data, flocular sludge seed was found to be a suitable seed for the system which established for the purpose of anaerobic digestion of CM.

**Keywords:** Anaerobic digestion, cattle manure, flocular sludge seed, biogas production.

**ANAEROBİK FLOKÜLER AŞI ÇAMURUNUN BÜYÜKBAŞ HAYVAN GÜBRESİNE  
ADAPTASYONU VE BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ†**

**ÖZ**

Bu çalışmada atıksu arıtma tesisi çamur çürütücülerinden temin edilen floküler aşı çamurunun büyükbaş hayvan gübresi (BBHG) atıklarına adaptasyonu ve biyogaz üretim potansiyeli incelenmiştir. Çalışma 5 adet 6.15 L laboratuvar ölçekli anaerobik reaktör ve 2 adet 1.5 L pet şişe ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre 3-5 gün gibi kısa bir süre içerisinde aşı çamurunun BBHG'ne adaptasyonu gerçekleşmiştir. 3 L aşı çamurunun 31 gün süre içerisinde toplamda 7 L biyogaz ürettiği hesaplanmıştır. Bu süreç içerisinde 6.15 L hacmindeki reaktörlerde ise ortalama yaklaşık 17 L biyogaz üretiminin gerçekleştiği tespit edilmiştir. Giderilen gr KOİ başına 0.35 L CH<sub>4</sub> üretimini gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Bu verilere göre BBHG'nin anaerobik çürütülmesi amacıyla kurulacak sistemler için floküler aşı çamurunun uygun bir aşı olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Anaerobik çürütme, büyükbaş hayvan gübresi, floküler aşı çamuru, biyogaz üretimi.

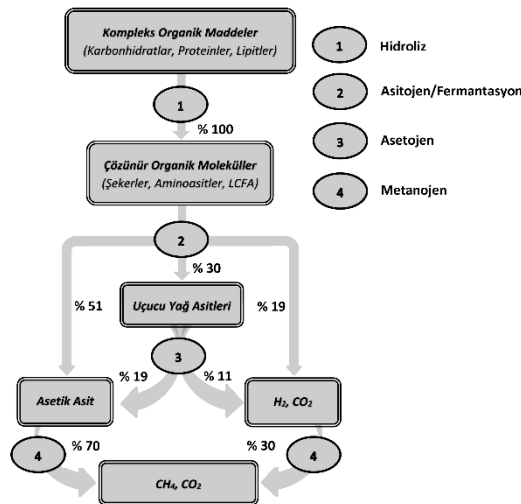
\* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: ftufaner@adiyaman.edu.tr, tel: (416) 223 38 09 / 2739  
Doktora Öğrencisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

† Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Fatih TUFANER tarafından Doç. Dr. Yaşar AVŞAR'ın danışmanlığında yürütülen, "Büyükbaş Hayvansal Atıkların Biyometanizasyon Süreçlerinin İyileştirilmesinin Araştırılması (Investigation of Improving Biomethanization Processes of Cattle Manure)" adlı doktora tezinden türetilmiştir.

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Anaerobik Biyoteknoloji

Anaerobik arıtma, organik atıkların oksijensiz ortamda biyolojik süreçlerle parçalanmak suretiyle,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$  ve  $H_2S$  gibi son ürünlere dönüştürülmesi olarak tanımlanmaktadır [1]. Kompleks organik maddelerin anaerobik ayrışması en genel halde dört safhada gerçekleşir. Bunlar; yüksek molekül ağırlıklı katı ve çözülmüş organik maddelerin hidrolizi, düşük molekül ağırlıklı maddelerin asit bakterilerince asetik asit, propyonik asit ve bütirik asit gibi iki karbonludan büyük uçucu yağ asitlerine, alkollere,  $CO_2$  ve  $H_2$ 'ye dönüştürülmesi, karmaşık yapıdaki fermentasyon ürünlerinin asetik asit,  $CO_2$  ve  $H_2$ 'ye dönüştürülmesi ve asetik asit,  $H_2$  ve  $CO_2$ 'den metan üretimi şeklinde sıralanabilir. Şekil 1'de kompleks organik maddelerin anaerobik ayrışması esnasında izlediği dört temel yol gösterilmiştir.



Şekil 1. Kompleks organik maddelerin anaerobik ayrışması esnasında izlediği dört temel yol [2], [3]

Anaerobik sürecin ilk safhası olan hidroliz hücre dışı enzimlerle gerçekleşen yavaş bir süreçtir. Anaerobik mikroorganizmalar partikül ya da çözülmüş haldeki karbonhidrat, protein ve lipit gibi substratları direkt olarak kullanamazlar. Bu nedenle bu organiklerin daha küçük moleküllere parçalanması gerekmektedir. Enzimatik parçalanma neticesinde karbonhidrat, protein ve lipitlerden sırasıyla monosakkaritler, aminoasitler ve uzun zincirli yağ asitleri (LCFA) oluşmaktadır [4].

Hidroliz ürünlerinin dönüşümü bakteri hücresinde gerçekleşmektedir. Fermentasyonun adımları mikroorganizmaların ve substratın varlığına bağlıdır. Asitojenler metanojenlere göre daha hızlı büyümekte ve pH düşüşüne karşı daha az hassastırlar [5]. Genel olarak, asitojenik (fermantatif) mikroorganizma popülasyonu anaerobik çürütücüdeki toplam mikrobiyal popülasyonun yaklaşık %90'ını oluşturmaktadır [6]. Bu mikroorganizmalar çok hızlı üremektedir ve bu nedenle asitojenik bakteriler anaerobik sistemler için sınırlayıcı olarak kabul edilmezler [7].

Asetojen safhasında, daha karmaşık yapıya sahip indirgenmiş fermentasyon ara ürünleri asetik asit,  $CO_2$  ve  $H_2$ 'ye dönüştürürler. Aslında asitojen ile asetojen safha arasında açık bir ayrım yoktur [8]. Alkoller ve uzun zincirli yağ asitleri gibi fermentasyon ara ürünlerinin dönüşümü

standart koşullar altında mümkün değildir. Reaksiyonların sürdürülebilmesi için simtrofik mikrobiyal ilişkisinin olması gereklidir. H<sub>2</sub> üretimi arttuğında, ortamda H<sub>2</sub> tüketen mikroorganizmaların (sülfat indirgeyen bakteriler, metanojenler) anaerobik ortamda bulunması oldukça önemlidir. Bu şekilde, anaerobik proseste H<sub>2</sub>'nin kısmi basıncı kontrol altına alınmış olur [1].

Metanojenik safha CH<sub>4</sub> üretiminin gerçekleştiği oldukça yavaş bir süreçtir. Metan, asetik asitin parçalanması ile %70 ve/veya H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'nin sentezi sonucu %30 oranında oluşur. H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> kullanan bakteriler asetik asit kullananlara göre çok daha hızlı çoğalmaktadır [1]. Metan üretimi havasız süreçte genelde hız sınırlayıcıdır [1], [9], [10], ancak bazen bu safha hidroliz safhasıdır [1]. Eğer hidroliz safhası kolay ve hızlı gerçekleşirse, metanojen bakterilerinin büyüme hızı asitojen bakterilerinin büyüme hızından yavaş olduğu için metanojen safhası sınırlayıcı olacaktır [11].

## **1.2. Anaerobik Sistemlerin İşletmeye Alınması**

Anaerobik proseslerde sistemin işletmeye alınması önemli bir süreçtir. Bu süreçte hedeflenen organik yük ve/veya biyokütle konsantrasyonu, reaktördeki aşu çamuru oranı, biyokütle birikimi, organik maddelerin biyokütlele dönüşümü sistemin işletmeye alınmasını etkileyen faktörlerdir [1]. Sistemin devreye alınmasında aşu miktarı ve özellikleri, organik maddelerin bileşimi ve tamponlama kapasitesi, hidrolik bekleme süresi, geri devir oranı kontrol parametreleridir [12].

Anaerobik sistemlerin işletmeye alınması uzun sürebilmektedir. Esas problem artılacak atığa göre mikroorganizma topluluğunun sağlanabilmesidir. Uygun nitelikte bir mikroorganizma topluluğu (aşu çamuru) olması durumunda ise bu süreç oldukça kısalmaktadır. İstenilen özellikte bir aşu çamuru temin edilememiş ise atıksu arıtma tesisi anaerobik çürütücülerden veya İmhoff tankından alınan çamurla ve hayvan gübresi ile aşılama yapılabilir. Metan bakterilerinin çoğalma hızı düşük olduğundan bu süreç uzayabilmektedir. İşletmeye alma sürecinin kısılması için sistemden mikroorganizma kaçışının önlenmesi gerekmektedir. Bu maksatla geri devir yapılmakta ya da ultrafiltrasyonla tutulan biyokütle reaktöre beslenebilmektedir [1].

Esas olarak kesikli ve sürekli olmak üzere iki şekilde aşılama yapılabilir. Kesikli aşılama reaktörün belirli bir hacmi (3'te 2 sine kadar olabilir) aşu çamuru ile doldurulur. Daha sonra kalan hacme artılacak atık doldurularak reaktöre her gün belirli hacimde atık ilave edilmek suretiyle aşının atığa alması ve reaktörde biyokütle oluşması sağlanır. Sürekli aşılama yönteminde ise birkaç hafta boyunca aşu ilavesi yapılan artılacak besleme sıvısı sabit bir debi ile reaktöre beslenir. Anaerobik tesisi daha hızlı işletmeye almak mümkün olmasına rağmen çok miktarda aşu çamuru ihtiyacı olduğu için büyük tesislerde uygulanması pratik olmamaktadır [1].

Bu çalışmada anaerobik sisteme beslenen aşu çamurunun biyogaz potansiyeli ve büyükbaş hayvan gübresine adaptasyonu incelenmiştir. Bu süreç ile anaerobik reaktörler işletmeye hazır hale getirilmiştir. Ayrıca aşu kaynaklı üretilen biyogaz miktarı belirlenerek besleme yapılan atıktan üretilen biyogaza artı hata oluşturmasını engellemek için yeni bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır.

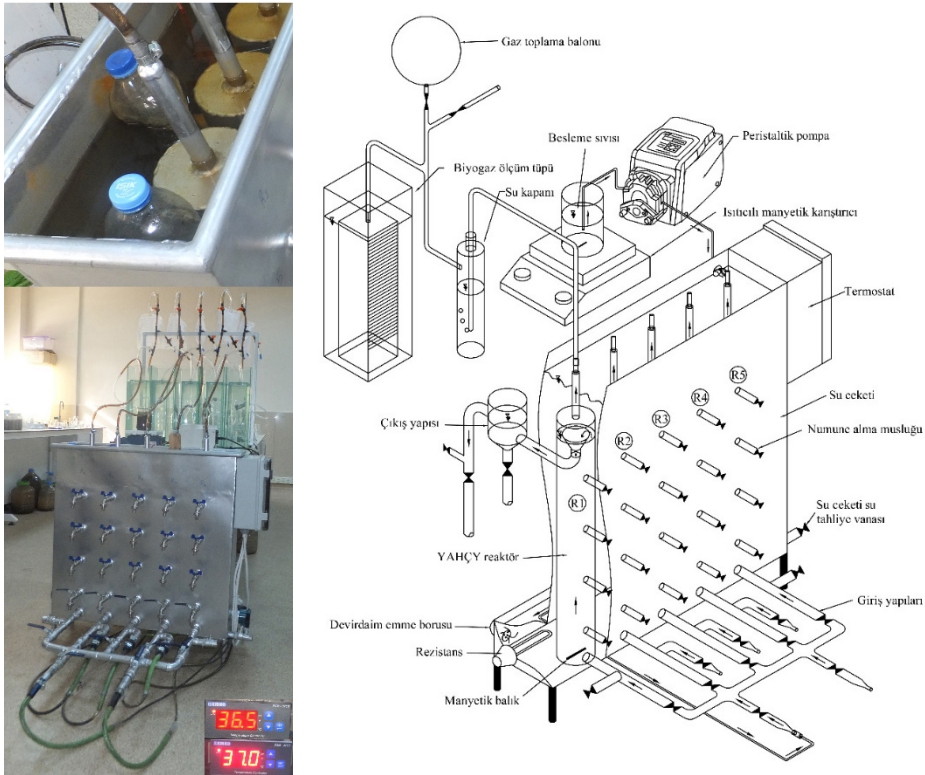
## **2. MATERYAL VE METOT**

Bu çalışma, 304 kalite krom malzemeden yapılmış 5 adet 6.15 L aktif hacme sahip laboratuvar ölçekli yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktörler (YAHÇYR) ve iki adet 1.5 L hacimli pet şişe ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan deney düzeneğinin resmi ve şematik gösterimi Şekil 2'de gösterilmiştir.

Reaktörlerde kullanılan aşu çamuru Gaziantep Atıksu Arıtma Tesisi anaerobik çamur çürütme tankları çıkışından temin edilmiştir. Çizelge 1'de çalışmada kullanılan aşu çamurunun genel karakterizasyonu verilmiştir. Aşu çamuru temin edildikten sonra 5-6 saat içerisinde reaktörlere beslenmiştir. Aşu çamurlarının biyogaz üretim aktivitesi hiç besleme yapılmaksızın 1.5 L hacimli

pet şişeler ile takip edilmiştir. 1500 ml hacmindeki iki pet şişeye 900'er ml aşı çamuru konulmuş ve pet şişeler içerisindeki hava tamamen boşaltılarak 36.5-37°C sıcaklık aralığına sahip su ceketine içerisinde bırakılmıştır. 1500 ml hacimdeki pet şişelerin biyogaz dolan hacmi (600 ml) dolun günü sayısına bölünerek ortalama günlük biyogaz üretim değerleri bulunmuştur.

Laboratuvar ölçekli YAHÇYR sisteminin BBHG'ne adaptasyonu için TKOİ değeri yaklaşık 10.000 mg/L olan 6.15 L BBHG 11 gün boyunca 36.5-37°C'de anaerobik şartlar için uygun hale getirilmiş olan reaktörler içerisinde bekletilmiştir. Anaerobik aşı temininden sonra reaktör içerisine daha önce beslenen BBHG karışımının yaklaşık 3'er L'si reaktör dışına alınmıştır. Temin edildiği gün bir miktar sulandırılarak 1 mm gözenek çapına sahip elekten geçirilen flokülere aşı çamuru her bir reaktöre tekrar yaklaşık 3'er L olacak şekilde beslenmiştir. Daha sonra aşının 31 gün boyunca BBHG'ne adaptasyonu sağlanmıştır. Aş çamurunun reaktörlere adaptasyon periyodunun 10. gününde TKOİ değeri 10000 mg/L olan 500'er ml BBHG beslemesi yapılmıştır.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan deney düzeneğinin resmi ve şematik görünümü

Biyogaz hacim ölçümleri her gün aynı saatlerde okunmuştur. Bunun uygulanmadığı bazı istisna durumlarda mevcut biyogaz üretimi geçen saate bölünüp 24 saat ile çarpılarak günlük biyogaz üretim miktarı bulunmuştur.

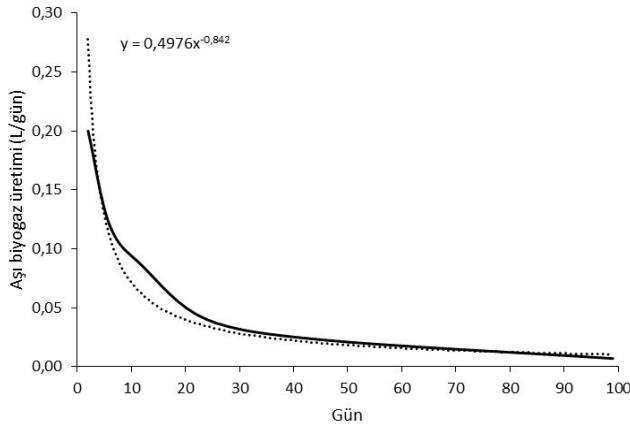
**Çizelge 1.** Reaktörlerde kullanılan floküler aşı çamurunun genel karakterizasyonu

Parametreler	Floküler Aşı Çamuru
TKM (%)	4.01
UKM (%)	3.13
mg KOI/g TKM	807
mg TKN/g TKM	47.2
mg NH <sub>3</sub> -N/g TKM	16.6
mg TP/g TKM	77.7
mg PO <sub>4</sub> -P/g TKM	0.8

### 3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

#### 3.1. Aşı Çamuru Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi

Pet şişelerin 600 ml'lik boş olan hacmi 3, 8, 15, 32, 57 ve 141. günlerin sonunda biyogaz ile dolmuştur. Dolum zamanının yaklaşık ortası olan 2, 6, 12, 24, 45 ve 99. günlerde ortalama günlük biyogaz üretiminin gerçekleştiği kabulüyle aşı çamurunun biyogaz üretimi aktivitesi hesaplanmıştır. Şekil 3'te 900 ml aşı çamurunun biyogaz üretim aktivitesi en iyi eğri ve denklemi ile beraber gösterilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde 20. gün sonunda günlük biyogaz üretiminin 4 kat düştüğü ve 31. günün sonunda 900 ml aşı çamurunun 28 ml/gün biyogaz ürettiği hesaplanmıştır. Ayrıca reaktörün tamamıyla (6.15 L) anaerobik floküler aşı çamuru ile doldurulduğu kabul edilirse 900 ml aşı çamurunun maksimum biyogaz üretimine göre (0.2 L/gün) günde maksimum 1.37 L biyogaz üretiminin gerçekleşebileceği hesaplanmıştır. Reaktörlere 3 L aşı çamuru beslemesi yapıldığına göre 31. günün sonunda her bir reaktörde aşı kaynaklı olarak yaklaşık 92 ml/gün biyogaz üretilebileceği hesaplanmıştır. Bu değer gün geçtikçe önemli ölçüde düştüğünden çalışmanın devam ettirilmesi durumunda aşı kaynaklı biyogaz üretiminin ihmal edilebilir düzeylere düştüğü belirlenmiştir.

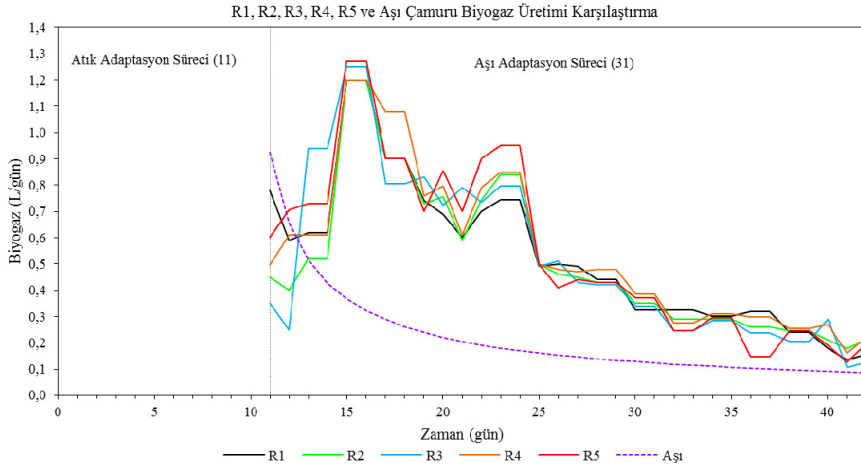
**Şekil 3.** Aşı çamuru (900 ml) biyogaz üretim aktivitesinin takibi

#### 3.2. Anaerobik Floküler Aşı Çamurunun BBHG'ne Adaptasyonu

Aşı çamurunun biyogaz üretim potansiyelini en iyi temsil eden eğrinin denklemine göre reaktörlere beslenen 3 L aşı çamurunun biyogaz üretimi hesaplandığında her bir reaktörün

biyogaz üretimi ve bu üretime aşı çamurunun yaklaşık katkısı Şekil 4’te gösterilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde 0.3-0.8 L/gün biyogaz üretimi ile başlayan aşı çamuru biyogaz üretimi 15. güne kadar yükselmiş, 15 ve 16. günlerde ise 1.2 L/gün seviyelerinde olan biyogaz üretimi gün geçtikçe düşmeye başlamıştır. Biyogaz üretimindeki düşüşün substrat azalmasından kaynaklandığını teyit etmek maksatlı 21. günde yapılan TKOİ değeri 10000 mg/L olan 500 er ml atık besleme sonrasında biyogaz üretiminde yaklaşık 0.2 L/gün civarında bir artış ile bu endişe doğrulanmıştır. Devam eden süreçte günlük biyogaz üretimi düşüşe devam ederek 42. günün sonunda 0.02 L/gün seviyelerine düşmüştür. Atığın 11 gün boyunca anaerobik şartlarda bekletilmesi ile beraber aşı beslemesinin yaklaşık 4. gününde aşının BBHG’ne adapte olduğu düşünülmektedir. Aşı beslemesinden sonra adaptasyonun kısa sürmesinde atığın anaerobik şartlarda bekletilmesiyle sistemi sekteye uğratabilecek oksijen varlığı ya da sıcaklık değişimi vb. önemli anaerobik işletme unsurlarının kontrol altına alınmasının etkisinin de olduğu düşünülmektedir.

Reaktörlerde ve pet şişelerde anaerobik şartlar sağlandığı sürece atık besleme yapılmamasına rağmen biyogaz üretiminin uzun süreler devam ettiği gözlemlenmiştir. Biyogaz üretimindeki devamlılığın zor parçalanmış atıklardan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

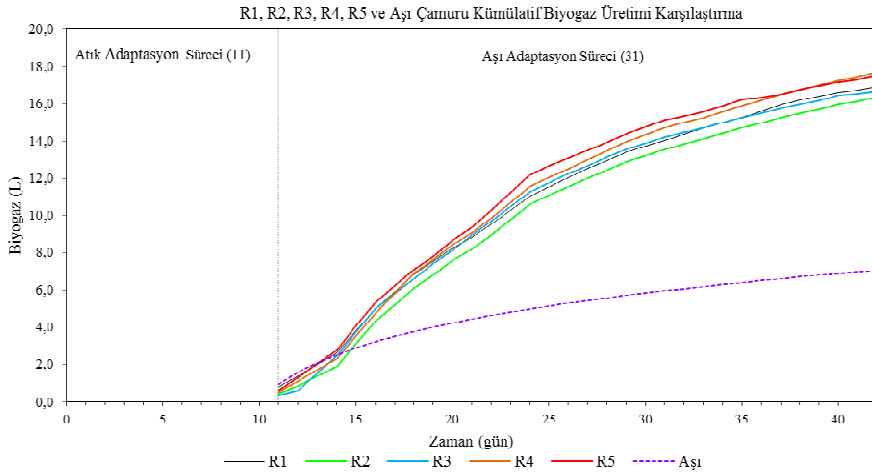


Şekil 4. Reaktörlerin biyogaz üretim aktivitesinin takibi

Aşı çamurunun BBHG’ne adapte olduğunun diğer bir göstergesi de reaktörlerde aşı çamurunun biyogaz üretim seviyesinin üzerinde bir biyogaz üretiminin gerçekleşmiş olmasıdır. Şekil 5 incelendiğinde reaktörlerin ve aşı çamurunun kümülatif biyogaz üretimi görülmektedir. Buna göre reaktörlerde kümülatif olarak biyogaz üretiminin ortalama yaklaşık 17 L olduğu tespit edilmiştir. 3 L aşı çamurunun kümülatif biyogaz üretimi ise 900 ml aşı çamuru biyogaz üretimi takibinden elde edilen denkleme göre;

$$y=0.4976x^{-0.842} \quad (1)$$

yaklaşık 7 L olarak hesap edilmiştir.



Şekil 5. Kümülatif biyogaz üretimi

Reaktör içerisindeki organik madde miktarı TKOİ olarak değerlendirildiğinde:

- %4.01 TKM ve 807 mg TKOİ/g TKM içeriğe sahip aşı çamurundan yaklaşık 97gr TKOİ
- Reaktör içerisinde bulunan 10000 mg/L TKOİ konsantrasyonuna sahip 3.15 L BBHG yaklaşık 31.5 gr TKOİ
- 21. günde beslenen yaklaşık 10000 mg/L TKOİ konsantrasyonuna sahip 500 mL BBHG yaklaşık 5 gr TKOİ
- Besleme ile beraber reaktör çıkışından alınan yaklaşık 4000 mg/L TKOİ konsantrasyona sahip 500 mL reaktör çıkış suyu yaklaşık 2 gr TKOİ değerine sahiptir.

Buradan reaktör aktif hacminde toplamda yaklaşık (97+31.5+5-2) 131.5 gr TKOİ bulunmaktadır. Adaptasyon çalışmaları sonunda reaktörlerin içerisinde ortalama yaklaşık 100 gr TKOİ bulunduğu belirlenmiştir. Bu verilere göre toplam giderim 31.5 gr TKOİ olmuştur.

1 mol CH<sub>4</sub>'ın oksidasyonu için 2 mol (64 gr) O<sub>2</sub> gerekmektedir. Bu durumda standart şartlarda giderilen 1 g KOİ başına 0.35 L CH<sub>4</sub> üretilebilmektedir. Bu miktar, 35°C sıcaklık ve 760 mm Hg basıncında 0.395 L CH<sub>4</sub>/g KOİ<sub>gid.</sub>'e karşı gelmektedir [1]. Mudunge [13] kararlı durumlarda anaerobik sistemlerdeki KOİ kütle dengesini;

$$KOİ_{giriş} \cong KOİ_{çıkış} + KOİ_{CH_4} \quad (2)$$

olarak ifade etmiştir. Çalışmada reaktörlere kesikli besleme yapıldığından KOİ dengesini;

$$KOİ_{giderilen} \cong KOİ_{CH_4} \quad (3)$$

olacaktır. Üretilen biyogazın %65 oranında CH<sub>4</sub> içerdiği kabulü yapıldığında toplamda 11.05 L CH<sub>4</sub> üretiminin gerçekleştiği hesaplanmıştır. Bu verilere göre (11.05/31.5) 0.35 L CH<sub>4</sub>/ g KOİ<sub>giderilen</sub> sonucu ile literatür değerlerine yakın bir değer bulunmuştur. Bu değerlere göre aşı çamurunun BBHG'ne adaptasyonunun başarılı bir şekilde gerçekleştiği düşünülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada anaerobik floküler aşı çamurunun 11 gün süre ile anaerobik şartlarda bekletilen BBHG'ne 3-5 gün gibi kısa bir süre içerisinde adapte olduğu belirlenmiştir. Aşı çamurunun besleme yapılmaksızın günlük biyogaz üretiminin 20 günde yaklaşık 4 kat düştüğü, 31 günün sonunda ise başlangıçtaki biyogaz üretimin yaklaşık %14'üne düştüğü tespit edilmiştir.

Reaktörlere substrat beslemesi yapılmaya dahi uzun süre biyogaz üretiminin gerçekleştiği görülmüştür. Reaktörlere belenen aşı çamurunun 31 günlük kümülatif biyogaz üretiminin yaklaşık 7 L olduğu hesaplanmıştır. Bu süreç içerisinde reaktörlerde ortalama toplamda yaklaşık 17 L biyogaz üretimi gerçekleşmiştir. KOİ kütle dengesi hesaplamalarına göre yaklaşık 0.35 L CH<sub>4</sub>/g KOİ sonucu ile literatür değerlerine yakın bir değer bulunması aşı çamurunun BBHG'ne önemli ölçüde adapte olduğunu göstermiştir. Bu verilere göre atıksu arıtma tesisi çürütücülerindeki flokülür aşı çamurunun BBHG ile işletilecek anaerobik sistemler için uygun bir aşı olduğu görülmüştür.

### Acknowledgement / Teşekkür

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi MÜFBAP2013-0001 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir. Araştırmanın sorumlu yazarını BİDEB 2211 C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurtiçi Doktora Burs Programı kapsamında destekleyen TÜBİTAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Ayrıca değerli önerilerinden dolayı hocamız sayın Prof. Dr. M. Talha Gönüllü'ye teşekkür ederiz.

### REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Öztürk, İ., “Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları”, Genişletilmiş 2 Baskı, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2007.
- [2] Carty, M. and Perry, L., “Anaerobic Waste Treatment Fundamentals, Part One: Chemistry and Microbiology”, Public works, 95 (9): 107-112, 1964.
- [3] Neves, L., “Anaerobic Co-Digestion of Organic Wastes”, Phd Thesis, Doctorate in Chemical and Biological Engineering, Universidade do Minho, 2009.
- [4] Batstone, D.J., Keller, J., Angelidaki, I., et. al., “Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1)”, IWA publishing, London, 2002.
- [5] Cohen, A., Breure, A., Van Andel, J. et. al., “Influence of Phase Separation on the Anaerobic Digestion of Glucose—I Maximum COD-Turnover Rate During Continuous Operation”, Water Research, 14 (10): 1439-1448, 1980.
- [6] Zeikus, J., “Microbial populations in digesters”, First International Symposium on Anaerobic Digestion, London, (1980), 61-89.
- [7] Mosey, F., “Mathematical Modelling of the Anaerobic Digestion Process: Regulatory Mechanisms for the Formation of Short-Chain Volatile Acids from Glucose”, Water Science & Technology, 15 (8-9): 209-232, 1983.
- [8] Fox, P. and Pohland, F.G., “Anaerobic Treatment Applications and Fundamentals: Substrate Specificity During Phase Separation”, Water Environment Research, 66 (5): 716-724, 1994.
- [9] Fang, H., Chui, H.-K. and Li, Y.-Y., “Anaerobic Degradation of Butyrate in a UASB Reactor”, Bioresource Technology, 51 (1): 75-81, 1995.
- [10] Huang, J.S., Jih, C.G., Lin, S.D. et. al., “Process Kinetics of UASB Reactors Treating Non-Inhibitory Substrate”, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 78 (7): 762-772, 2003.
- [11] Rozzi, A., “Alkalinity Considerations with Respect to Anaerobic Digesters”, Proceedings 5th Forum Applied Biotechnology. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent, (1991), 1499-1514.
- [12] Bonastre, N. ve Paris, J.M., “Survey of Laboratory, Pilot, and Industrial Anaerobic Filter Installations”, Process Biochemistry, 24 (1): 15-20, 1989.
- [13] Mudunge, R., “Comparison of an Anaerobic Baffled Reactor and a Completely Mixed Reactor: Start-up and Organic Loading Tests”, Yüksek Lisans Tezi, School of Chemical Engineering, University of Natal, 2000.