



Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi İçin Küçük Ölçekli Reaktör Modeli Geliştirilmesi

Development of a Small Scale Reactor Model for Biogas Production from Animal Wastes

Ömer Hulusi Dede^{*}, Gülgün Dede¹, Cemile Dede², Saim Özdemir³

Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, büyük baş hayvan gübresinden biyogaz üretimine uygun, çiftlik tipi, gerçek ölçekli bir biyogaz reaktörü tasarlanmış ve biyogaz üretimi yapılmıştır. Reaktörün tasarlanması ve inşasında temel kriter olarak, kırsal koşullara uygunluğu, maliyet avantajı, kolay işletilebilir olması baz alınmıştır. Reaktörün taşıyıcı elemanları betonarme, duvarları ise gaz beton olarak inşa edilmiştir. Isı kaybını önlemek için dış cepheleri membran ve cam elyafı ile sarılmıştır. Üretilen biyogazı depolamak, sabit basınç sağlamak ve gaz sıkışması emniyeti amacı ile bir su kapanı içinde yüzen hareketli gaz deposu tasarlanmıştır. Kurulan sistemde hidrolik bekleme süresi 30 gün, günlük besleme miktarı 0,6 m³'dür. Kullanılan gübre 1:1 oranında 45 oC sıcaklıkta su ile karıştırılıp sisteme beslenmektedir. Reaktöre giren ve çıkan büyük baş hayvan gübresinin karakterizasyonu yapılmış ve OM, TOC, TN, C/N, pH, EC, KOI ve KOI giderim verimleri biyogaz üretimi için uygun bulunmuştur. Ayrıca üretilen biyogazın birleşimi incelenmiş ve biyogazın %59.26 CH₄, %32.45 CO₂, %2.92 O₂ ve %2.06 H₂S'den oluştuğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, büyük baş hayvan gübrelerinin biyogaz üretiminde kullanılmasının önemli bir bertaraf ve enerji üretim alternatifi olduğu ve önerilen küçük ölçekli biyogaz reaktör modelinin bu amaç doğrultusunda başarı ile kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Büyük baş hayvan gübresi, Çiftlik tipi biyogaz reaktörü

Abstract

In this study, a family type-real-scale biogas reactor suitable for biogas production from cattle manure was designed and biogas production was carried out. The basic criteria for the design and construction of the reactor is based on its suitability for rural conditions, cost advantage, and ease of operation. The conveyor elements of the reactor were constructed as reinforced concrete and the walls were constructed as aerated concrete. It was wrapped with membrane and glass fiber to prevent heat loss. A mobile gas reservoir floating in a water trap was designed to store the produced biogas, provide a constant pressure and gas jamming safety. In the installed system, hydraulic retention time is 30 days and daily feeding amount is 0.6 m³. The manure that used is mixed with water at a temperature of 45° C in a 1: 1 ratio and fed to the system. Characterization of cattle manure entering and exiting the reactor was performed and OM, TOC, TN, C/N, pH, EC, COD and COD removal efficiency were found suitable for biogas production. In addition, the composition of the produced biogas was examined and it was determined that the biogas is composed of 59.26 % CH₄, 32.45 % CO₂, 2.92 % O₂ and 2.06% H₂S. When the results obtained in the study are evaluated together, it was seen that the use of cattle manure in biogas production is an important disposal alternative and the proposed small scale biogas reactor model can be successfully used for this purpose.

Keywords: Biogas, Cattle manure, Farm type biogas reactor

1. Giriş

Mevcut refah seviyesinin sürdürülmesi için en önemli gereklilik olan enerji gereksiniminin sağlanması ve sürekli

artan enerji ihtiyacının gelecekte güvenle karşılanabilmesi için yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte bu konuda yapılan çalışmaların ortak çıktısı, kömür ve petrol ürünleri gibi konvansiyonel enerji kaynaklarının yeterli olmadığı ve bu kaynakların kullanımının dünyamızın geleceği için büyük riskler oluşturduğudur. Bundan dolayıdır ki son yıllarda, fosil yakıtların tüketilmesi gibi sonlu ve doğal çevreyi tahrip eden uygulamaların azaltılarak, enerji ihtiyacının yenilenebilir olarak tarif edilen kaynaklardan karşılanmasının zorunluluk

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: ohdede@sakarya.edu.tr

Ömer Hulusi Dede¹ orcid.org/0000-0001-8574-820X

Gülgün Dede² orcid.org/0000-0003-0302-6508

Cemile Dede³ orcid.org/0000-0003-4040-9137

Saim Özdemir³ orcid.org/0000-0002-0549-0577

olduğu tüm dünyada benimsenen ortak görüştür (Cecchi vd. 1994, Cavinato vd. 2010)

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli alternatiflerden birisi organik atıklardan biyogaz üretimidir. Global düzeyde, enerji ihtiyacının karşılanmasında mevcut kullanım miktarı her ne kadar sınırlı kalsa da, sahip olduğu büyük potansiyel biyogazı önemli bir alternatif yapmaktadır (El-Mashad vd. 2004, Zaher vd. 2008). Ayrıca biyogaz üretiminde kullanılan başlıca ham madde kaynağı organik atıklar olduğundan, bu atıkların değerlendirilmesi, su kaynaklarının korunması, koku ve patojen mikroorganizma üremesinin önlenmesi gibi temel çevre problemlerine de çözüm oluşturmaktadır. Bu özelliğinden dolayı biyogaz üretimi literatürdeki birçok çalışmada enerji üretim prosesinden çok organik kökenli atıklar için ekolojik, ekonomik ve sürdürülebilir bir bertaraf yöntemi olarak ele alınmaktadır.

Biyogaz üretiminde kullanılarak bertaraf edilebilecek organik atıkların başında hayvan gübreleri gelmektedir. Üretim kapasitelerinden dolayı özellikle büyük baş hayvan ve tavuk gübreleri çok büyük miktarlara ulaşmaktadır (Karim vd. 2005). Bu gübrelerin bir kısmı bir süre bekletildikten sonra tarla veya bahçelerde doğal gübre olarak kullanılmakta, bir kısmı kompostlanarak yine bitkisel üretimde toprak iyileştirici veya gübre sağlayıcı olarak tüketilmektedir (Meyer vd. 1997). Ancak herhangi bir arıtma işleminden geçmeden tarla, bahçe veya boş alanlara uygulanan ahır gübreleri, ayrışma süreci boyunca ortaya çıkan istenmeyen gaz, vektör, patojen ve minerallerle doğal çevreye önemli bir kirletici kaynak oluşturmaktadır (Ullman ve Mukhtar 2007). Tavuk gübrelerinin yüksek amonyak miktarı ve tavuk yetiştiriciliğinde kullanılan antibiyotiklerin gübreye geçmesi gibi sebeplerden dolayı biyogaz üretiminde çeşitli sıkıntılar doğurabildiği bilinmektedir. Bundan dolayı tavuk gübrelerinin biyogaz üretiminde doğrudan kullanımı yerine, belli miktarlarda karışım halinde kullanılması uygun görülmektedir (Kelleher vd. 2002). Ancak büyük baş hayvan gübreleri saf olarak veya organik kökenli atıklarla karışım halinde biyogaz üretiminde kullanılarak bertaraf edilmeye uygundur. Bu nedenledir ki biyogaz üretiminin ilk başarılı uygulamalarının yapılmasından günümüze kadar geçen süreçte, tesis büyüklükleri farklılık göstermekle birlikte, organik atık olarak büyük baş hayvan gübreleri ağırlıklı olarak kullanılmaktadır (Lansing vd. 2008). Tesis büyüklükleri ise genel olarak büyük baş hayvan yetiştiriciliğinin türüne bağlı olarak, gübrelerinin entegre yetiştiricilik tesislerinde büyük miktarlarda toplu olarak bulunması veya küçük çiftliklerde ve dağınık olarak bulunması ile alakalıdır (Nielsen ve Angelidaki 2008).

Büyük ölçekli entegre hayvancılığın gelişkin olduğu Avrupa ülkelerinde büyük çaplı biyogaz tesisleri ön plana çıkarken, yetiştiriciliğin yaygın olarak küçük çiftliklerde yapıldığı Asya ülkelerinde küçük ölçekli tesisler ağırlık kazanmaktadır (Elefsiniotis ve Oldham 1994, Huttunen ve Lampinen 2005, Alvarez ve Liden 2009).

Büyük ölçekli tesislerin kurulumu ve işletilmesi ileri teknoloji kullanılarak yapılmasına rağmen, küçük ölçekli çiftlik tipi tesisler genel olarak kısıtlı imkânlar ve plansız olarak kurulup işletilmeye çalışılmaktadır (Sterling vd. 2001). Bu durum bu tür tesislerin kurulumunu zorlaştırmakta, verimini düşürmekte ve çeşitli güvenlik sorunları doğurmaktadır. Bu eksiklikten yola çıkılarak hazırlanan bu çalışmada kurulumu kolay, maliyeti düşük, verimli ve güvenli olarak işletilebilmeye olanak sağlayacak, küçük ölçekli çiftlik tipi bir biyogaz reaktörü tasarımı yapılmış ve kurulum ve işletim parametreleri araştırılmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

Bu çalışmada biyogaz reaktörü kurulumu için Sakarya İli Kaynarca İlçesi Kayacık-Topçu Köyünde bulunan ve 12 adet büyük baş hayvanın bakıldığı küçük ölçekli bir ahır seçilmiştir. Bu hayvan sayısı küçük ölçekli hayvancılık faaliyetlerini temsil etmek için uygundur. Ahırdaki büyükbaş hayvanların ortalama canlı ağırlığı 450-550 kg arasında değişmektedir. Yapılan çalışmalar günlük hayvan başına yaklaşık 25 kg yaş gübre ortaya çıktığını göstermiştir. Literatürde ise büyük baş hayvan başına ortaya çıkacak günlük yaş gübre miktarı 30-35 kg/gün olarak verilmektedir (Acaroğlu vd. 2010). Ancak gübre miktarı büyük baş hayvanların cinsine ve canlı ağırlığına göre değiştiğinden, reaktör tasarımı ve boyutlandırılmasında, saha çalışmalarında elde edilen 25 kg/gün gübre miktarı kullanılmıştır. Bunun yanında, Şekil 1'de temelyerleşim düzeni verilen, reaktör için düşünülen yükleme sisteminde, ilave bir taşıma işlemine ihtiyaç duyulmaması istenmiştir. Bu doğrultuda gübrelerin, uygun katı madde miktarının sağlanması amacıyla, su ile karıştırıldıktan sonra, ahıra yapılacak küçük bir toplama bölmesinden cazibe ile reaktöre aktarılabilmesi sağlanmıştır. Planlanan yükleme sisteminin uygulamaya geçirilmesinde, reaktör inşası için seçilen ahırın konumu ve reaktörün yapılması düşünülen alan ile arasındaki yükseklik farkı önemlidir.

2.1. Biyogaz Reaktörü İçin Hazırlanan Tasarım Planları ve İnşaat Aşamaları

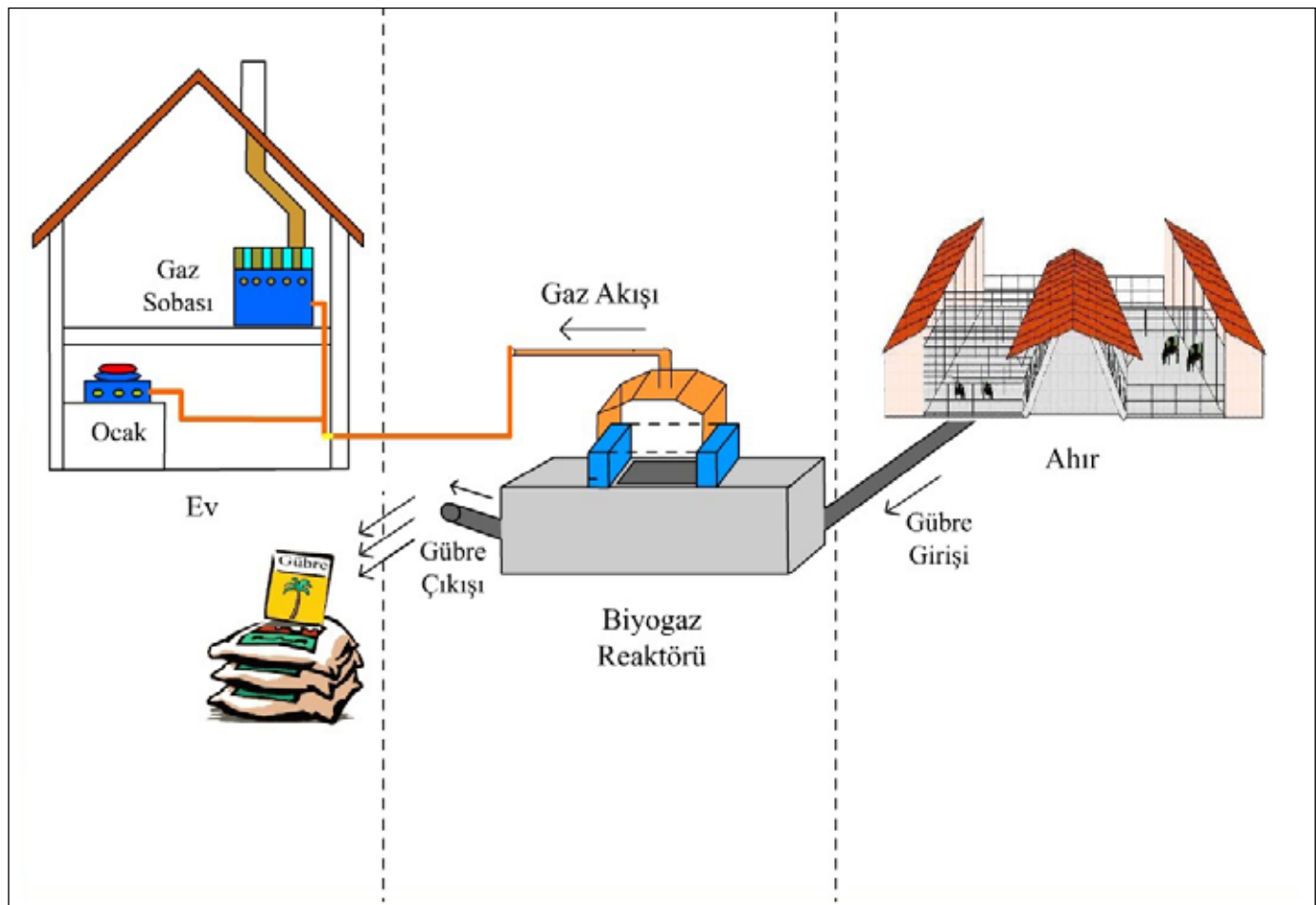
Organik atıklardan anaerobik koşullarda biyogaz elde edilmesi bilinen bir teknolojidir. Ancak biyogaz üretimi

kullanılan organik atığın türü ve bölgenin iklim koşulları gibi kritik etkenlere bağlı olduğundan, kullanılacak reaktörün seçimi ve tasarımı önemlidir. Çoğu zaman mevcut reaktör tiplerinden yeterli verim alınamamakta, yeni tasarım ve modifikasyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada hâlihazırda dünyanın çeşitli yerlerinde kullanılan biyogaz reaktörleri incelenerek, bölgemizde bulunan organik atıklardan biyogaz üretmeye uygun bir reaktör tasarımı yapılmıştır. Tasarımda reaktörün bölgemiz koşullarında verimli çalışabilmesi, kurulum maliyetinin düşük olması ve kolay işletilebilmesi dikkate alınan en önemli kriterler olmuştur.

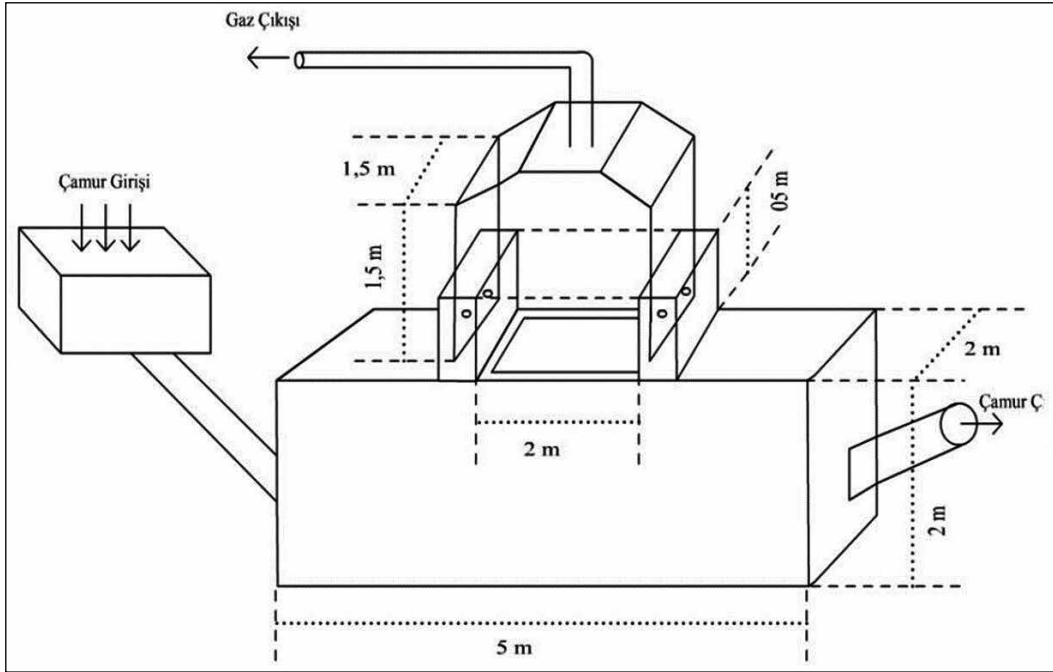
Bu çalışma kapsamında inşa edilen reaktör, Şekil 2 ve Şekil 3’de detaylıca görüldüğü üzere, organik atığın bulunduğu ana gövde, gazın depolandığı yüzer platform ve hammadde giriş-çıkış borularından oluşmaktadır. Reaktör seçilen ahırda bulunan hayvan sayısına bağlı olarak yapılan hesaplamalar sonucunda ana gövde ve gaz depolama ünitesi olarak toplam 25 m³ hacminde tasarlanmıştır. Hidrolik bekleme süresi 30

gün olarak planlanmıştır (Çizelge 1). Taşıyıcı ana gövde betonarme olarak düşünülmüştür. Ana gövdenin sıcaklığı gaz üretiminde belirleyici olacağından, ana gövdenin duvarları gaz betondan yapılmıştır. Ayrıca reaktör membran ve cam elyafı gibi izolasyon malzemeleriyle tamamen sarılıp, etrafı ince bir kum sıva tabakası ve ardından toprakla doldurulmuştur.

Gaz depolama bölümü uygun kalınlıkta sac plakalardan yapılmıştır. Bu bölüm gaz sızdırmazlığının ve basınç dengesinin sağlanması amacıyla su dolu bir haznenin içinde yüzecek şekilde tasarlanmıştır. Sac bölümler paslanmaya karşı boyanmıştır. Gaz deposunun alt bölümünde basıncın çok yükselmesi durumunda fazla gazı tahliye edecek kanallar bulunmaktadır. Normal şartlarda su altında bulunan bu delikler gaz basıncının fazla artması durumunda deponun su içinde yükselmesi ile açığa çıkacak ve valf görevi görerek fazla gazı sistemden tahliye edecektir. Depo bölümü tasarlanırken metan gazının son derece patlayıcı özellikte bir gaz olduğu özellikle göz önünde bulundurulmuş ve güvenliğe önem



Şekil 1. Çiftlik tipi entegre biyogaz üretim sistemi.



Şekil 2. Biyogaz reaktörü ve boyutlandırması.

Çizelge 1. Reaktör tasarımında kullanılan parametreler.

Atık Tipi	Büyük Baş Hayvan Gübresi
Hayvan Sayısı	12 Büyük Baş
Gübre Miktarı (Yaklaşık Tahmin Edilen)	300 kg / gün
Gübre Hacmi (Yaklaşık Tahmin Edilen)	0.3 m ³ / gün
Fermantör Sıcaklığı	25-35 °C
Başlangıç Katı Madde Oranı	% 20
İstenen Katı Madde Oranı	% 10
Kullanılacak Su Miktarı (Ortalama)	0.3 m ³ / gün
Hidrolik Bekleme Süresi	30 gün
Karıştırma (Hızı/Süresi)	10x10 dak / gün
Karıştırıcı Tipi	Mekanik Karıştırıcı
Fermantör Hacmi	20 m ³
Gaz Deposu	5 m ³
Ön Karıştırma Havuzu	2 m ³
Son Gübre Havuzu	2 m ³

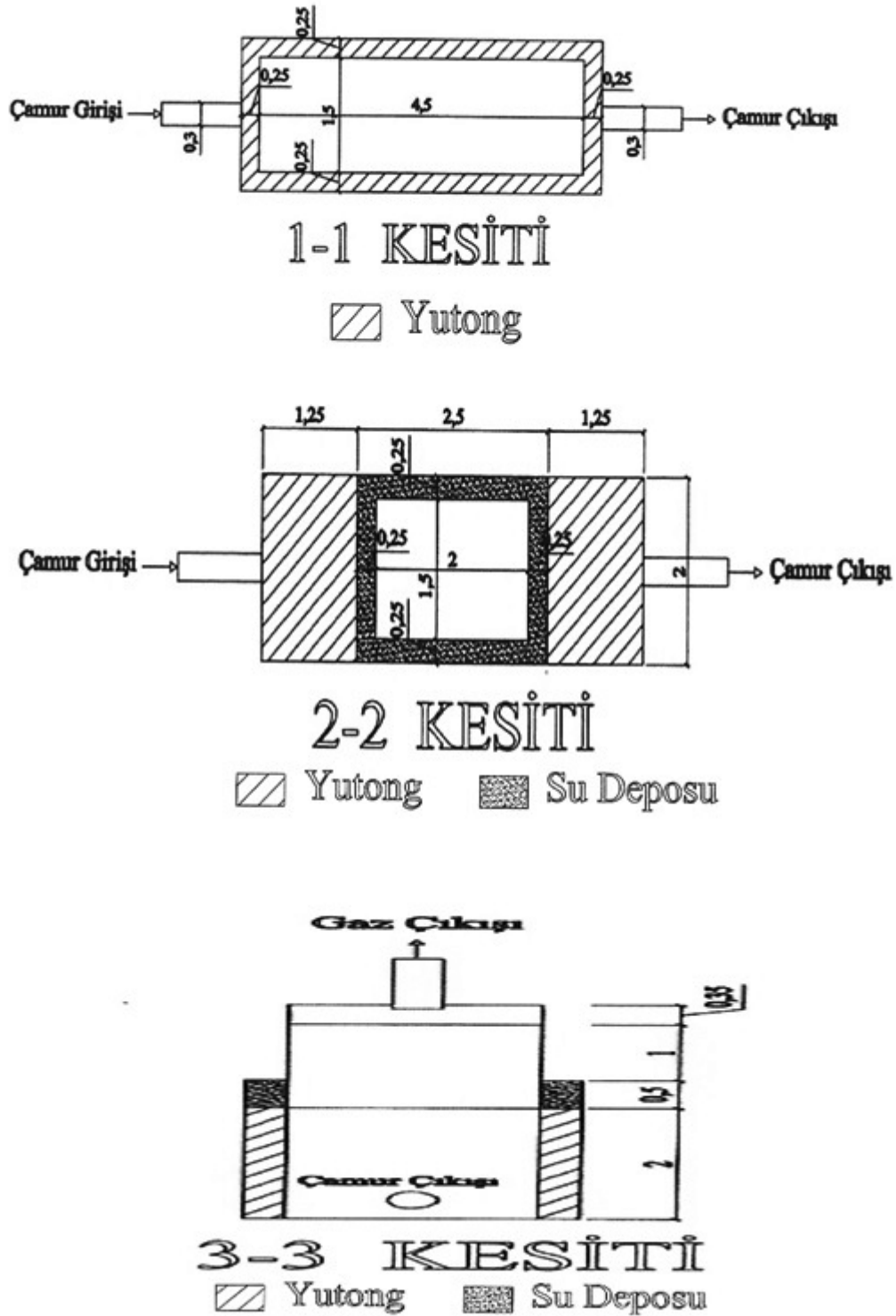
verilmiştir. Bu yüzden gaz deposu ana gövdeden tamamen bağımsızdır. Basınç çok arttığında tahliye delikleri çalışmasa bile, depo yerinden çıkarak gazı boşaltmakta ve herhangi bir patlama olasılığı önlenmektedir. Ayrıca gaz deposunda ne kadar gaz bulunduğunun bilinmesi amacıyla pratik bir gaz miktarı belirleme seviye ölçüğü yapılmıştır.

Ham madenin ana gövdeye aktarılması ve uzaklaştırılması uygun çaptaki koruge borularla ve tamamen cazibe ile sağlanmıştır. Bu iş için her hangi bir pompa veya mekanik düzenek kullanılmamıştır. Giriş borusu ahır içindeki basit bir hazneye kadar uzanmaktadır. Böylece her gün yapılan ahır temizleme işleminden sonra toplanan hayvan gübresi doğrudan giriş borusunun başında bulunan hazneye süpürülmekte, sulandırılmakta ve ardından buradaki kapak açılarak reaktöre aktarılmaktadır. Tasarlanan proses sürekli bir prosestir ve her gün ahır temizleme işlemi sonunda reaktöre besleme yapılmaktadır. Reaktör beslendikçe çıkış borusundan reaktöre giren hammadde miktarı kadar, kullanılmış gübre çıkışı olmaktadır.

Biyogaz üretiminde reaktör sıcaklığı önemli bir parametredir. Fakat bu tasarımda, reaktör maliyetleri artırmamak, üretilen gazdan tasarruf etmek ve işletme zorluklarına yol açmamak amacıyla ilave bir ısıtma sistemi düşünülmemiştir. Reaktöre beslenen gübre güneş enerjisi ile ısıtılmış su ile karıştırılıp, sıcaklığı yükseltilmekte ve reaktöre 45 °C civarında verilmektedir. Gerekli izolasyonun yapılmış olması, oluşan sıcaklığın bir ölçüye kadar korunmasına olanak sağlamaktadır. Ancak yapılan tasarım, ihtiyaç duyulması halinde reaktörü ısıtmak için gerekli sistemin kurulmasına imkân sağlayacak şekilde düşünülmüştür.

2.2. Deneysel Çalışmalar

Biyogaz reaktörüne günlük olarak ahırda biriken, büyük baş hayvan gübresi verilmekte ve her gün reaktöre verilen



Şekil 3. Biyogaz reaktörü kesitleri.

gübre miktarı kadar reaktörden arıtılmış gübre çıkışı olmaktadır. Deneysel çalışmalar için alınan numuneler giriş ve çıkış olarak ayrılmıştır. Bununla birlikte uygun katı madde oranını sağlamak için gübre, hacimce 1:1 oranında su ile karıştırılmaktadır. Bundan dolayı giriş numunesi sulandırılmış gübreden alınmıştır. Numunelerin kuru madde miktarları 105 °C’de sabit tartıma gelene kadar kurutulduktan sonra tartılması ile bulunmuştur. Nem içerikleri ise numunelerin sabit tartıma geldiğinde, toplam ağırlıkta meydana gelen kayıpla belirlenmiştir (Alvarez ve Liden 2009). Numunelerin pH ve elektrik iletkenliğini (EC) belirlemek için, su süspansiyonu yöntemi kullanılmıştır. pH, AB standartlarında belirtildiği şekilde 1:5 oranında hazırlanmış materyal-saf su süspansiyonunda cam elektrotlu pH metre ile ölçülmüştür (Ozdemir vd. 2004, Benito vd. 2006). Elektriksel iletkenlik ise materyal-saf su süspansiyonunun, basınç pompası yardımı ile Whatman 42 filtre kâğıdı yerleştirilmiş Buchner hunisinden süzülmesi ile sıcaklık dikkate alınarak EC elektrotu ile ölçülmüştür (Abad vd. 2003). Toplam organik madde içeriği, fırın kuru (105 °C) örneklerin 550 °C’de, 4 saat süreyle yakılması ilkesine göre % olarak hesaplanmıştır. Numunelerinin toplam azot içeriği, bileşikler içindeki azotun derişik sülfürik asit ile amonyağa dönüştürülmesi ve amonyanın ortam içinde amonyum sülfat halinde tutulması prensibine dayanan Kjeldahl metodu ile belirlenmiş ve % olarak ifade edilmiştir (Toplam N = Toplam kjeldahl azotu = amonyak azotu + organik azot) (Bremmer ve Mulvaney 1982) Çalışmada kullanılan numunelerin organik karbon muhtevası, Walkley-Black metoduna göre bulunmuştur (Ryan vd. 2001). C:N oranı, Organik karbon / Toplam azot oranlanmasıyla hesaplanmıştır. Giriş ve çıkış kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerlerinin belirlenmesi için alınan numuneler uygun koşullarda saklanmış ve standart metotlar kullanılarak belirlenmiştir (APHA 1989, US EPA 1993, APHA 2005, Demir ve Chen 2005, Zaher vd. 2008). Biyogaz içeriği, taşınabilir gaz analiz cihazı (GA94, Geotechnical Instruments) ile reaktörün gaz çıkışından ölçülmüştür (Ozdemir vd. 2014). Çalışma kapsamında ki tüm analizler üç replikasyonlu olarak yapılmış ve sonuçlar üç replikasyonun ortalaması $\pm$ SD olarak verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Küçük ölçekli veya çiftlik tipi diyebileceğimiz biyogaz reaktörleri, genellikle bir ailenin ısınma, mutfak ve sıcak su ihtiyacını karşılamak üzere kısıtlı bütçe ve teknik imkanlarla kurulur ve çoğunlukla anaerobik proses konusunda çok fazla bilgisi olmayan çiftçiler tarafından işletilirler. Bu durum reaktörlerin, basit ve ucuz olarak kurulabilmesini ve kolay

işletilebilir olmasını bir zorunluluk haline getirir. Tüm dünyada bu temel ilkedden hareketle geliştirilmiş ve genellikle yaygın kullanıldıkları ülkelerin ismi ile anılan (Çin Tipi, Hint Tipi vb.) reaktör tasarımları ortaya çıkmıştır. Küçük ölçekli reaktörlerin bu denli çeşitlilik göstermesi, bu sistemlerin iklim koşulları, tarım ve hayvancılık faaliyetlerindeki çeşitlilik ve kullanılacak atık türü gibi ülkelere göre değişim gösteren temel faktörlerden çok fazla etkilenmesindendir. Bu yüzden literatürdeki konu ile ilgili bilgilerin yeni bir reaktör tasarımı ve işletilmesi için katkısı sınırlı olmaktadır.

Bu çalışmada tasarlanan biyogaz reaktörünün inşasında literatürdeki temel bilgiler dikkate alınmış, ancak mevcut reaktör tiplerinin yapım ve işletiminde ortaya çıkan olumsuz yönleri giderilmeye çalışılmıştır. Çalışmada tasarlanan ve inşa edilen sistem sürekli bir prosestir. Biyogaz reaktörü tam olarak dolduğunda yaklaşık olarak 20 m³ sulandırılmış büyük baş hayvan gübresi almakta ve günlük olarak yaklaşık 0.6 m³ besleme yapılmaktadır. Günlük besleme miktarı kadar kullanılmış gübre reaktörden alınmaktadır. Reaktöre besleme yapılan gübrenin kuru madde oranı su ile seyreltilerek, % 10’a kadar düşürülmektedir. Reaktör sıcaklığının korunmasında faydalı olması açısından gübrenin sulandırılması için, 45 °C sıcaklığında su kullanılmakta ve gerekli sıcak su güneş enerji sisteminden sağlanmaktadır.

Reaktör içi sıcaklığı biyogaz verimini etkileyen ana parametrelerin başındadır (Yadvika vd. 2004). Optimum fermentasyon mezofilik sıcaklık aralığında (24-40 °C) olmakta, ani sıcaklık değişimi ve 20 °C’nin altında biyogaz verimi düşmektedir (Koçar vd. 2007). Çalışma boyunca reaktörde ortalama sıcaklık 26 °C olarak bulunmuştur. Bu sıcaklık ortalaması yaz aylarında reaktör sıcaklığının yükselmesine rağmen, genel olarak reaktörün mezofilik sıcaklık aralığının başlarında çalıştığını göstermektedir. Bununla birlikte çalışmada, literatür bulgularına uygun olarak uzun dönemde mikro-organizma adaptasyonu sağlandığında psikofilik sıcaklık (< 25 °C) derecelerinde de metan üretimi gerçekleştiği görülmüştür (Alvarez ve Liden 2009). Literatürde, biyogaz verimini artırmak için yapılan çalışmaların çoğu optimum sıcaklık aralığını sağlamak için kullanılan teknik ve teknolojiler üzerine yapılmıştır (Yadvika vd. 2004, El-Mashad vd. 2004, Zaher vd. 2008). Sıcaklık sağlamada güneş enerjisinin aktif veya pasif kullanımı, izolasyon malzemesi kullanımı ve bu çalışmada olduğu gibi giriş malzemesinin sıcak su ile karıştırılması en fazla kullanılan yöntemlerdir (Lansing vd. 2008, Cavinato vd. 2010).

Bu çalışmada organik madde (%), giriş = 80.9 - çıkış = 67.82, toplam karbon (%) giriş = 38.02 - çıkış = 29.32,

Çizelge 2. Kullanılan büyük baş hayvan gübresinin giriş / çıkış karakterizasyonu.

Parametreler	Reaktör Girişi	Reaktör Çıkışı
Toplam Kuru Madde (%)	10.65±0.32	14.42±1.65
Nem Miktarı (%)	89.35±0.32	85.58±1.65
pH	6.74±0.26	6.92±0.12
Elektriksel İletkenlik (mS/cm)	2.46±0.18	2.71±0.15
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/l)	7949±22.5	4516±32.43
Organik Madde (%)	80.9±3.64	67.82±3.24
Toplam Karbon (%)	38.02±2.35	29.32±1.63
Toplam Azot (%)	1.71±0.43	1.92±0.82
C/N	22.23	15.27

Çizelge 3. Üretilen biyogazın kompozisyonu.

Parametreler (%)	Reaktör Girişi
Metan (CH ₄)	59.26±0.12
Karbondioksit (CO ₂)	32.45±0.53
Oksijen (O ₂)	2.92±0.79
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	2.06±0.09
Diğer	3.31

toplam azot (%) giriş = 1.71 - çıkış = 1.92 ve C/N oranı giriş = 22.23 - çıkış = 15.27 olarak bulunmuştur. Organik madde ve toplam karbon miktarı azalırken, bu azalmadan dolayı azotun yüzdelik oranı yükselmiştir. Reaktöre yüklenen organik madde reaktör hacmi ve katı madde miktarına bağlı olarak değişmektedir. Biyogaz üretimi ile optimum organik madde yükleme oranı arasındaki denge, literatürde farklılık göstermektedir (Yadvika vd. 2004). Giriş kimyasal oksijen ihtiyacı değeri 7949 mg/l, çıkış değeri ise 4516 mg/l olarak belirlenmiştir. Reaktörün KOİ giderim verimi % 43.18 olmuştur. Bu değer anaerobik arıtım prosesleri için düşük olmasına rağmen, reaksiyon koşullarının optimum seviyelere getirilmesinin çok güç olduğu küçük ölçekli biyogaz tesisleri için normal kabul edilebilir. Biyogaz üretimini etkileyen önemli parametrelerden birisi de pH oranıdır. Sistemin ortalama pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri; pH giriş 6.74 - çıkış = 6.92, EC giriş = 2.46 - çıkış = 2.71 olarak ölçülmüştür. pH ve EC değerleri reaksiyon sırasında meydana gelen ayrışma ürünlerinden dolayı farklılık göstermiştir. Literatürde biyogaz üretimi için istenen 6.8 - 7.5 pH aralığı gözünde bulundurulursa, sistemin ortalama pH değerlerinin ideal değer aralığında bulunmaktadır (Yadvika vd. 2004).

Bu çalışmada üretilen biyogazın kompozisyonu Çizelge 3' de sunulmuştur. Buna göre elde edilen biyogaz %59.26 metan

(CH₄), %32.45 karbondioksit (CO₂), %2.92 Oksijen (O₂) ve %2.06 hidrojen sülfürden (H₂S) oluşmaktadır. Biyogazın içinde bulunan ve yüzde olarak çok küçük oranlara sahip diğer bileşenler ölçülmemiştir. Bununla birlikte literatürde, kullanılan prosese ve hammaddeye bağlı olmakla birlikte, biyogazı oluşturan ana bileşenlerin (CH₄ ve CO₂) oranı %50-70 metan (CH₄) ve %30-40 karbondioksit (CO₂) olarak verilmektedir (Gülen ve Arslan 2005). Bu bilgi ışığında, çalışmada üretilen biyogaz içindeki, metan ve karbondioksit oranlarının literatür değerleri arasında olduğu söylenebilir. Üretilen biyogaz içerisinde az miktarda da olsa oksijen (%2.92) bulunmuştur. Biyogaz proseslerinde oksijen olmaması öngörülür. Oksijenin sisteme gübre giriş ve çıkışı sağlayan borulardan girdiği, ancak mevcut miktar son derece düşük olduğundan sistemi olumsuz etkilemeyeceği düşünülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, küçük ölçekli biyogaz reaktörlerinin büyük baş hayvan gübrelarının bertarafında önemli bir alternatif olduğunu ve bu uygulama ile elde edilen biyogazın ısınma ve mutfak ihtiyacında başarı ile kullanılabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte biyogaz üretiminde çok önemli bir etken olan sıcaklığın, ilave bir ısıtma sistemi kurulmadan, sistemin iyi izole edilmesi ve güneş enerjisinden sağlanan sıcak su kullanımı ile limit değerlere yaklaştırılabileceği ve reaktör tasarımı, yüzer gaz deposu kullanımın, sabit gaz basıncı elde etmede en pratik yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Literatürde enerji bitkileri, çeşitli bitkisel ve hayvansal atıklar ve bunların karışımlarından biyogaz üretimine yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Bununla birlikte literatür çalışmaların çoğu laboratuvar ölçekli küçük çalışmaları kapsamakta ve bu çalışmalardan edinilen bilgilerin pratikteki uygulamalara katkısı sınırlı olmaktadır. Bundan dolayı

bilinen yöntem ve tekniklerin pilot ölçekli reel tesislerde denenmesi gerekmekte ve önerilmektedir. Biyogaz üretiminde belirleyici olan parametrelerin bölgenin iklim koşulları, atık cins ve karakterine bağlı olduğu düşünüldüğünde, pilot ölçekli çalışmaların yerel şartlarda projelendirilmesi ve işletim koşullarının araştırılarak maksimum verimi sağlayacak uygulamaların ortaya koyulması yenilenebilir enerji kaynağı olan biyogazın kabul edilebilirliği ve popülaritesini artıracaktır.

5. Teşekkür

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında desteklenen 2012-32-00-001 no'lu "Sakarya ilinin biyogaz potansiyelinin belirlenmesi ve küçük ölçekli biyogaz tesisinin optimizasyonu" projesinin çıktılarından üretilmiştir. Kaynarca Kaymakamlığı tesis yerinin belirlenmesi ve inşasına katkıda bulunmuştur. Katkılarından dolayı, SAÜ, Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna ve Kaynarca Kaymakamlığına, özellikle Kaymakam Ersin Emiroğlu'na teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maquieira, A., Noguera, V. 2003. Physico-chemical and chemical properties of some coconut soil dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technol.*, 8: 241-245.
- Acaroglu, M., Aksoy, AS., Ogut, H. 2010. The potential of biomass and animal waste of Turkey and the possibilities of these as fuel in thermal generating stations. *Energ Source Part A*, 21(4): 339-345.
- APHA, 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Health Association, Washington, DC.
- APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed. American Public Health Association, American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).
- Alvarez, R., Liden, G. 2009. Low temperature anaerobic digestion of mixtures of llama, cow and sheep manure for improved methane production. *Biomass Bioenerg.*, 33: 527-533.
- Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., De Antonio, R. 2006. Chemical and physical properties of prunig waste compost and their seasonal variability. *Bioresource Technol.*, 97: 2071-2076.
- Bremner, J. M., Mulvaney, C. S., 1982. Nitrogen-Total. In: Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, Ed-s A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney, Am. Soc. Argon. Madison Wis. 595-624.
- Cavinato, C., Fatone F., Bolzonella D., Pavan P. 2010. Thermophilic anaerobic co-digestion of cattle manure with agro-wastes and energy crops: Comparison of pilot and full scale experiences. *Bioresource Technol.*, 101: 545-550.
- Cecchi, F., Battistoni, P., Pavan, P., Fava, G., Mata-Alvarez, J. 1994. The AF-BNR-SCP process preliminary results. *Water Sci. Technol.*, 30(8): 65-72.
- Demirer, GN., Chen, S. 2005. Two-phase anaerobic digestion of unscreened dairy manure. *Process Biochem.*, 40: 3542-3549.
- Elefsiniotis, P., Oldham, WK. 1994. Substrate degradation patterns in acidphase, anaerobic digestion of municipal primary sludge. *Environ. Technol.*, 15: 741-751.
- El-Mashad, HM., Zeeman, G., Van Loon WKP., Bot, GPA., Lettinga, G. 2004. Effect of temperature and temperature fluctuation on thermophilic anaerobic digestion of cattle manure. *Bioresource Technol.*, 95: 191-201.
- Gülen, J., Arslan, H. 2005. Biogas. *Sigma J. Engin. Natural Sci.*, 4: 121-129.
- Huttunen, S., Lampinen, A. (Eds.) 2005. Bioenergy Technology Evaluation and Potential in Costa Rica. University of Jyväskylä Printing House, Jyväskylä, Finland.
- Karim, K., Hoffmann, R., Klasson, KT., Al-Dahhan, MH. 2005. Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mode of mixing. *Water Res.*, 39: 3597-3606.
- Kelleher, BP., Leahy, JJ., Henihan, AM., O'dwyer, TF., Sutton, D., Leahy, MJ. 2002. Advances in poultry litter disposal technology – a review. *Bioresource Technol.*, 83: 27-36.
- Koçar, G., Eryaşar, A., İlleez, B., Atayol, AA. 2007. Güneş enerjisi destekli biyogaz sistemleri. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 98: 19-26.
- Lansing, S., Botero RIB., Martin, JF. 2008. Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource Technol.*, 99: 5881-5890.
- Meyer, DM., Garnett, I., Guthrie, JC. 1997. A survey of dairy manure management practices in California. *J. Dairy Sci.*, 80: 1841-1845.
- Nielsen, HB., Angelidaki, I. 2008. Codigestion of manure and industrial organic waste at centralized biogas plants: process imbalances and limitations. *Water Sci. Technol.*, 58(7): 1521-1528.
- Ozdemir S., Dede OH., Koseoglu G. 2004. Recycling of MSW compost and sewage sludge as growing substrate for ornamental potted plants. *Fresen. Environ. Bull.*, 13(1): 30-33.
- Ozdemir, S., Dede, OH., Dede, G. 2014. Comparison of the composting performance of four different sewage sludge amendments. *Compost Sci. Util.*, 22(4): 207-215.

- Ryan, J., Estefan, G., Rashid, A., 2001.** Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. Second Edition. Jointly published by the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas ICARDA and the National Agricultural Research Center NARC. Available from ICARDA, Aleppo, Syria. 172.
- Sterling Jr, MC., Lacey, RE., Engler, CR., Ricke, SC. 2001.** Effects of ammonia nitrogen on H₂ and CH₄ production during anaerobic digestion of dairy cattle manure. *Bioresource Technol.*, 77: 9-18.
- Ullman, JL., Mukhtar, S. 2007.** Impact of dairy housing practices on lagoon effluent characteristics: implications for nitrogen dynamics and salt accumulation. *Bioresource Technol.*, 98: 745-752.
- US EPA, 1993.** Method 365.1 Determination of Phosphorus by Semi-Automated Colorimetry, Revision 2; Environmental Monitoring Systems Laboratory Office of Research and Development US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH 45268 (EPA/600/R-93/100).
- Yadvika, 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.
- Zaher, U., Frear, C., Pandey, P., Chen, S. 2008.** Evaluation of a new fixed-bed digester design utilizing large media for flush dairy manure treatment. *Bioresource Technol.*, 99: 8619-8625.