



Research Article / Araştırma Makalesi
ANAEROBIC DIGESTION OF CATTLE MANURE

**Tamer COŞKUN^{*1}, Neslihan MANAV¹, Eyüp DEBİK¹, M. Sinan BİNİCİ²,
Ceren TOSUN², Ebru MEHMETLİ², Ahmet BABAN²**

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Esenler-İSTANBUL

²TÜBİTAK-MAM, Çevre Enstitüsü, Gebze-KOCAELİ

Received/Geliş: 31.08.2009 Revised/Düzeltilme: 12.02.2010 Accepted/Kabul: 09.07.2010

ABSTRACT

Although cattle manures have long been used as compost and/or as fuel, these small scale applications are not enough to completely get rid of cattle manures. For this reason, this study focused on the anaerobic digestion of cattle manures. In this context, two reactors were operated with wastes of 5% of solids content. One of the reactors was operated in mesophilic range (35°C) while the other was operated in thermophilic range (55°C). Both reactors were operated at a hydraulic retention time of 20 days and 40 days. The performance of the processes were evaluated in terms of TSS, VSS, *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* removals and methane content in biogas.

Keywords: Anaerobic digestion, cattle manure, methane, biogas.

BÜYÜKBAŞ HAYVAN ATIKLARININ ANAEROBİK ÇÜRÜTÜLMESİ

ÖZET

Ülkemizde büyükbaş hayvan atıkları eskiden beri gübre ve/veya yakıt olarak kullanılmasına karşın küçük çaptaki bu uygulamalar büyükbaş hayvan atıklarının tamamının bertarafı için yeterli olamamaktadır. Bu sebeple çalışmada, büyükbaş hayvan atıklarının bertarafı amacıyla havasız çürütme yönteminin kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla çalışmada mezofilik (35°C) ve termofilik (55°C) olmak üzere iki adet havasız çürütücü kullanılmış olup, her iki reaktörde de %5 katı madde beslemesi ile çalışılmıştır. Ayrıca yine her iki reaktörde 20 gün ve 40 gün olmak üzere iki hidrolik bekletme süresinde çalışılmış ve proses performansı TKM, UKM, *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, biyogaz ve metan içeriği sonuçları kullanılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Havasız çürütme, büyükbaş hayvan atığı, metan, biyogaz.

1. GİRİŞ

Ülkemizde gün geçtikçe büyükbaş hayvan sayısında artış meydana gelmekte ve bu durum her geçen gün büyükbaş hayvan atık miktarının artmasına sebep olmaktadır. Özellikle hayvancılığın yapıldığı bölgelerde bu atıklar büyük sorun teşkil etmekte ve o bölgede yaşayan bölge halkı için tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle büyükbaş hayvan atıklarının bertarafı her geçen gün önem kazanmakta ve bunun için çözüm yolları araştırılmaktadır. AB ülkelerinde büyükbaş hayvan

*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: tcoskun@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 53 79

atıklarının bertarafı maksadıyla havasız çürütme prosesleri yaygın olarak kullanılmakla beraber ülkemizde yeterince yaygın değildir.

Temel olarak anaerobik arıtma yüksek yoğunluklu organik maddelerin hidroliz olarak küçük yoğunluğa sahip organik maddelere dönüşümü, düşük yoğunluklu organik maddelerin asit bakterilerince asetata dönüştürülmesi ve metan bakterileri tarafından asetat, CO₂ ve H₂'den metan üretimi olmak üzere üç safhada gerçekleşmektedir.

Hidroliz safhası hücre dışı enzimlerin gerçekleştirdiği bir proses olduğundan enzimlerin çalışma şartlarını etkileyen faktörler bu safhanın hızını da etkiler. Hidroliz safhasının hızını etkileyen faktörler ortam pH'ı, sıcaklığı ve en önemlisi hidrolik bekletme süresidir.

Büyükbaş hayvan gübreleri, içerisinde kompleks organik maddeleri içeren problemli atıklar olduğundan büyükbaş hayvan atıkları anaerobik olarak çürütülürken zaman zaman hidroliz safhasında problemler yaşanabilmektedir. Bu sebeple atık içerisindeki kompleks organik maddelerin anaerobik arıtma geçilmeden önce hidrolize edilmesi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır [1,2,3,4,5].

Hayvan atıklarının anaerobik çürütülmesini etkileyen faktörler şu şekilde sıralanabilir: (1) katı ve hidrolik bekletme süresi, (2) pH ve alkalinite, (3) iz element ve nütrientlerin mevcudiyeti, (4) sıcaklık, (5) atıktaki toksik bileşenler, (6) C/N oranı ve (7) sulandırma oranı. Büyükbaş hayvan gübresinin anaerobik olarak çürütülmesi ile ilgili çalışmalar genellikle hidrolik bekletme süresi ve sıcaklığın etkisi üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Anaerobik çürütücüler için yeterli bekletme süresi, uçucu katı maddelerin parçalanması için gereken süredir. Büyükbaş hayvan gübrelerinin çözünür ve çözünmez organik maddeleri içeren kompleks yapıları ve yüksek amonyak konsantrasyonları, çürütülmeleri için gereken bekletme sürelerinin uzun olmasına sebep olmaktadır [6,7,8]. Hayvan atıklarının anaerobik çürütülmesinde yüksek sıcaklıklar gerek giderme veriminin gerekse gaz miktarının artmasına sebep olmaktadır [2,9,10]. Bununla birlikte sıcaklık dalgalanmalarının verimi düşürdüğü de çalışmalarda ifade edilmiştir [6].

Büyükbaş hayvan atıklarının anaerobik çürütülmesinde nütrient ilavesinin metan üretimi ve KOİ giderim verimine olumlu etkisi olabilmektedir [9].

Hayvansal gübrelerde katı madde muhtevası yaklaşık olarak %15–20 civarında olup, bakterilerin ortamdaki substrattan tam olarak faydalanabilmeleri için katı muhtevasının yaklaşık %9 civarına getirilmesi verimi artırabilmektedir. Sulandırmak maksadıyla hayvan idrarı kullanılabilirlikle birlikte, özellikle kurak havalarda su kullanılabilirlikle [11,12].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

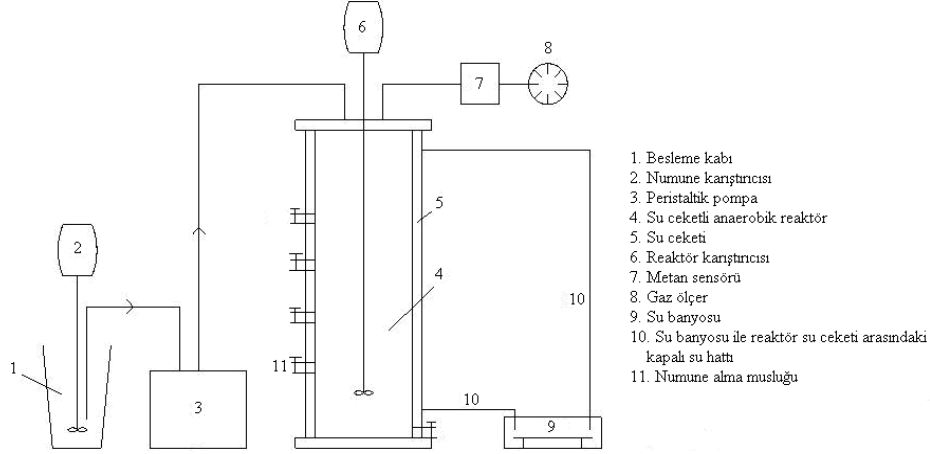
Bu çalışmada büyükbaş hayvan atıklarının anaerobik çürütülmesi maksadıyla mezofilik (35°C) ve termofilik (55°C) olmak üzere laboratuvar ölçekli, aktif hacmi 10 litre olan, iki adet silindirik tam karışimli krom-çelik malzemeden yapılmış reaktör kullanılmıştır. Laboratuvar ölçekli mezofilik ve termofilik tam karışimli havasız reaktörlerin şematik gösterimi Şekil 1'de ve laboratuvar ölçekli havasız çürütme prosesinin görünümü Şekil 2'de gösterilmiştir [13].

Laboratuvar ölçekli reaktörlerde %5 katı madde muhtevası ile çalışıldığından pompadaki tıkanma sorunlarından dolayı besleme elle yapılmıştır.

Laboratuvar ölçekli reaktörlerin işletmeye alınması aşamasında literatürden elde edilen bilgiler değerlendirilerek mezofilik ve termofilik reaktörlerin 20 günlük hidrolik bekletme süresinde (HRT) işletilmesine ve %5 katı madde ihtiva eden büyükbaş hayvan atığı ile beslenmesine karar verilmiştir. Bu amaçla her iki reaktörden de (35°C ve 55°C) günlük olarak 500 mL numune alınmış ve yine günlük olarak 500 mL %5 katı maddeye sahip büyükbaş hayvan atığı beslemesi gerçekleştirilmiştir. Havasız çürütme reaktörlerinden numune alma işleminde reaktörün alt kısmında yer alan numune alma musluğu, reaktörlere büyükbaş hayvan atığı beslemesi işlemi sırasında ise en üstteki numune besleme musluğu kullanılmıştır.

Havasız çürütme reaktörlerinde numune besleme işlemi sırasında peristaltik pompa kullanılmış olup, pompanın tıkanma problemlerini giderebilmek için %5 katı madde içeren büyükbaş hayvan atığı besleme yapılmadan hemen önce homojenize etmek amacıyla karıştırıcı ile hızlı bir şekilde karıştırılmıştır.

35°C ve 55°C sıcaklıklarda işletilen laboratuvar ölçekli reaktörler 20 günlük hidrolik bekleme süresinde 10 hafta işletildikten sonra, giderme verimini artırmak maksadıyla hidrolik bekleme süresi değiştirilerek 40 güne yükseltilmiştir. Bu amaçla reaktörlerden günlük olarak alınan ve reaktörlere günlük olarak beslenen numune miktarı 500 mL'den 250 mL'ye düşürülmüş olup her iki reaktör de 40 günlük hidrolik bekleme süresinde 10 hafta işletilmiştir.



Şekil 1. Laboratuvar ölçekli tam karışimli havasız reaktör [13]



Şekil 2. Havasız çürütme prosesinin görünümü [13]

2.1. Analiz Yöntemleri

Çalışma süresince TKM, UKM, *Salmonella spp.* ve *E. coli*, gaz miktarı ve metan içeriği ölçümleri yapılmıştır.

TKM ölçümleri "Standart Metotlar 2540B" analiz yöntemi [14] ile yapılmış olup, UKM ölçümleri ise "DS/EN 12879 Characterization of Sludges" yöntemine uygun olarak

gerçekleştirilmiştir. Reaktördeki gaz miktarı günlük olarak “Ritter Drum-type” gaz metre ile gaz kompozisyonu ise “LMSx Multigas Analyser” ile belirlenmiştir.

Çalışmada *Salmonella spp.* “ISO 6579/Nisan 1996 Salmonella Aranması Metotlarında Genel Kurallar”a göre belirlenirken, *E.coli* ise “NF-ISO 166492 (June 2001) Horizontal method for the enumeration of glucuronidase-positive Escherichia coli β - Part 2 :Technique of colony count at 44°C by means of 5-bromo-4-chloro-3-indolyl- β -D-glucuronate acid (IC : V08-031-2)” yöntemine göre belirlenmiştir.

3. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

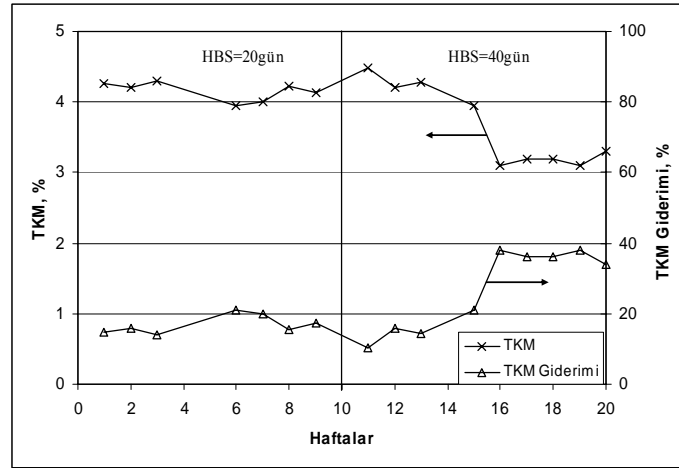
3.1. Sonuçlar

Çalışma esnasında hem mezofilik hem de termofilik reaktörde 10. hafta itibariyle 20 günlük hidrolük bekleme süresi 40 güne çıkarılmıştır. Numune alma ve ölçüm hataları sebebiyle veri aralığının çok dışında kalan neticeler elimine edilmiştir.

Ham numunede yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara bakılarak gerekli seyreltme işlemi yapılmış, dolayısıyla reaktörlere sürekli olarak %5’lik katı madde muhtevasına sahip giriş atığı beslenmiştir. Giriş atığında uçucu katı madde yüzdesi %3,88 civarında gerçekleşmiştir. Anaerobik arıtma uygulamalarında kontrol parametreleri olan pH ve alkalinite düzenli olarak ölçülmüş ve sistemlerin kararlılık durumu incelenmiştir.

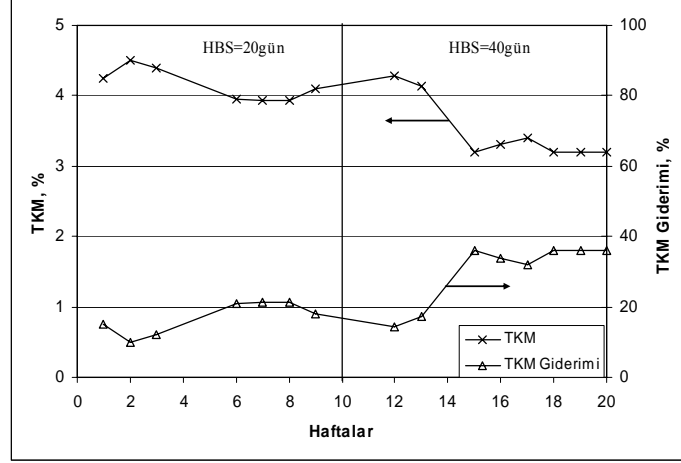
3.1.1. Toplam Katı Madde (TKM)

20 günlük hidrolük bekleme süresinde mezofilik reaktör çıkışında TKM konsantrasyonu %3,9 ile %4,3 arasında değerler almış, dolayısıyla reaktörde TKM giderimi %14 ile %21 arasında gerçekleşmiştir. 40 günlük hidrolük bekleme süresinin üzerine çıkılmasının ardından TKM konsantrasyonu önce bir miktar artmış ardından mikroorganizmaların bu duruma alışması ile giderek düşmüştür. Özellikle çalışmanın 16. haftası ile birlikte TKM konsantrasyonu %3,1 seviyelerine düşmüş ve devamında bu civarda seyretmiştir. Dolayısıyla çalışmanın son kısmında mezofilik reaktörde TKM giderim verimi %38 değerine kadar yükselmiştir. Mezofilik reaktörde elde edilen TKM konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 3’te grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. Mezofilik reaktördeki TKM sonuçları ve TKM giderme verimleri

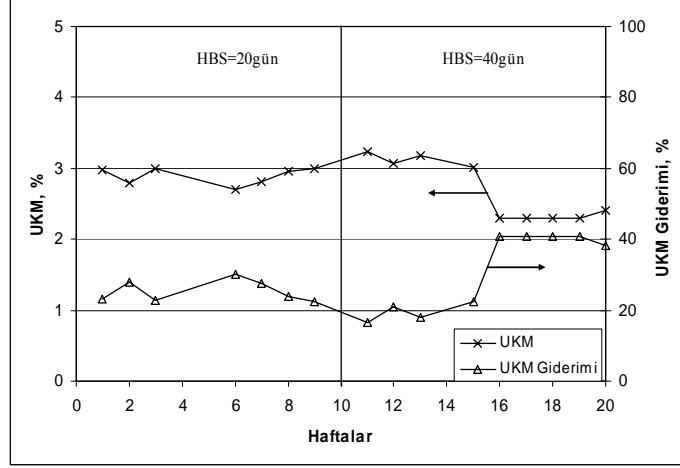
Mezofilik reaktöre benzer olarak termofilik reaktörde de 20 günlük hidrolik bekleme süresinde TKM konsantrasyonları %3,9 ile %4,3 arasında değerler almış, dolayısıyla reaktörde TKM giderimi %10 ile %21 arasında gerçekleşmiştir. Bu reaktörde de 40 günlük hidrolik bekleme süresinin üzerine çıkılmasının ardından TKM konsantrasyonu önce bir miktar artmış daha sonra giderek düşmüştür. Aynı şekilde çalışmanın 16. haftası ile birlikte TKM konsantrasyonu %3,2 seviyelerine düşmüş ve devamında bu civarda seyretmiştir. Dolayısıyla çalışmanın son kısmında termofilik reaktörde TKM giderim verimi %36 değerine kadar yükselmiştir. Termofilik reaktörde elde edilen TKM konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4'te grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Termofilik reaktördeki TKM sonuçları ve TKM giderme verimleri

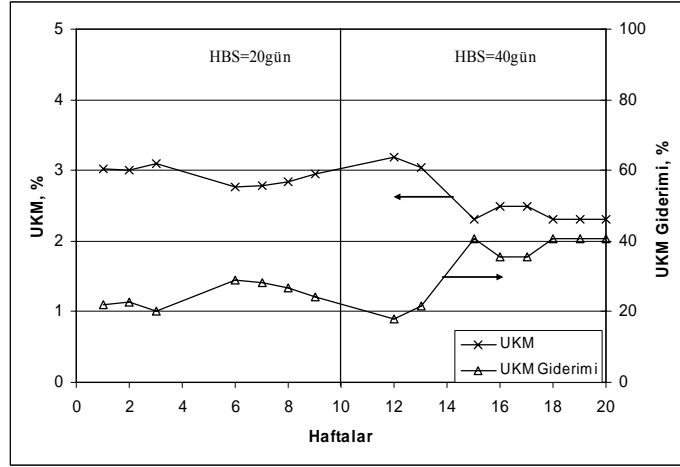
3.1.2. Uçucu Katı Madde (UKM)

UKM konsantrasyonları da TKM konsantrasyonlarına benzer bir salınım göstermiştir. 20 günlük hidrolik bekleme süresinde mezofilik reaktör çıkışında UKM konsantrasyonu %2,7 ile %3,0 arasında değerler almış, dolayısıyla reaktörde UKM giderimi %23 ile %30 arasında gerçekleşmiştir. 40 günlük hidrolik bekleme süresinin üzerine çıkılmasının ardından UKM konsantrasyonu bir süre artarak devam etmiş daha sonra giderek düşmüştür. Özellikle çalışmanın 16. haftası ile birlikte UKM konsantrasyonu %2,3 seviyelerine düşmüş ve devamında bu civarda seyretmiştir. Dolayısıyla çalışmanın son kısmında mezofilik reaktörde UKM giderim verimi %41 değerine kadar yükselmiştir. 20 günlük ve 40 günlük hidrolik bekleme sürelerinde mezofilik reaktörde elde edilen UKM konsantrasyonları ve giderme verimlerinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 5'te grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5. Mezofilik reaktördeki UKM sonuçları ve UKM giderme verimleri

UKM için benzer salınımlar termofilik reaktörde de görülmüştür. 20 günlük hidrolik bekleme süresinde UKM konsantrasyonları %2,8 ile %3,1 arasında değerler almış, dolayısıyla reaktörde UKM giderimi %20 ile %29 arasında gerçekleşmiştir. Bu reaktörde de 40 günlük hidrolik bekleme süresinin üzerine çıkılmasının ardından UKM konsantrasyonu önce bir miktar artmış daha sonra giderek düşmüştür. Çalışmanın 15. haftası ile birlikte UKM konsantrasyonu %2,3 seviyelerine düşmüştür ve devamında bu civarda seyretmiştir. Dolayısıyla çalışmanın son kısmında termofilik reaktörde UKM giderim verimi %41 değerine kadar yükselmiştir. 20 günlük ve 40 günlük hidrolik bekleme sürelerinde termofilik reaktörde elde edilen UKM konsantrasyonları ve giderme verimlerinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 6'da grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6. Termofilik reaktördeki UKM sonuçları ve UKM giderme verimleri

3.1.3. *Salmonella spp.* ve *Escherichia coli*

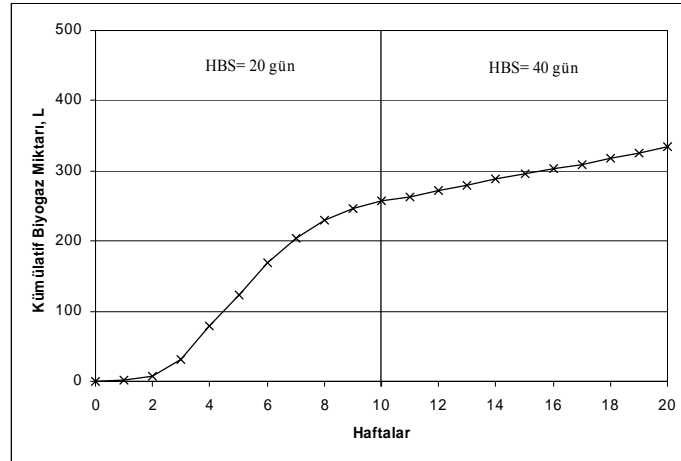
Yapılan deneyler sonucu çalışma boyunca her iki reaktörün çıkışında da *Salmonella spp.* bakterisine rastlanmadığı görülmüştür. Termofilik reaktörde *E.coli* sayım sonuçları sürekli olarak 10 kob(koloni oluşturan birim)/kg değerinin altında kalırken mezofilik reaktörde bu değer zaman zaman 1.000 kob/kg mertebelerinde gerçekleşmiştir.

3.1.4. Biyogaz Üretimi

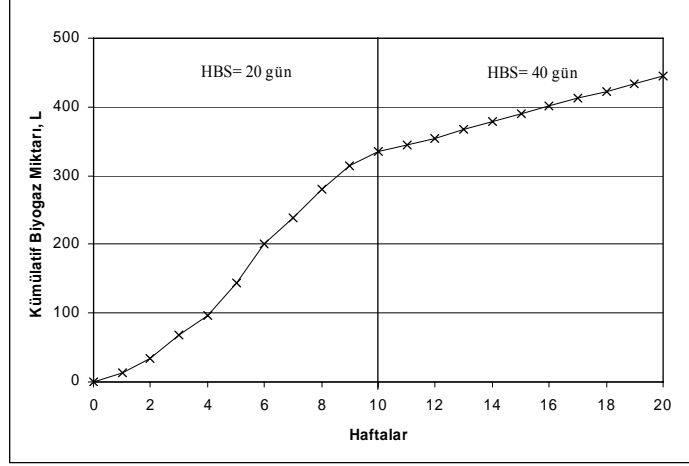
Her iki reaktörde de biyogaz üretimi benzer eğilim göstermiştir. Reaktörlerde 2. haftaya kadar yavaş giden biyogaz üretimi bu haftadan itibaren artış eğilimi göstermiştir. Çalışmanın onuncu haftasında hidrolik bekleme süresinin artırılması ve beslenen atığın yarıya düşürülmesiyle birlikte biyogaz üretimi düşüş göstermiş ve bu haftadan itibaren benzer bir eğilim takip etmiştir. Bununla birlikte 20 hafta sonunda, termofilik reaktördeki toplam biyogaz üretimi 445 litre olurken mezofilik reaktörde toplam biyogaz üretimi 335 litrede kalmıştır. Reaktörlerde ölçülen biyogaz miktarları kümülatif olarak Şekil 7 ve Şekil 8'de ayrı ayrı verilmiştir. Beslenen UKM'ye göre üretilen biyogaz değeri mezofilik reaktörde ortalama 0,10-0,34 L biyogaz/grUKM_{bes.} termofilik reaktörde ise 0,15-0,41 L biyogaz/grUKM_{bes.} şeklinde gerçekleşmiştir.

3.1.5. Metan İçeriği

Her iki reaktörde de üretilen biyogazdaki metan içeriği düzenli olarak ölçülmüştür. Bu ölçümler neticesinde her iki reaktörde de metan içeriği birbirine yakın değerler almıştır. Çalışma boyunca biyogaz içerisindeki metan yüzdesi her iki reaktörde de %45 ile %55 arasında değerler almıştır. Birim beslenen UKM için üretilen ortalama metan miktarı ise mezofilik reaktörde 0,06-0,19 L_{metan}/gUKM_{bes.}, termofilik reaktörde 0,08-0,23 L_{metan}/gUKM_{bes.} şeklinde gerçekleşmiştir.



Şekil 7. Mezofilik reaktörde üretilen kümülatif biyogaz miktarı



Şekil 8. Termofilik reaktörde üretilen kümülatif biyogaz miktarı

3.2. Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

Büyükbaş hayvan atıklarının havasız çürütülmesi için kullanılan her iki reaktörde elde edilen veriler incelendiğinde, mezofilik ve termofilik reaktörlerde elde edilen neticelerin birbirlerine yakın değerler aldığı görülmüştür. Örneğin TKM ve UKM giderim verimleri birbirine oldukça yakın olup çalışmanın son aşamasında her iki reaktörde de UKM verimi %40 mertebelerinde gözlenmiştir. Hatta mezofilik reaktördeki verim değeri termofilik reaktördekine nazaran hafifçe daha iyi olmuştur. Bu değerler literatürde elde edilen değerlerle (%30,7 – 47,1) uyumlu olup, tatmin edici seviyededir [1,11]. Reaktörlerde elde edilen metan miktarları da literatürde verilen değerlerle (0,07-0,35 L/g) uygunluk içerisinde [10,15,16]. Çalışmada elde edilen KM giderim verimlerine göre daha yüksek işletme maliyeti gerektiren termofilik reaktör yerine benzer verimler elde edilen mezofilik reaktörün kurulması düşünülebilir. Ancak, mezofilik reaktördeki 35°C'lik sıcaklığın *E.coli* bakterilerinin bertarafında yeterli olmadığı, termofilik reaktördeki 55°C'lik sıcaklığın ise *E.coli* bakterilerini tamamen yok ettiği de göz ardı edilmemelidir.

Çalışma neticesinde büyükbaş hayvan atıklarının bertarafı amacıyla Avrupa Birliği ülkelerinde yaygın bir şekilde uygulanmasına karşın ülkemizde henüz yaygın olarak kullanılmayan havasız çürütme prosesinin bu tür atıkların bertarafı için uygun olduğu görülmüş olup, çalışmanın ilerleyen aşamalarında farklı işletme şartları ve hayvan atıklarının organik atıklarla karıştırılarak çürütülmesinin de denenmesi faydalı olacaktır.

Acknowledgement / Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK'ın Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projeleri kapsamında desteklediği 106G026 no'lu "Hayvansal Atık Yönetimi Projesi" çıktılarından üretilmiştir. TÜBİTAK'a bu projeye verdiği finansal destekten dolayı teşekkür ederiz.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Nielsen, H.B., Mladenovska, Z., Westermann, P. and Ahring, B.K., "Comparison of Two-Stage Thermophilic (68°C /55°C) Anaerobic Digestion With One-Stage Thermophilic (55°C) Digestion of Cattle Manure", *Biotechnology and BioEngineering*, 86, 3, 291-300, 2004.
- [2] Öztürk, İ., "Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları", Su Vakfı, İstanbul, 1999.
- [3] Speece, R.E., "Anaerobik Biotechnology for Industrial Wastewater", Vanderbilt University, Tennessee, 1995.
- [4] Wen, Z., Liao, W. and Chen, S., "Hydrolysis of Animal Manure Lignocellulosics for Reducing Sugar Production", *Bioresource Technology*, 91, 31-39, 2004.
- [5] Vlyssides, A.G. and Karlis, P.K., "Thermal-Alkaline Solubilization of Waste Activated Sludge as a Pre-Treatment Stage for Anaerobic Digestion", *Bioresource Technology*, 91,201-206, 2004.
- [6] El-Mashad, H.M., Zeeman, G., Van Loon, W.K.P., et. al., "Effect of temperature and temperature fluctuation on thermophilic anaerobic digestion of cattle manure", *Bioresource Technology*, 95, 2, 191–201, 2004.
- [7] Keshtkar, A., Ghaforian, H., Abolhamd, G. and Meyssami, B., "Dynamic Simulation of Cyclic Batch Anaerobic Digestion of Cattle Manure", *Bioresource Technology*, 80, 9-17, 2001.
- [8] Metcalf ve Eddy, "Wastewater Engineering, Treatment and Reuse", McGraw Hill, New York, 2003.
- [9] Demirci, G.G. and Demirer G.N., "Effect of Initial COD Concentration, Nutrient Addition, Temperature and Microbial Acclimation on Anaerobic Treatability of Broiler and Cattle Manure", *Bioresource Technology*, 93, 109-117, 2004.
- [10] Dugba, P.N. and Zhang, R., "Treatment of Dairy Wastewater with Two-Stage Anaerobic Sequencing Batch Reactor Systems - Thermophilic Versus Mesophilic Operations", *Bioresource Tehnology*, 68 (3), 225-233, 1999.
- [11] Bhattacharya, T.K. and Mishra, T.N., "Biodegradability of Dairy Cattle Manure under Dry Anaerobic Fermentation Process", *Journal of Institution of Engineers*, 84, 9-11, 2003.
- [12] Öztürk, M., "Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi", Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2005.
- [13] TÜBİTAK KAMAG Projesi, Proje No: 106G026, "Hayvansal Atık Yönetimi" 2007-Devam ediyor.
- [14] Standard Methods For the Examination of Water and Waste Water, 20th Edition, 2005.
- [15] Demirer, G.N. ve Chen, S., "Effect of retention time and organic loading rate on anaerobic acidification and biogasification of dairy manure", *J Chem Technol. Biotechnol.*, 79, 1381–1387, 2004.
- [16] Paavola, T., Syvasalo, E. ve Rintala, J., "Co-digestion of manure and biowaste according to the EC Animal By-Products Regulation and Finnish national regulations", *Water Science & Technology*, 53(8),223–231, 2006.