



Yemek Atıklarından Mezofilik ve Termofilik Şartlarda Metan Gazı Üretim Düzeylerinin Araştırılması

Methane Production from Food Waste under Mesophylic and Thermophylic Conditions

Solmaz Garan , Filiz Dadaşer-Çelik* 

Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

Öz

Organik atıklara en uygun bertaraf yöntemlerinden biri anaerobik arıttırma. Organik maddelerin anaerobik şartlarda farklı mikroorganizma grupları tarafından parçalanmasıyla biyogaz üretimi gerçekleşmektedir. Biyogaz, genel olarak %50–80 metan içermektedir. Bu çalışmada yemek atıklarından biyogaz elde edilmesinde işletme sıcaklıklarının etkisi analiz edilmektedir. Çalışmada aynı özelliklere sahip yemek atıkları, mezofilik ve termofilik şartlarda anaerobik olarak parçalanmış ve bu süreçte üretilen metan gazı miktarları ve metan gazı üretim hızları karşılaştırılmıştır. 60 gün sonunda metan gazı üretim düzeyi mezofilik koşullarda 314 lt/kg UKM (uçucu katı madde) ve termofilik koşullarda 317 lt/kg UKM olarak gerçekleşmiştir. Birinci derece reaksiyon hız sabiti değeri, mezofilik koşullarda 0.05 1/gün olurken, termofilik koşullarda 0.11 1/gün olarak belirlenmiştir. Mezofilik koşullarda, metan üretiminin %50'lik kısmı ilk 27 günlük sürede ve %75'lik kısmı ise ilk 38 günde gerçekleşmiştir. Buna karşılık termofilik koşullarda metan gazı üretiminin %50'lik kısmı ilk 18 günde ve %75'lik kısmı ise ilk 24 günde gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar mezofilik ve termofilik koşullarda yemek atıklarının metana dönüşüm oranlarının yaklaşık aynı olduğunu ancak termofilik koşullarda dönüşüm hızının mezofilik koşullardan daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Mezofilik koşullar Termofilik koşullar, Yemek atıkları

Abstract

Anaerobic digestion is one of the most suitable methods for organic wastes. Anaerobic decomposition of organic material by various microorganisms produces biogas. Biogas contains 50-80% methane. In this study, we analyze the effect of operation temperatures on biogas production from food wastes. Food wastes with similar characteristics were decomposed in anaerobic reactors under mesophylic and thermophylic temperatures. Amount and rate of methane production were compared. After 60 days, 314 lt/kg VS (volatile solids) of methane was produced under mesophylic conditions and 317 lt/kg VS of methane was produced under thermophylic conditions. First order reaction rate constants were 0.05 1/day under mesophylic conditions and 0.11 1/day under thermophylic conditions. Under mesophylic conditions 50% of overall methane production was occurred within the first 27 days and 75% of overall methane production was occurred within the first 38 days. Under thermophylic conditions 50% of overall methane production was occurred within the first 18 days and 75% of overall methane production was occurred within the first 24 days. The analysis showed that amount of methane production from food wastes under mesophylic and thermophylic conditions were similar. However, the rate of methane production under thermophylic conditions was higher than that of mesophylic conditions.

Keywords: Biogas, Mesophylic conditions, Thermophylic conditions, Food waste

1. Giriş

Katı atıkların türü ve miktarı her geçen gün artmakta ve bu atıkların uygun şekilde bertarafı, bu nedenle, daha fazla önem kazanmaktadır. Türkiye'deki evsel katı atıklar yüksek oranda organik madde içermektedir. Daha önce

yapılan çalışmalarda evsel katı atıkların yaklaşık %50'sinin organik atıklardan (yemek ve bahçe atıkları gibi) oluştuğu tespit edilmiştir (Metin vd. 2003). Evsel katı atıkların %70'i herhangi bir değerlendirilmeye tabii tutulmadan düzenli veya düzensiz depo alanlarında depolanmaktadır (Turan vd. 2009). Endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucu da organik içerikli atık üretimi önemli düzeydedir. Organik içerikli atıkların bertaraf yöntemlerinden biri anaerobik bozunma yöntemidir. Anaerobik bozunma sonucunda enerji değeri olan biyogaz oluşumu gerçekleşmektedir.

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: filizdadaser@gmail.com

Biyogaz, organik maddelerin anaerobik şartlarda ve sabit bir sıcaklıkta farklı mikroorganizma grupları tarafından parçalanmasıyla oluşur. Biyogaz, genel olarak %50–80 metan (CH_4), %20–50 karbondioksit (CO_2), %0–0.4 hidrojen (H_2), az miktarda hidrojen sülfür (H_2S) ve azottan (N_2) meydana gelmektedir (Elango vd. 2006). Genellikle organik maddenin %40–60 kadarı biyogaza dönüşebilir. Geri kalan artık kısım ise kokusuz, gübre olarak kullanılmaya elverişli bir katı veya sıvı üründür.

Anaerobik çürüme üç safhada gerçekleşmektedir: hidroliz, asit üretimi ve metan üretimi. Birinci safha olan hidrolizde, yüksek yoğunluklu organik maddeler, düşük yoğunluklu organik maddelere dönüşür (Speece 1995). Hidroliz olayı, hücre dışı enzimlerle gerçekleşen oldukça yavaş bir süreçtir ve bu süreç pH, sıcaklık ve mikroorganizma bekleme süresi ile doğrudan ilişkilidir. Anaerobik çürümenin ikinci safhası olan asit üretiminde, düşük yoğunluklu organik maddelerin asit bakterilerince asetata dönüştürülmesi işlemi gerçekleşir. Bu aşamada, birinci aşama sonucunda açığa çıkan aminoasidi, şekeri ve uçucu yağ asitlerini organik asitlere dönüştüren asit oluşturan bakteri grupları faaliyet göstermekte ve asetik asit yanında az miktarlarda da formik, valerik ve butirik asit oluşmaktadır. Bu gruptaki bakteriler çevre koşullarına karşı daha dayanıklıdır. Son safha olan metan üretiminde ise metanojenler (metan üreten bakteriler) tarafından asetat, karbondioksit ve hidrojen gazından metan üretimi gerçekleşir. Metan gazının oluşumu yavaş gerçekleşir ve genellikle anaerobik çürümeye hız sınırlayıcı aşamadır.

Organik içerikli katı atıkların anaerobik ortamda giderimi birçok koşuldandır etkilenmektedir. Bu koşullar arasında sıcaklık ve pH ile birlikte organik yükleme hızı, hidroliz bekleme süresi, atığın katı madde içeriği, besleme sıklığı, karbon/azot (C/N) oranı, amonyak değişimi ve karıştırma gelmektedir (Speece 1995). Bu çalışmada işletme sıcaklıklarının metan üretimi üzerindeki etkisi konu edilmektedir. İşletme sıcaklığı prosesin ilerleyişini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. İşletme sıcaklıkları, enzimlerin ve koenzimlerin aktivitelerini, mikroorganizmaların metabolizma ve büyüme hızlarını ve dolayısıyla biyogaz üretim düzeylerini etkilemektedir (Zhang vd. 2014). İşletme sıcaklığına göre anaerobik sistemler psikrofilik (<30 °C), mezofilik (30–40 °C) ve termofilik (50–60 °C) olmak üzere üç gruba ayrılabilir (Yadvikaa vd. 2004). Anaerobik bakteriler mezofilik ve termofilik koşullarda daha aktiftir, bu nedenle uygulamada psikrofilik sistemler çok az yer tutmaktadır (Yadvikaa vd. 2004). Mezofilik sistemler yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. Metanojenik bakterilerin büyük bir kısmının mezofilik bakterilerden oluşması ve düşük işletme maliyeti

mezofilik sistemlerin tercih nedenlerindedir. Ayrıca, mezofilik sistemlerin stabiliteyi termofilik reaktörlerden üstündür (Zhang vd. 2014).

Sıcaklığın metan üretimi üzerindeki etkilerini inceleyen bazı çalışmalar literatürde mevcuttur. Farklı atıklar ile mezofilik ve termofilik şartlarda oluşan biyogaz miktarlarını karşılaştırılmış (ör., Kalia vd. 2000, Vindis vd. 2009, Yua vd. 2014) ve genel olarak termofilik koşullarda biyogaz üretim hızının daha yüksek olduğu tespit edilse de, üretilen biyogaz miktarları konusunda kesin bir yargıya varılamamıştır. Yemek atıkları kullanılarak yapılan bazı çalışmalarda da (Banks ve Stringfellow 2008, Cavinato vd. 2013) benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Yemek atıkları kullanılarak yapılan farklı bir çalışmada (Komemoto vd. 2009) farklı sıcaklıklarda oluşan biyogaz miktarlarının değişimleri gözlenmiştir. 15°C, 25°C, 35°C, 45°C, 55°C ve 65°C sıcaklıklardaki metan oluşum yüzdeleri sırasıyla %47.5, %62.2, %70.0, %72.7, %56.1 ve %45.9 olarak tespit edilmiştir. Diğer bir ifadeyle, mezofilik koşullarda biyogaz üretim düzeyleri daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmada atıkların çözünme oranlarının da mezofilik koşullarda termofilik koşullara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Biyogaz üretiminin sıcaklık dışında farklı parametrelerce de etkileniyor olması ve kullanılan atıkların özellikleri çalışma sonuçlarının birbirleriyle kıyaslanmasını zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada yemek atıklarından mezofilik ve termofilik şartlarda biyogaz üretimi düzeyleri ve hızları karşılaştırılacaktır. Çalışmada üniversite yemekhanesinden elde edilen yemek atıkları kullanılmıştır. Yemekhane atıkları hali hazırda belediyece toplanmakta ve bu atıklarının bir kısmı hayvan barınaklarında değerlendirilmekte ve kalan kısmı ise depolanmaktadır. Bu çalışma, yemekhane atıklarının daha etkin bir biçimde değerlendirilmesini sağlayacak biyogaz üretimi için alt yapı bilgilerini oluşturmaktadır. Ayrıca sıklıkla kullanılan mezofilik sistemlere bir alternatif olan termofilik sistemlerin yemek atıkları açısından başarısı değerlendirilmektedir.

2. Gereç ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında yemek atıklarının mezofilik ve termofilik koşullarda anaerobik arıtımı konu edilmektedir. Çalışma üç aşamada tamamlanmıştır. Birinci aşamada çalışmada kullanılan maddelerin karakterizasyonu yapılmıştır. İkinci aşamada reaktörler belirli özellikleri sağlayacak biçimde hazırlanmıştır. Üçüncü aşamada reaktörler izlenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Aşağıda bu aşamalar ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

2.1. Çalışmada Kullanılan Maddelerin Karakterizasyonu

Çalışmanın ilk aşamasında kullanılan maddelerin karakterizasyonu için yemek atıklarının ve aşı maddesinin toplam katı madde (TKM), toplam uçucu katı madde (UKM), nem içeriği, karbon içeriği (C), toplam kjeldahl azotu (TKN), ve elementel analizleri yapılarak kullanılan yemek atıklarının özellikleri tespit edilmiştir. Bu parametrelerin ölçümleri standart metotlara göre gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1).

Çalışmada kullanılan yemek atıkları et, makarna ve salatadan oluşmaktadır. Yemek atıkları Erciyes Üniversitesi yemekhanesinden temin edilmiştir. Uygun karışımı oluşturabilmek için bu maddelerin özellikleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan aşı maddesi Pakmaya firmasının metanojenik reaktöründen temin edilmiştir.

2.2. Reaktörlerin Kurulması (Reactor Design)

İkinci aşamada biyogaz üretiminin gerçekleştirileceği reaktör sistemi kurulmuştur. Şekil 1'de gösterilen solda yer alan ve cam şişeler şeklinde planlanmış 2 lt hacme sahip olan iki reaktöre istenilen özelliklere uygun olarak biyogaz üretiminin gerçekleştirileceği maddeler (yemek atıkları ve aşı maddesi) yerleştirilmiştir. Reaktörler kapatılmadan önce sistemden azot gazı geçirilerek anaerobik koşulların gerçekleşmesi sağlanmıştır. Reaktörlerin üst kısmında toplanan biyogaz %1'lik (0.17 Molar) potasyum hidroksit (KOH) çözeltisinden geçirilmiş, böylece biyogaz içerisinde bulunan CO₂'in tutulması sağlanmıştır. KOH çözeltisi biyogaz içerisinde bulunan CO₂ tutacağı için, çözelti üzerinde biriken gaz sadece metandan oluşmuştur. Reaktörler sıcaklık kontrolünü sağlamak için 37°C'ye ve 50°C ayarlanmış iki etüv içerisinde yerleştirilmiştir. Sıcaklığın biyogaz üretimi üzerindeki etkisinin rahatlıkla görülmesi için, sıcaklık dışında C/N oranı, katı madde oranı ve pH gibi özelliklerin her iki reaktörde de aynı olması sağlanmıştır.

2.3. Reaktörlerin İzlenmesi ve Sonuçların Analizi

Reaktörler kesikli olarak çalıştırılmıştır. Reaktörlerde oluşan metan gazı miktarları günlük olarak izlenmiştir. İzlemeye 60 gün boyunca devam edilmiştir. 60 günün son 10 günlük döneminde metan gazı neredeyse tamamen durmuştur.

Elde edilen sonuçlar kullanılarak günlük ve toplam biyogaz üretim düzeyleri karşılaştırılmıştır.

Mezofilik ve termofilik koşullarda biyogaz üretim hızları belirlenmiştir. Yemek atıklarının bozunmasının birinci dereceden bozunma kinetiklerine uygun bir biçimde olduğu kabul edilirse, organik maddenin miktarının zaman göre değişimi eşitlik 1 ve 2'ye göre gerçekleşebilir. Bu eşitliklerde B organik madde miktarını, k birinci derece reaksiyon hız sabitini ve t ise zamanı ifade etmektedir.

$$\frac{dB}{dt} = -kB \quad (\text{Eşitlik 1})$$

$$B = B_0 e^{-kt} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

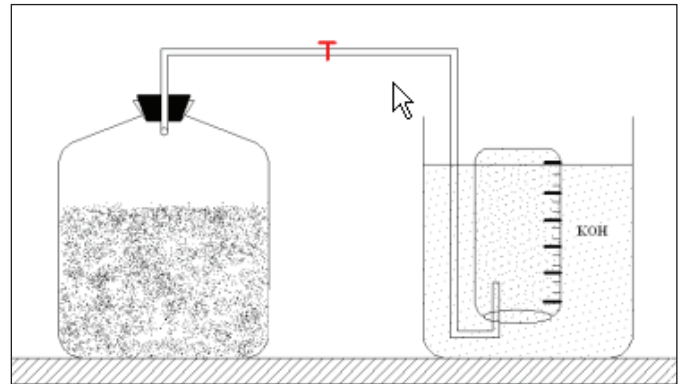
Biyogaz üretim miktarlarının organik maddenin tüketim hızıyla ilişkili olduğu kabul edilirse, eşitlik 3 elde edilir.

$$G = G_{\infty} (1 - e^{-kt}) \quad (3)$$

Eşitlik 3'te G günlük oluşan biyogaz miktarı ve G_∞ azami oluşan biyogaz miktarını ifade etmektedir. Eşitlik 3 kullanılarak k sabiti değeri tespit edilmiştir.

3. Bulgular

Çalışmada kullanılan yemek atıkları et, makarna ve salatadan oluşmaktadır. Bu maddelerin aşı maddesinin özellikleri Çizelge 2'de özetlendiği şekildedir. Bu maddeler belirli oranda karıştırılarak optimum biyogaz üretiminin gerçekleşeceği özellikler sağlanmıştır. Daha önce yapılan bir



Şekil 1. Çalışmada kullanılan reaktör sistemi.

Çizelge 1. Çalışmada yapılan analizler ve kullanılan analiz yöntemleri.

Parametre	Ölçüm Yöntemi	Kullanılacak Teçhizat/Cihaz
Toplam Katı Madde (TKM)	SM 2540 G	Desikatör, Etüv
Toplam Uçucu Katı Madde (UKM)	SM 2540 G	Desikatör, Yakma Fırını
Toplam Kjeldahl Azot (TKN)	SM 4500 Norg B	Kjeldahl Sistemi Azot Tayin Cihazı
C,N,P,S		Elementel Analiz Cihazı

çalışmada aynı tür atıklar için katı madde oranı %4, C/N oranı 28, F/I (besin/aşı) oranı 0.3 olduğunda en yüksek biyogaz üretiminin gerçekleştiği bulunmuştur (Dadaser-Celik vd. 2013, Dadaser-Celik vd. 2016). Bu nedenle, bu çalışmada da benzer özellikleri sağlayacak şekilde reaktörler hazırlanmıştır. Reaktörlere 25.6 gr et, 6.5 gr salata ve 6.5 gr makarna eklenmiştir. Ayrıca 250 ml aşı ve 500 ml su eklenmiştir. Bu haliyle karışımın nihai katı madde oranı %4, C/N oranı 28, F/I (besin/aşı) oranı ise 0.3 olarak gerçekleşmiştir. Başlangıç pH değeri 7 olacak şekilde ayarlanmıştır.

Şekil 2'de günlük oluşan biyogaz miktarları lt/kg UKM/gün cinsinden verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, termofilik koşullarda maksimum günlük metan üretimi (23.3 lt/kg UKM/gün) sekizinci günde gerçekleşmiştir. Mezofilik koşullarda ise maksimum günlük metan üretimi 28'inci günde (16.7 lt/kg UKM/gün) oluşmuştur. Genel olarak günlük metan üretimleri termofilik koşullarda daha fazladır. 60 günlük sürede ise mezofilik koşullarda ortalama metan üretimi 5.5 lt/kg UKM/gün iken, termofilik koşullarda 5.3 lt/kg UKM/gündür.

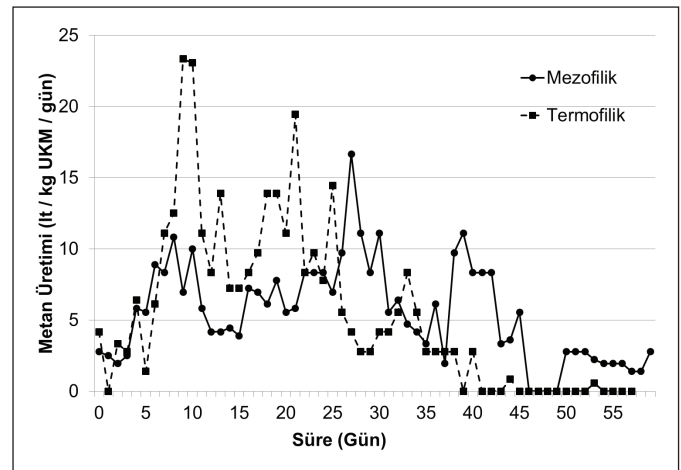
Şekil 3'de üretilen metan gazı miktarları toplam olarak verilmiştir. 60 günlük sürede toplam metan üretim düzeyleri mezofilik ve termofilik koşullarda yaklaşık olarak eşittir. Mezofilik koşullarda toplam metan üretimi 314 lt/kg UKM, termofilik koşullarda ise 317 lt/kg UKM olarak gerçekleşmiştir. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda da benzer sonuçlar alınmıştır. Örneğin, Li vd. (2009) mezofilik koşullarda yemek atıkları kullanılarak yapılan çalışmada azami metan üretimini 362 lt /kg UKM olarak tespit etmiştir. El-Mashad ve Zhang (2010) diğer bir çalışmada ve yine mezofilik koşullarda azami metan üretim düzeyini 353 lt /kg UKM olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışma kullanılan atıklara benzer atıklar kullanılarak ve benzer koşullarda yapılan diğer bir çalışmada Dadaser-Celik vd. (2013) mezofilik koşullarda 24 günlük sürede metan üretim düzeyini 151 lt /kg UKM olarak belirlemişlerdir. Bu miktar

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan maddelerin özellikleri.

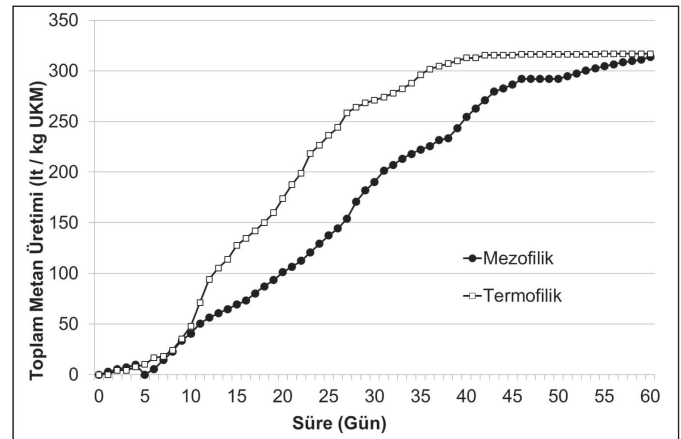
Kullanılan Malzemeler	Et	Makarna	Salata	Aşı
KM (%)	35.7	18.3	11.4	8.6
UKM (%)	83.4	65.2	91.8	34.5
Nem Oranı (%)	64.4	81.7	88.6	91.4
TKN (%)	3.1	1.9	10	1.8
C (%)	54.5	55.4	55.8	52.5
C/N	17.6	29.2	5.58	29.2

mevcut çalışmada mezofilik düzeylerde gerçekleşen üretime çok yakındır.

Mezofilik ve termofilik koşullarda yemek atıklarının metana dönüşüm oranları yaklaşık aynı olsa da, bu dönüşümün hızı farklıdır. Termofilik koşullarda metan üretim hızlarının mezofilik şartlara göre hızlı olduğu Şekil 3'de de açıkça ortaya çıkmaktadır. Dönüşüm hızlarını değerlendirmek için toplam metan üretiminin %50'lik ve %75'lik kısımlarının kaçar günde gerçekleştiği belirlenmiştir. Mezofilik koşullarda, metan üretiminin %50'lik kısmı ilk 27 günde ve %75'lik kısmı ise ilk 38 günde gerçekleşmiştir. Buna karşılık termofilik koşullarda metan gazı üretiminin %50'lik kısmı ilk 18 günde ve %75'lik kısmı ise ilk 24 günde gerçekleşmiştir. Metan üretim hız sabitleri, organik maddenin metana dönüşümünün birinci derece reaksiyon olduğu varsayılarak hesaplanmıştır. Birinci derece reaksiyon hız sabiti mezofilik



Şekil 2. Mezofilik ve termofilik koşullarda günlük olarak oluşan metan gazı miktarları.



Şekil 3. Mezofilik ve termofilik koşullarda oluşan toplam metan gazı miktarları.

koşullar için 0.05 1/gün ve termofilik koşullar için ise 0.11 1/gün olarak tespit edilmiştir. Yani metana dönüşüm hızı termofilik koşullarda mezofilik koşullara göre iki kat fazladır. Yemek ve sebze atıkları kullanılarak yapılan bir çalışma mezofilik koşullarda birinci derece reaksiyon hız sabiti değerlerinin 0.07-0.18 1/gün arasında değiştiği tespit edilmiştir (Li vd. 2009). Farklı bir çalışmada yine yiyecek atıkları kullanıldığında reaksiyon hız sabiti değerlerinin aşı maddesinin özelliklerine bağlı olarak 0.056 ve 0.364 1/gün arasında değiştiği tespit edilmiştir (Brown ve Murphy 2013).

4. Sonuç

Bu çalışmada yemek atıkları kullanılarak mezofilik ve termofilik koşullarda metan üretim düzeyleri karşılaştırılmıştır. 60 günlük sürede mezofilik ve termofilik koşullarda yaklaşık eşit miktarda metan gazı üretimi gerçekleşmiştir. Bu durum, sıcaklığın nihai olarak elde edilecek metan gazı miktarı açısından önemli bir etkiye sahip olmadığını göstermiştir. Ancak termofilik koşullarda mezofilik koşullara göre metan üretim hızının yaklaşık iki kat fazla olduğu bulunmuştur. Termofilik koşullarda prosesin daha hızlı gerçekleşmesi hem parçalanmış atık miktarının fazla olması, hem de bekleme süresinin kısaltılması açısından avantaj sağlayacaktır. Ancak bu avantajın, termofilik koşulların sağlanması için harcanan enerjinin maliyeti açısından daha kapsamlı olarak araştırılması gereklidir.

5. Teşekkürler

Bu çalışma TÜBİTAK'ın 2209/A Üniversite Öğrencileri Yurt İçi Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında desteklenmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

Banks, CJ., Stringfellow, A. 2008. A pilot-scale trial comparing mesophilic and thermophilic digestion for the stabilisation of source segregated kitchen waste. *In, 5th IWA International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Wastes and Energy Crops*, 25 - 28 May, Hammamet.

Brown, JD., Murphy, JD. 2013. Assessment of the resource associated with biomethane from food waste. *Appl. Energy*, 104: 170-177.

Cavinato, C., Bolzonella, D., Pavan, P., Fatone, F., Cecchi, F. 2013. Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of waste activated sludge and source sorted biowaste in pilot- and full-scale reactors. *Renew. Energy*, 55: 260-265.

Dadaser-Celik, F., Azgın, ŞT., Yıldız, YŞ. 2013. Yemek Atıklarından Biyogaz Eldesinin Araştırılması-Optimum Koşulların Belirlenmesi. TÜBİTAK Proje Raporu.

Dadaser-Celik, F., Azgın, ST., Yıldız, YS. 2016. Optimization of solid content, carbon/nitrogen ratio and food/inoculum ratio for biogas production from food waste. *Waste Manage. Res.*, 34: 1241-1248.

El-Mashad, HM., Zhang, R. 2010. Biogas Production from Co-Digestion Of Dairy Manure And Food Waste. *Bioresource Technol.*, 101 4021-4028.

Elango, D., Pulikesi, M., Baskaralingam, P., Ramamurthi, V., Sivanesan, S. 2006. Production of Biogas From Municipal Solid Waste with Domestic Sewage. *J. Haz. Mat.*, 141: 301-304.

Kalia, VC., Sonakya, V., Raizada, N. 2000. Anaerobic digestion of banana stem waste. *Bioresource Technol.*, 73: 191-193.

Komemoto, K., Lim, Y., Nagao, NY., Niwa, C., Toda, T. 2009. Effect of temperature on VFAs and biogas production in anaerobic solubilization of food waste. *Waste Man.*, 29: 2950-2955.

Li, R., Chen, S., Li, X. 2009. Anaerobic Co-digestion of Kitchen Waste and Cattle Manure for Methane Production. *Energy Source, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31: 1848-1856.

Metin, E., Eröztürk, A., Neyim, C. 2003. Solid waste management practices and review of recovery and recycling operations in Turkey. *Waste Man.*, 23: 425-432.

Speece, RE. 1995. Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater. Vanderbilt University Tennessee.

Turan, NG., Çoruh, S., Akdemir, A., Ergun, ON. 2009. Municipal solid waste management strategies in Turkey. *Waste Man.*, 29: 465-469.

Vindis, P., Mursec, B., Janzekovic, M., Cus, F. 2009. The impact of mesophilic and thermophilic anaerobic digestion on biogas production. *J. Ach Mater Manufac Eng.* 36: 192-198.

Yadvikaa, S., Sreekrishnan, TR., Kohli, S., Rana, V. 2004. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review. *Bioresource Technol.*, 95: 1-10.

Yua, D., Kurola, JM., Lähde, K., Kymäläinen, M., Sinkkonen, A., Romantschuk, M. 2014. Biogas production and methanogenic archaeal community in mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion processes. *J. Environ. Man.*, 143: 54-60.

Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., Tan, T. 2014. Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renew Sust. Energ. Rev.*, 38: 383-392.