
Araştırma Makalesi / Research Article

Evsel Organik Atıklar ve Sığır Gübresi Karışımlarından Biyogaz Üretiminin İncelenmesi

Halil ŞENOL^{*1}, Ünsal AÇIKEL²

¹Giresun Üniversitesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Giresun

²Cumhuriyet Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas

Öz

Bu çalışmada farklı organik evsel katı atıklardan (EKA) ve taze sığır gübresinden (SG) anaerobik fermantasyon ile biyogaz üretilmiştir. Rastgele seçilen organik evsel katı atıkların önce elementel analiz cihazı ile karbon (C) /azot (N) oranı belirlenmiştir. Daha sonra kuru madde ve organik uçucu madde oranı tayini yapılmıştır. Evsel atıkların C içeriği N içeriğinden fazla olması nedeniyle C/N oranı ortalama 45 olarak bulunmuştur. Sonra bu atık karışımı C/N oranları anaerobik fermantasyon için uygun aralık olan 20-35 aralığına göre ayarlanacak şekilde sığır gübresi (SG) ile karıştırılmıştır. Bu evsel atıklar: sığır gübresi kütlece karışım oranları 1:0, 2:1, 1:1, 1:2, 0:1 şeklinde 5 farklı karışım oranları oluşturulmuştur. Anaerobik fermantasyon 500 ml' lik 2 yan boyunlu kapaklı şişelerde gerçekleştirilmiştir. Bütün deneyler 3 tekerrürlü yürütülmüştür. Biyogaz oluşumu 40 °C'de gerçekleştirilmiştir. En yüksek biyogaz oluşum hızı 280 ml/g toplam katı madde olup, EKA: SG 2:1 karışım oranına sahip reaktörde gerçekleşmiştir. Anaerobik fermantasyondaki KOİ giderimleri her 7 günde bir ölçülmüştür ve toplam KOİ giderimi en fazla % 48,9 olarak kütlece 2:1 oranında karıştırılan reaktörde bulunmuştur. Çalışma sonucunda evsel katı atıkların sığır gübresi ile anaerobik fermantasyonda iyi bir karışım olabileceği kanaatine varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyogaz, Evsel katı atıklar, C/N oranı, Sığır gübresi.

Investigation of Biogas Production from Domestic Organic Waste and Cattle Manure Mixtures

Abstract

In this study, biogas was produced by anaerobic fermentation from different organic household solid wastes (HSW) and fresh cattle manure (CM). The ratio of carbon C/N in the elemental analyzer was determined first from randomly selected organic domestic solid wastes. After that, dry matter and organic matter content were determined. The average C/N ratio of domestic wastes is found to be 45 because the content of C is more than N content. Then this waste mixture was mixed with cattle manure (CM) to adjust the C/N ratios to the appropriate range of 20-35 for anaerobic fermentation. Mixed ratios of 5 different proportions were formed in the ratio of 1: 0, 2: 1, 1: 1, 1: 2, 0: 1. Anaerobic fermentation was carried out in 500 ml 2-necked bottle. All experiments were carried out in 3 layers. Biogas formation was carried out at 40 °C. The highest rate of biogas formation occurred in the reactor with the mixing ratio of DSW: CM 2: 1 as a solid of 280 ml / g total solid waste. COD removal rates in anaerobic fermentation were measured every 7 days and total COD removal was found in a 2: 1 mass ratio reactor with a maximum of 48.9%.The study concluded that domestic solid wastes could be a good mixture of cattle fermentation and anaerobic fermentation..

Keywords: Biogas, Household solid waste , C/N ratio, Cattle manure.

*Sorumlu yazar: halilsenol@yahoo.com

Geliş Tarihi: 16.07.2018, Kabul Tarihi: 27.12.2018

1. Giriş

21. yüzyıla kadar dünyamızda fosil yakıtlar kullanılmıştır. 21. Yüzyıl başladığında ise tükenbilir enerji kaynaklarının yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Bu durum yeni enerji kaynağı arayışına yol açmıştır. Bu arayışın önemli sonuçlarından biri biyogaz enerjisi olmuştur. [1]. Bu gaz, hayvan ve bitki gibi organik atıklardan anaerobik fermantasyon yöntemi ile elde edilen, yanıcı bir gazdır. İçeriğinde, % 60-70 metan (CH_4), % 40-30 karbondioksit (CO_2) bulunur. Ayrıca, eser miktarlarda hidrojen gazı (H_2), karbon monoksit (CO), hidrojen sülfür (H_2S) ve azot (N_2) gazları içerir [2]. Biyogazın yoğunluğu $1,21 \text{ kg/m}^3$ 'dür ve $-164 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sıvılaşır. Biyogazın enerji değeri içerisinde büyük oranda bulunan CH_4 gazından kaynaklanmaktadır. CH_4 gazı oranına göre biyogazın değeri de değişir. Metan gazının ısı değeri, yaklaşık 8.900 kcal/m^3 'tür. İçindeki metan gazı miktarına göre, biyogazın ısı değeri $4.700-5.700 \text{ kcal/m}^3$ arasında değişmektedir. [3]. CO_2 , SO_2 , CO , azot oksitleri, su buharı ve is biyogazın yanması sonucu ortaya çıkar. SO_2 'nin oluşma sebebi, biyogazın içindeki H_2S 'den kaynaklanmaktadır. 1 m^3 biyogazdaki enerji; $1,46 \text{ kg}$ kömür, $0,62 \text{ litre}$ gazyağı, $0,43 \text{ kg}$ bütan gazı, $12,3 \text{ kg}$ tezek, $3,47 \text{ kg}$ odun ve $4,70 \text{ kWh}$ elektrik enerjisine eşittir. Biyogaz, metan gazının yanıcılığından dolayı doğalgaza benzemektedir [2].

Taze sığır gübresi bazı toksik bileşenleri, zararlı ot tohumlarını ve bazı hastalık etmenlerini içermektedir. Sığır gübresinin anaerobik fermantasyonda değerlendirilmesi sonucu anaerobik mikroorganizmaların oluşturduğu birtakım biyokimyasal tepkimeler sayesinde bu zararlı bileşenler etkisiz hale gelmektedir [1]. Evsel katı atıklar ise doğaya verdikleri kötü koku vb. gibi nedenlerden dolayı zararlıdır. Bu nedenle bu atıkların değerlendirilmesi çevreci bir yaklaşıma neden olmaktadır. Bunun yanında hem enerji oluşur hem de yan ürün olarak gübre üretilir [4,14].

1.1. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Başlıca Organik Atıklar

Organik içerikli birçok atık madde ile biyogaz üretilebilir. Biyogaz tek çeşit atıktan üretilebileceği gibi, biyogazı birkaç atığın karışımı ile de üretmek mümkündür. Bu sebeple, biyogaz üretiminde kullanılabilen farklı organik atıkları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [1].

1.1.1. Hayvansal Organik Atıklar

Hayvansal organik atıkların büyük kısmı hayvansal yaş gübredir. Bu gübrelerin anaerobik fermantasyonda değerlendirilmesi dışında, alternatif çözüm kaynağı çok azdır. Bu nedenle anaerobik fermantasyonda kullanımı hem organik gübre hem de biyogaz oluşturması açısından yararlıdır. Sığır, tavuk vb. hayvan dışkıları yanında, çiftlik atıkları ve hayvansal mezbaha vb. atıkları, biyogaz üretimi için gerekli organik atıklardır [5].

1.1.2. Bitkisel Organik Atıklar

Enerji bitkileri ve algler gibi bitkisel atıklar, ince sap, çimen atıkları, mısır atıkları, şeker pancarı yaprakları, saman, çimen atıkları, anız gibi bitkilerin işlenmeyen bölümleri biyogaz üretimi için kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra, orman atıkları da biyogaz üretimi için organik atık olarak kullanılmaktadır [3,6].

1.1.3. Kentsel ve Endüstriyel Atıklar

Biyogaz üretiminde kâğıt, tekstil, deri, dip çamurları ve kanalizasyon, gıda endüstrisi atıkları da kullanılmaktadır. Büyük yerleşim yerleri bunun için idealdir. Fakat su arıtma tesislerindeki atıkların içerisinde anaerobik bakteriler için toksik madde oranının yüksek olmasından dolayı, oksijensiz ortamda fermantasyon gerçekleştirmek daha zordur [1].

1.2. Biyogazın Oluşum Aşamaları

Anaerobik işlemin üç kısmı vardır. Bu kısımlar sırasıyla hidroliz, asit oluşum ve metan oluşum aşamasıdır. Organik atıklar, son aşamada CO_2 ve CH_4 'e dönüşür. Organik atıklar geç bozulan

maddelerden oluşur ve içeriğinde farklı yapılar bulunur [7]. Bu nedenle her bir organik atığın anaerobik proseslerde yıkımı farklı zaman aralıklarına sebep olmaktadır [8].

1.2.1. Hidroliz Aşaması

Organik maddeler içerisinde bulunan karbonhidrat, yağ ve protein mikroorganizmalar tarafından parçalanır. Parçalanma ile birlikte, protein, aminoasit, selüloz ise, şekere dönüşür. Yağ asitlerinde ise durum farklıdır ve hidroliz aşaması zaman alıcıdır. Çünkü hücre dışı enzimlerden etkilenmezler. Bu nedenle, hidroliz aşaması anaerobik fermantasyonun sürecini belirleyen aşamadır.

1.2.2. Asit Oluşum Aşaması

Asit oluşturan maddelerin fazla olmasıyla parçalanma gerçekleşir. Hücre için gerekli olmayan maddelerin dışarı atılması bu yolla gerçekleşir. Ortamdaki pH düşer ve asit miktarı artar. CH₄, CO₂ ve az miktarda hidrojen sülfür ortaya çıkar. Metan bakterileri oluşunca, 3-3,5 pH'da KOİ derişimi değişmez, ayrıca ortam pH' ı ayarlandıktan sonra, KOİ derişimi azalmaya başlar.

1.2.3. Metan Oluşum Aşaması

Asit parçalayan ve metan oluşturan bakteriler, çevre şartlarına göre hassas bakterilerdir. Asit oluşturabilen bakterilerin çoğalma hızını, metan bakterilerinin çoğalma hızıyla kıyaslayacak olursak, asit oluşturabilen bakterilerin çoğalma hızı çok daha yüksektir. H₂ ve asetat, CH₄ oluşumunda ortaya çıkan organik asitlerdir. Bu aşamaların sonucu olarak ise CH₄ ve CO₂ oluşur [9]. Metanojen bakteriler ışığa duyarlı bakteriler olduğu için biyogaz üretim aşamasında ışık geçirgenliği yok edilmelidir [13].

1.1. Mutfak atıkları

Ülkemizde kişi başı günlük yaklaşık 1,2 kg toplam katı atık düşmektedir [9-10].

Tablo 1. Çeşitli organik atıkların biyogaz üretim potansiyelleri [6]

Organik atık	Biyogaz miktarı (litre/kg)
Evsel atıklar	265-660
Tavuk gübresi	310-620
Sığır gübresi	90-31
Buğday samanı	0-300
Çavdar samanı	200-300
Arpa samanı	290-310
Mısır sapları ve artıkları	380-460
Sebze atıkları	330-360
Yerfıstığı kabuğu	365
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290

Tablo 1'de 1 kg evsel organik atıklardan elde edilen biyogaz miktarları verilmiştir. Organik atıklar oldukça yüksek biyogaz üretim potansiyeline sahiptir.

1.2. KOİ

Atık suların kirlilik oranlarını (evsel veya endüstriyel) belirlemek için en önemli yöntemlerden biri KOİ analizleridir. Maddenin oksitlenmesiyle biyolojik olarak parçalanma hızı olmaksızın, organik maddelerin oksitlenebilme durumunu içermektedir. Çevre kirliliğinde, KOİ çok sık dile getirilen bir unsurdur. Atık suların bünyesindeki organik maddelerin miktarını, kimyasal oksidasyonları için gerekli oksijen miktarı cinsinden belirlenebilmesi ile elde edilebilen bir metottur. Yöntem tüm organik

maddelerin, kuvvetli oksitleyicilerle asit ortamlarda oksitlenebilecekleri esasına dayanır [15]. Biyogaz üretim aşamalarında KOİ ölçümlerinin yapılması, organik maddelerin ne kadarının anaerobik mikroorganizmalar tarafından kullanıldığını gösterdiğinden, anaerobik sürecin kontrolü açısından önemlidir.

Haider vd. [17] yaptıkları bir çalışmada besin atıkları ve pirinç çeltiği atıklarını belirli oranlarda karıştırarak biyogaz elde etmişlerdir. C/N oranlarına göre karıştırılan atıkların anaerobik ortam için uygun bir karışım oluşturabileceği belirlenmiştir.

Ojolo vd. [18] yaptıkları bir çalışmada mutfak atıkları ve sığır gübrelere biyogaz üretimi çalışılmıştır. Deneylere aşı olarak kümes hayvanları gübresinden de farklı oranlarda eklenmiştir. Kümes hayvanları sığır gübresi ve mutfak atıkları karışımlarıyla karşılaştırılmalı olarak çalışılmıştır. 3 ayrı reaktörde çalışılmış ve her bir reaktör hacmi 12 L olarak belirlenmiştir. Sıcaklık olarak 30,5 °C ve fermantasyon süresi ise 40 gün sabit alınmıştır. Bu çalışmaların sonucunda toplam biyogaz üretim sığır gübresi için 0,0230 dm³/gün, kümes hayvanları gübresi için 0,0143 dm³/gün ve mutfak atıkları için 0,0318 dm³/gün olarak bulunmuştur.

Ziauddin ve Rajesh [19] yaptıkları çalışmada mutfak atıklarından biyogaz üretimi gerçekleştirilmiştir. Anaerobik fermantasyonda pH 6,4-7,8 arasında tutulmaya çalışılmıştır. Fermantasyon işleminde ortamın pH'ı 6,4' ün altına düştüğü zaman ise sodyum hidroksit (NaOH) ile 7'ye ayarlanmıştır. Bu çalışmada mutfak atıklarına aşı maddesi olarak sığır gübresi eklenmiştir ve 37 °C çalışma sıcaklığı seçilmiştir.

Malakahmad [20] yaptıkları bir çalışmada mutfak atıklarından ve lağım atıklarından biyogaz üretmeyi denemişlerdir. Farklı oranlarda mutfak atıkları ve lağım atıkları kullanılan bu çalışmada optimum karışım oranı olarak; %75 mutfak atıkları % 25 organik lağım atıkları olarak bulunmuştur. Bu çalışmada mutfak atıklarının C/N oranı 38,1 bulunmuştur.

Iqbal vd. [23] yaptıkları çalışmada sığır gübresi ve mutfak atıklarından biyogaz üretmişlerdir. Üretim için kurdukları sistemde 3 tane reaktörde çalışmışlardır. Bu reaktörlere sırasıyla mutfak atıkları (reaktör 1), mutfak atıkları ve sığır gübresi (reaktör 2) ve sığır gübresi (reaktör 3) olmak üzere 3 reaktör oluşturulmuştur. Bu sistem oda sıcaklığına yakın şartlarda (25 - 30 °C) mezofilik şartlarda yürütülmüştür. Yürütülen bu çalışmada en yüksek verimin reaktör 2' de yani mutfak atıkları ve sığır gübresi karışımından elde edildiği gözlemlenmiştir. Mutfak atıklarının çok büyük biyogaz üretim potansiyeline sahip olduğu vurgulanmıştır. Ancak mutfak atıklarından tek başına biyogaz üretiminin oldukça verimsiz olduğu ve bu verimi artırmak için diğer organik atıklarla karıştırılarak fermantasyona bırakılması gerektiği vurgulanmıştır [21]. Bu çalışmada yine mutfak atıklarının çok büyük bir biyogaz üretim verimine sahip olduğu ancak bu organik mutfak atıklarından tek başına biyogaz üretiminin verimsiz olmasının sebebi ise C/N oranının belirlenememesidir. Karışım oranlarından daha yüksek verim alınmasının sebebi ise aslında oluşturulan substrat su karışımının C/N oranının 20 ila 30 arasında bir değere sahip olduğundan kaynaklanmıştır [22].

Bu çalışmada, sığır gübresi ve evsel atıklar kullanılarak biyogaz üretilmiştir. Anaerobik fermantasyon süreci KOİ giderimi ile kontrol edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Evsel katı atık ve sığır gübresine uygulanan kuru madde ve organik madde analizleri

Kuru madde analizi, anaerobik fermantasyon işlemine başlanmadan önce nem içerdiğinden dolayı hemen hemen bütün organik atıklara yapılmalıdır. Bu sayede toplam katı oranı belirlenmiş olur. Rastgele seçilen EKA homojen olarak karıştırılmıştır. EKA ve taze SG'sine kuru madde analizi yapılmıştır. Toplanan numunelerin her biri hassas terazide 2 gram tartılıp, etüvde 105 °C'de içerisinde nem kalmayacak şekilde yaklaşık 48-72 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma işlemi porselen kroze ile yapılmıştır. Öncelikle porselen kroze etüvde 110 °C' de 6 saat boyunca içerisinde hiç nem kalmayacak şekilde kurutulup darası alınmıştır. Kurutulan numunelerin böylelikle % katı madde oranları belirlenmiştir. Daha sonra bu tartımı alınmış kuru numuneler ayrı ayrı porselen krozeye konularak kül fırında 550 °C'de 2,5-3 saat bekletilmiştir. Yakma işlemi tamamlandıktan sonra numuneler alınarak desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Sonuç olarak, organik maddeler bu sıcaklıkta yanarak uçucu madde haline gelmektedir. Yandığında oluşan kül gravimetrik olarak tartılmıştır ve uçucu madde miktarı bulunmuştur [12,13].

2.2. Anaerobik fermantasyon süreci

Bu süreçte, her bir reaktör EKA: SG kütlece karışım oranları 1:0, 2:1, 1:1, 1:2, 0:1 oranında karıştırılarak anaerobik fermantasyon deneyleri için deney sistemi oluşturulmuştur. Buna göre 500 ml'lik 2 boyunlu şişeler kesikli çalışan bir biyoreaktör olarak kullanılmıştır. Toplamda her biri 3 tekerrürlü olmak üzere % 10 olacak şekilde 500 ml'lik 15 adet biyoreaktöre biyogaz oluşumu için kurulum yapılmıştır. Biyoreaktörlerin çıkış borusuna göre uygun silikon hortum ve bu hortumun ucuna da 100 ml'lik gaz toplama torbaları eklenmiştir. Biyoreaktörler bütün deneylerde % 80'i (yani 400 ml) substrat ve su karışımıyla doldurulup ve % 20'si boş kalmıştır. Çünkü metan bakterilerinin biyogaz üretimi için bir miktar havaya (yani azot gazına) ihtiyaç duymaktadır. Gaz kaçağını engellemek amacıyla hortumların giriş yeri ve çıkış yeri bant yardımıyla kapatılmıştır. Oksijensiz fermantasyon işlemi için her bir reaktörün pH ölçümü yapılacak ve ardından eğer pH biyogaz oluşumda metan bakterilerinin üremesi için gerekli şartlar olan 6,6 - 7,6 değerinde değilse pH bu aralıktaki gelene kadar hazırlanan 8 M NaOH ve 8 M H₂SO₄ tampon çözeltileri ile ayarlama yapılmıştır. Anaerobik fermantasyon için sıcaklık 40 °C'nin üzerine çıktığında daha fazla gaz üretimi olur fakat sıcaklık maliyetlidir. Daha düşük sıcaklıklarda ise biyogaz üretimi verimsiz olmaktadır. Bu nedenle literatürde optimum sıcaklık oranı 30-40 °C olarak belirlenmiştir [1]. Isıtma sıcaklığı 40°C ± 2 °C olarak seçilmiştir. Deneyler 3 katlı olmak üzere yürütülmüştür, yani her bir reaktörden eş zamanlı olmak üzere 3 adet hazırlanmıştır. Isıtma işlemi ısıtıcı manyetik karıştırıcı yardımıyla yapılmıştır. Deneyler başlamıştır ve ortalama 12 saatte bir 2-3 dakika reaktörler karıştırılmıştır. Oluşan gaz miktarı hacmi bilinen biyogaz gaz toplama torbaları sayesinde ölçülmüştür. Anaerobik süreç gaz oluşumu durana kadar devam etmiştir. Sonuç olarak her bir kuru maddenin gaz oluşum hızı ml biyogaz/g toplam katı madde olarak hesaplanmıştır. Metanojen bakteriler ışığa duyarlı bakteriler olduğu için biyogaz üretim aşamasında reaktörlerin her biri alüminyum folyo ile sarılarak reaktörlerin ışık geçirgenliği yok edilerek anaerobik fermantasyon düzeneği sağlanmıştır. Fermantasyon işlemi ortalama 70 gün sürmüştür. 70. günün sonunda anaerobik işlem bitmiştir ve oluşan biyogaz miktarı ile biyogazın içeriği % hacimsel olarak hesaplanmıştır. Şekil 1'de anaerobik fermantasyon düzeneği görülmektedir.



Şekil 1. Anaerobik fermantasyon düzeneği

Anaerobik fermantasyondaki bütün KOİ tayinleri APHA standart metotlara göre yapılmıştır [16]. Numunenin KOİ analizi 400 mg/L değerinden daha yüksek miktarlarda olduğundan açık reflux titrimetrik yöntemle yapılmıştır. KOİ analizleri sulu karışımın sadece sıvı kısmına yapılmıştır. Bu nedenle sıvı kısımda bulunan organik maddelerin anaerobik süreçte miktarını elde edebilmek açısından önemlidir.

3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 2’de görüldüğü gibi elementel analiz cihazı ile taze sığır gübresi ve evsel katı atıkların C ve N oranları belirlenmiştir. Buradan da her bir atığın C/N oranları hesaplanmıştır. Ayrıca her bir atığın kuru madde oranı ve uçucu organik madde miktarı bulunmuştur.

Tablo 2. . EKA ve SG’nin deneylerde kullanılan bazı parametrelerin değerleri

Parametreler	SG	EKA
% C	33,5	54,45
% N	1,72	1,21
C/N	19,47	45
% kuru madde	21,0	15
% Uçucu katı madde (% KM)	83,0	81
pH	7,2	4,3
% Nem	79	85

Tablo 3’de taze EKA: SG kütlece karışım oranlarının elementel analiz cihazından çıkan C ve N oranlarına göre C/N oranları hesaplanmıştır. Buna göre atık havuzu ve sığır gübrelere ağırlıkça karıştırılmıştır. C/N oranı anaerobik süreçlerde anaerobik bakterilerin C ve N elementlerinin tüketim hızına göre ayarlanmalıdır. C/N oranlarının ayarlanması hidroliz aşamasında inhibitör etki yapan fazla N ‘nin dengelemesi ve uçucu yağ asitlerinin birikimini dengeler. C/N değerlerinin ayarlanması biyogaz üretim verimini etkileyebilmektedir.

Tablo 3. Anaerobik fermentasyon için bazı EKA: SG kütlece karışımlarının C/N oranları

EKA: SG kütlece karışım oranları	Karışımın C/N oranları
1:0	45,00
2:1	36,49
1:1	32,23
1:2	27,98
0:1	19,47

Tablo 4’de standart metotlara göre yapılan analizlerden anlaşılacağı gibi organik içeriği verilmiştir. Bu analizler APHA standart metotlara göre yapılmıştır [11]. Bu Tabloya bakıldığında sığır gübresinin organik içeriğinde ham proteinin % 11,9 ve nişastanın % 12,4 olarak verilmiştir. EKA ise SG ‘ne göre protein açısından daha fakir ve lignin açısından daha zengindir. Anaerobik sindirimde en yüksek ve en hızlı karbohidratların olacağını düşünürsek bu nişasta ve ham protein değerlerinin bileşim miktarı oldukça iyidir [12]. Selüloz, hemiselüloz ve lignin tayinleri Merkezi Araştırma Laboratuvarında soxhlet ve velp cihazlarıyla yapılmıştır. Yağ asitleri sadece uçucu yağ asidi olarak (asetik asit) belirlenmiştir. Asetik asit miktarı gaz kromatografisinde kantitatif olarak analiz edilmiştir. Nişasta ve ham protein karbohidratlar tayinlerine göre kimyasal yöntemlerle belirlenmiştir.

Tablo 4. Taze SG ve EKA’nin içeriği

Bileşen	SG, Toplam katı madde (%)	EKA, Toplam katı madde (%)
Selüloz	24,00	27,10
Ham protein	11,90	8,69
Nişasta	12,40	14,68
Yağ asitleri	0,10	0,80
Lignin	12,10	14,50
Hemiselüloz	11,90	13,65

Tablo 5’de 5 farklı kütlece karışım oranlarının 70 gün sonunda oluşturduğu biyogaz hızları verilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere en yüksek biyogaz oluşum hızı 2:1 karışım oranı ile hazırlanan reaktöre aittir. En düşük biyogaz oluşum değeri ise ağırlıkça 1:2 olan karışım oranında gerçekleşmiştir. Bu farklı üretim hızlarının muhtemel nedenleri arasında anaerobik bakterilerin C ve N mikro besinlerini farklı hızlarda tüketilmesi vardır.

Tablo 5. EKA ve SG’nin farklı oranlarının biyogaz oluşum hızları

EKA: SG Atığı Karışım Oranları	Biyogaz Üretim Miktarı (ml/g_{kuru Madde})
1:0	262,20
2:1	280,00
1:1	245,05
1:2	210,15
0:1	225,80

Tablo 6’da 5 farklı EKA: SG atığı karışım oranlarının oluşturduğu biyogaz içeriği % hacimsel olarak verilmektedir. En yüksek metan içeriği en yüksek verim alınan reaktörde (2:1 karışım olan reaktörde) görülmektedir. En düşük metan içeriği ise hacimce % 58,1 ve % 58,3 olarak 1:0 ve 0:1 oranında karıştırılan reaktörde görülmektedir. H₂S oranlarının en düşük değeri 301 ppm ve en yüksek değeri ise 444 ppm olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar Haider vd. [17] yaptıkları biyogaz üretim çalışma sonuçlarına çok benzer bulgulara sahiptir.

Tablo 6. EKA ve SG’nin farklı karışım oranlarının biyogaz içeriği

EKA: SG atığı karışım oranları	Hacimce% CH₄ değeri	Hacimce % CO₂ değeri	H₂S (ppm miktarı)
1:0	58,1	41,3	444
2:1	61,0	38,6	368
1:1	59,0	40,5	391
1:2	60,2	39,2	301
0:1	58,3	41,3	305

Şekil 1’de EKA: SG kütlece karışım oranı 0:1 olan reaktöre ait KOİ giderim prosesidir. Bu reaktörde yani sadece sığır gübresinin olduğu reaktörde toplam KOİ giderimi % 41,2 olarak bulunmuştur. Buda anaerobik fermentasyonda sığır gübresi içeriisinde bulunan organik maddelerin % 41,2 sinin anaerobik mikroorganizmalar tarafından yıkıldığını ifade etmektedir. Herhangi bir önışlem olmadan sığır gübresinden mezofilik şartlarda % 40 verim alınmıştır.

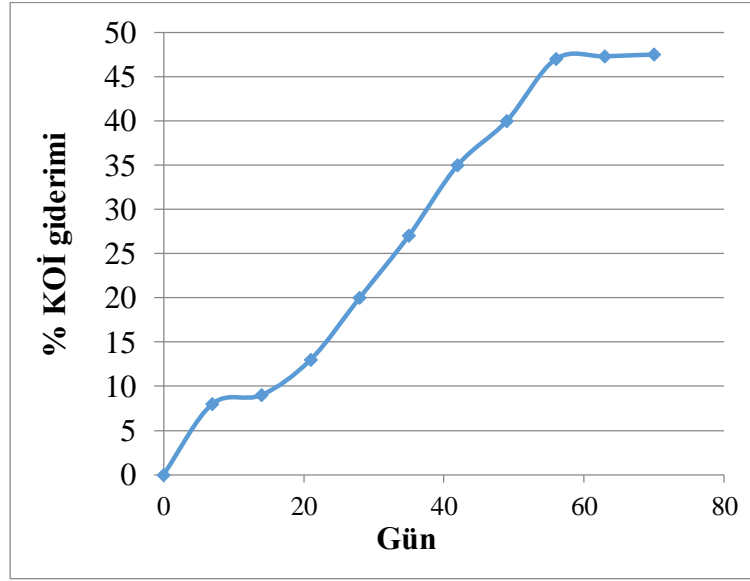
Şekil 2, EKA: SG kütlece karışım oranı 2:1 olan reaktöre ait KOİ giderim prosesidir. 70. gün sonunda toplam KOİ giderimi yaklaşık olarak % 48,9 bulunmuştur. Organik atığın içerisinde bulunan organik maddelerin neredeyse yarısı anaerobik mikroorganizmalar tarafından yıkılmıştır. Benzer şekilde Koçer vd. [1] sığır gübresi ile yapılan çalışmalarında % 40’ına yakının giderildiğinden bahsedilmiştir.

Şekil 3, EKA: SG kütlece karışım oranı 1:0 olan reaktöre ait KOİ giderim prosesidir. 70. gün sonunda toplam KOİ giderimi yaklaşık olarak % 47,5 bulunmuştur. Bu sonuç şekil 2’deki KOİ giderim sonucuna çok yakındır. EKA’ dan tek başına % 47,5 verim alınırken SG ile karıştırıldığında % 48,9 verim alınmıştır. Sığır gübresi aşılması bu reaktör için çok etkili olduğu gözlenmemiştir. Fakat sığır

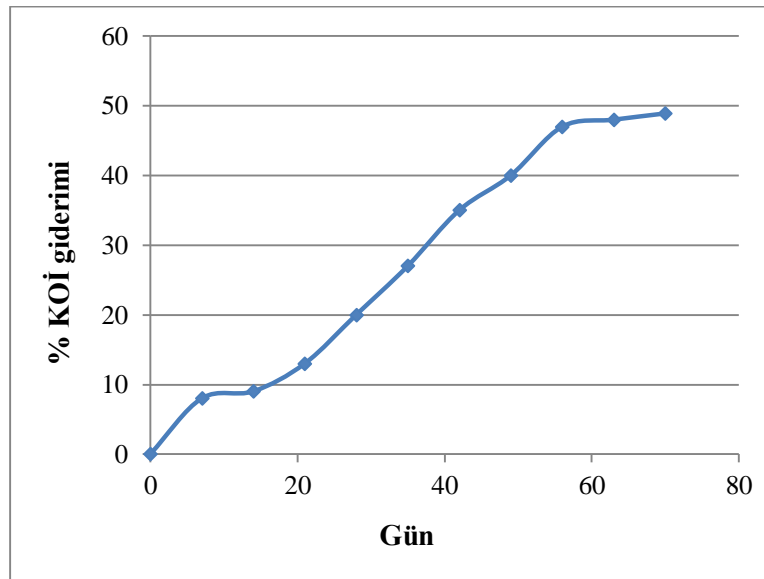
gübreli karışımının anaerobik dengeyi sağladığı ve sürecin kesintisiz şekilde devam ettiği gözlemlenmiştir.

Şekil 4, EKA: SG kütlece karışım oranı 1:2 olan reaktöre ait KOİ giderim prosesidir. 70. gün sonunda toplam KOİ giderimi yaklaşık olarak % 37,6 olarak bulunmuştur. 1:2 kütlece karışım oranına sahip olan reaktör 5 farklı karışım oranlarının en düşük verim alındığı reaktördür. Bunun muhtemel sebepleri arasında termofilik sıcaklıkta anaerobik sürecin tamamlanması vardır.

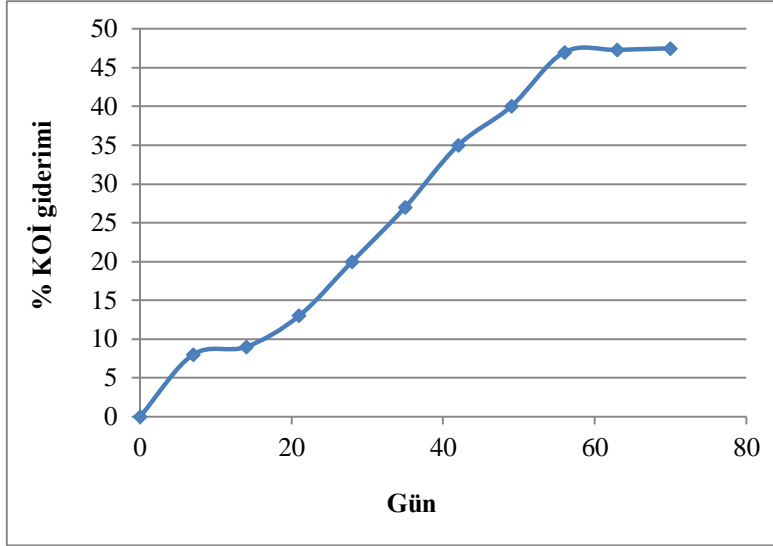
Şekil 5, EKA: SG kütlece karışım oranı 1:1 olan reaktöre ait KOİ giderim prosesidir. 70. gün sonunda toplam KOİ giderimi yaklaşık olarak % 43,7 olarak bulunmuştur. SG ile çalışılan aerobik fermantasyonda KOİ gideriminin % 40 ve üzeri olduğunda anaerobik fermantasyon sonucu üretilen biyogazın verimli olduğu anlamına gelmektedir [1]. Buda bize bu reaktör için SG ve EKA' ların uygun bir karışım oranı olduğunu ifade etmektedir.



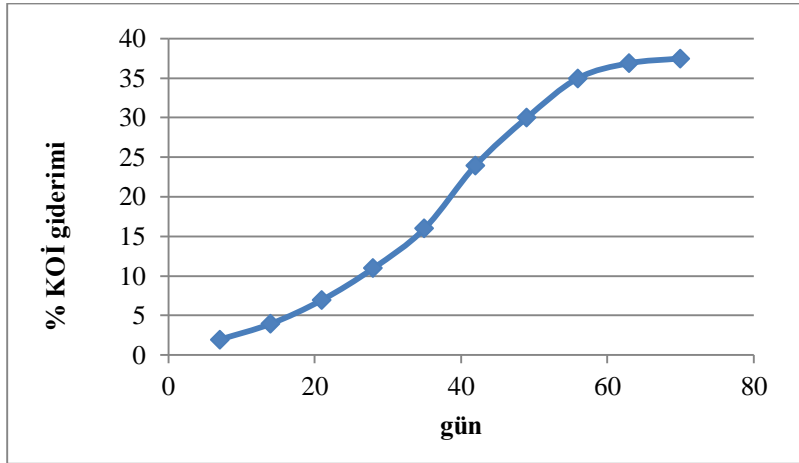
Şekil 1. 0:1 karışım oranındaki reaktör için KOİ giderimi grafiği



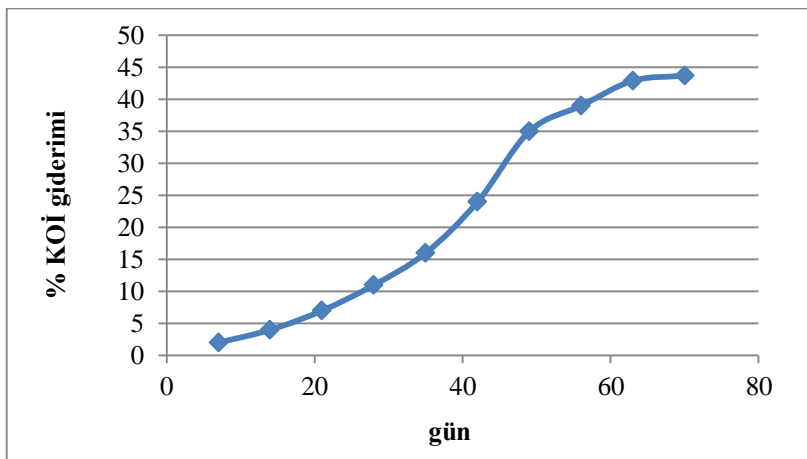
Şekil 2. 2:1 karışım oranındaki reaktör için KOİ giderimi grafiği



Şekil 3. 1:0 karışım oranındaki reaktör için KOİ giderimi grafiği



Şekil 4. 1:2 karışım oranındaki reaktör için KOİ giderimi grafiği



Şekil 5. 1:1 karışım oranındaki reaktör için KOİ giderimi grafiği

4. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak en yüksek metan oluşumu EKA: SG karışımı 2:1 olan reaktörde meydana gelmiştir. Bu nedenle bu atıkların mezofilik şartlarda (40 °C)'de toplam 70 gün anaerobik fermantasyon süresinin olduğu anlaşılmıştır. Yapılan anaerobik fermantasyon deneylerinde taze sığır atığı kendi içerisinde mezofilik metanojenleri barındırdığından dolayı aşılama biyogaz üretimini ve anaerobik süreci hızlandırmıştır. Bu sayede biyogaz üretimi ortalama olarak ilk 3-4. günde başlayabilmiş, 14. günden sonra ise hızlanmıştır. Toplam KOİ giderimi biyogaz üretim hızı ile doğru orantılı olarak artmıştır. Bu da anaerobik sürecin kararlılığını ifade etmektedir. Yapılan çalışmanın sonucunda EKA'dan iyi bir biyogaz üretim verimi sağlanmak isteniyorsa, C/N oranlarına göre, belirli karışımlar sağlanarak ve taze sığır gübresiyle ko-fermantasyon yapılması hem daha fazla verim alınmasını hem de atıkların bir arada bertaraf edilmesini sağlamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (CÜBAP) tarafından M-740 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. İlgili kuruma katkılarından dolayı teşekkür etmeyi bir borç biliriz.

Kaynaklar

- [1] Koçar G., Eryaşar A., Ersöz Ö., Arıcı Ş., Durmuş A. 2010. *Biyogaz Teknolojileri*, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- [2] Rodríguez-Abalde A., Flotats X., Fernández B. 2017. Optimization of the Anaerobic Co-Digestion of Pasteurized Slaughterhouse Waste, Pig Slurry and Glycerine, *Waste Management*, 61: 521-528.
- [3] Yiğit N. 2007. Peyniraltı Suyundan Sürekli Sistemde Biyogaz Üretimi İçin En Uygun Koşulların Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 113s, Ankara.
- [4] Ozcan M, Oztürk S, Oguz Y. 2015. Potential Evaluation of Biomass-Based Energy Sources for Turkey. *Engineering Science and Technology*, 18 (2015): 178-184.
- [5] Ekinci M.S. 2007. Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretimi İçin En Uygun Koşulların Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 125s, Ankara.
- [6] Eryaşar A. 2007. Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 302s, İzmir.
- [7] Jingqing Y., Dong L., Yongming S., Guohui W., Zhenhong Y., Feng Z., Yao W. 2013. Improved biogas production from Rice Stra by Co-Digestion Kitchen and Pig Manure, *Waste Management*, 33: 2653-2658.
- [8] Filibeli A., Büyükkamacı N., Ayol, A. 2000. *Anaerobik Arıtma*, DEÜ. Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 280, İzmir.
- [9] Şenol H., Elibol E.A., Açıklak Ü., Şenol M. 2017. 2016'da Türkiye'de Kanatlı Hayvanlardan Üretilebilecek Biyogaz ve Elektrik Enerji Potansiyeli. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (1): 1-11.
- [10] Owen W.F., Stuckey D.C., Healey J.B., Young L.Y., McCarty P.L. 1979. Bioassay for Monitoring Biochemical Methane Potential and Anaerobic Toxicity. *Water Research*, 13: 485-492.
- [11] APHA, A. 1988. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Washington.
- [12] Patinvoh J., Osadolor R., Chandoliasllona O., Horváth K., Taherzadeh M. 2017. Innovative Pretreatment Strategies for Biogas Production, *Bioresource Technology*, 224: 13-24.
- [13] Dianni M. 2016. İnsan ve Hayvan Sağlığı Açısından Risk Oluşturan Enterokokal Biyofilm Yapısının Doğası, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 73: 71 - 80.
- [14] İnal A., Sözüdoğru S., Erden D. 1996. Tavuk Gübresinin içeriği ve Gübre Değeri, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 2 (3): 45 - 50.
- [15] Samsunlu A. 2005. *Çevre Mühendisliği Kimyası*, Birsen Yayınevi, İstanbul.

- [16] APHA, A. 1997. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Edition, Washington, D.C.
- [17] Haider M.R., Zeshan Yousaf S, Malik R.N., Visvanathan, C. 2015. Effect of Mixing Ratio of Food Waste and Rice Husk Co-Digestion and Substrate to Inoculum Ratio on Biogas Production, *Bioresource Technology*, 190: 451-457.
- [18] Ojolo S.J., Oke SA., Animasahun B.K., Adesuyi B.K. 2007. Utilization of Poultry, Cow and Kitchen Wastes for Biogas Production: a Comparative Analysis, *Department of Mechanical Engineering University of Lagos*, 4: 223-228.
- [19] Ziauddin Z., Rajesh R. 2015. Production and Analysis of Biogas from Kitchen Waste, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2 (4): 622 - 632.
- [20] Malakahmad A., Ahmad Basri N., Zain S.M. 2015. The Application of an Anaerobic Baffled Reactor to Produce Biogas From Kitchen Waste. *Waste to Energy*, 84: 19-28.
- [21] Sarapatka, B. 1993. A Study of Biogas Production During Anaerobic Fermentation of Farmyard Manure, *Biomass and Bioenergy*, 5 (5): 387 - 393.
- [22] Syaichurrozi, I. 2013. Biogas production from co-digestion *Salvinia molesta* and rice straw and kinetics, *Renewable Energy*, 115:76 - 86.