

## Investigation of Biogas Production Potential of Fruit Wastes and Sewage Sludge by Co-Digestion Method

Habibe Elif Gulsen Akbay (Corresponding author)  
Mersin University, Department of Environmental Engineering, 33343, Mersin, Turkey  
E-mail: elifgulsen@mersin.edu.tr

Halil Kumbur  
Mersin University, Department of Environmental Engineering, 33343, Mersin, Turkey  
hkumbur@mersin.edu.tr

### Abstract

Anaerobic co-digestion strategies are needed to enhance and improve biogas production, especially when treating certain residues such as industrial organic wastes and sewage sludge. This study presents a research on the anaerobic co-digestion of the apple, pomegranate and black carrot wastes, which are exposed in the fruit processing industry, together with the sewage sludge of a domestic wastewater treatment plant. With the aim of maximising biogas yields, a series of experiments were carried out under mesophilic conditions in the fed-batch system which lasted for 30 days. For this purpose, single, double, triple and quadruple waste mixtures were prepared by diluting with the wastewater belonging to the fruit processing industry in such a way as to provide a rate of 8% total solid concentration. The maximum value obtained was 839.53 mL for the co-digestion of a mixture of 75% fruit waste and 25% sewage sludge. The lowest value obtained was 170.80 mL for the mixture of 100% pomegranate wastes. The results obtained from the study supported that co-digestion of different organic wastes increased biogas production. In addition, it has been concluded that the co-digestion of sewage sludge with acidic organic wastes has a positive effect on biogas production by preventing the sudden pH decreases.

**Keywords:** Biogas, Co-digestion, Fed-batch, Fruit waste, Organic waste, Sewage sludge.

## Meyve atıkları ve Arıtma Çamurunun Kofermantasyon Yöntemi ile Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması

### Özet

Endüstriyel organik atıkların biyogaz üretim potansiyelini arttırmak ve iyileştirmek için bu tür atıkların özellikle arıtma çamuru gibi organik atıklar ile birlikte parçalanabilirliğine imkân veren kofermantasyon gibi stratejilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, meyve işleme endüstrisine ait elma, nar ve kara havuç atıklarının evsel atıksu arıtma tesisine ait arıtma çamuru ile birlikte anaerobik parçalanması üzerine bir araştırma sunmaktadır. Bu atıkların her birinin biyogaz üretim verimlerini en üst düzeye çıkarmak amacıyla, mezofilik koşullar altında 30 gün süren kesikli beslemeli sistemde bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla tekli, ikili, üçlü ve dörtlü atık karışımları % 8 TKM oranı sağlayacak şekilde yine meyve işleme endüstrisine ait atıksu ile seyreltilerek hazırlanmıştır. En yüksek kümülatif biyogaz üretimi 839,53 mL olarak %75 meyve atığı ve % 25 arıtma çamurunun kofermente edilmesi ile elde edilmiştir. En düşük kümülatif biyogaz üretimi ise 170,80 mL ile %100 nar atıklarının tekli karışımından elde edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen değerler, farklı organik atıkların kofermantasyonunun biyogaz üretimini arttırdığı desteklemiştir. Ayrıca arıtma çamurunun, pH değeri asidik organik atıklar ile kofermantasyonu ile ani pH düşüşlerini engelleyerek biyogaz üretimine olumlu bir etkisi olduğu sonucuna da varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Arıtma çamuru, Biyogaz, Kesikli besleme, Kofermantasyon, Meyve atığı, Organik atık.

## 1. Giriş

Günümüzde, artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji ihtiyacı mevcut Dünya kaynakları ile karşılanamamakta, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki fark genişlemektedir. Ayrıca tüketilen fosil yakıtlar da ozon tabakası delinmesi, küresel ısınma vb. gibi birçok olumsuz çevre tehdidi oluşturmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir çevrenin devam ettirilebilmesi için alternatif enerji başlığı altında ele alınan ve çevre ile dost yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımlarının artırılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır.

Yenilenebilir enerjiyi “doğal kaynaklardan elde edilebilen ve kendini sürekli yenileyebilen bir enerji kaynağı” olarak tanımlamak mümkündür[1]. Yenilenebilir enerji kaynakları başlıca “güneş”, “rüzgâr”, “jeotermal”, “hidrolik”, “biyokütle”, “dalga” ve “hidrojen” enerjileri olarak gruplandırılmaktadır.

Küresel ölçekte tüketilen toplam yenilenebilir enerjinin yaklaşık olarak yüzde 9’u geleneksel biyokütle olarak adlandırılan ve pişirme-ısınma gibi amaçlar doğrultusunda kullanılan enerji kaynaklarından karşılanırken yüzde 10,3’ü ise modern yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Yaklaşık yüzde 10 olan modern yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı içerisinde ise biyokütle, jeotermal, güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biyoyakıt gibi kaynaklardan elde edilen enerji çeşitleri bulunmaktadır.

Isınma, enerji ve ulaşım gibi birçok alanda faydalanılan biyokütle enerjisi yeryüzünde tüketilen toplam enerjinin yüzde 14’ünü oluşturmaktadır[2]. Dünya genelindeki biyokütle enerjisi üretimine bakıldığında ABD’nin yüzde 46 ile birinci, Brezilya’nın ise yüzde 24 ile ikinci sırada olduğu görülmektedir[3]. Uluslararası Enerji Ajansı’nın (IEA) yaptığı projeksiyonlarda 2050 yılında biyoenerji üretiminin bugünkü üretimin üç katına çıkması öngörülmektedir. Bu bağlamda biyokütle enerjisinin dünya elektrik üretiminin yüzde 7,5’ini veya ulaşımda kullanılan yakıtın yüzde 27’sini karşılama potansiyeline sahip olabileceği tahmin edilmektedir[4].

Biyogaz üretimi, en eski ve temiz enerji kaynaklarından biri olan biyokütle enerjisinin bir alt dalını temsil etmektedir. Anaerobik parçalama ise biyogaz üretimi gerçekleştirilirken, oksijensiz ortamda bakteri ve arkelerden oluşan bir konsorsiyum tarafından çeşitli tiplerdeki organik maddeleri indirgemek ve stabilize etmek için kullanılabilen biyolojik bir yöntemdir[5,6]. Biyogaz % 50-75 metan (CH<sub>4</sub>), % 25-50 karbondioksit (CO<sub>2</sub>), eser miktarda su buharı (H<sub>2</sub>O), nitrojen (N<sub>2</sub>) ve hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) oluşmaktadır[7,8].

Biyogaz, tarımsal atıklar (hayvan gübresi, mahsul kalıntıları)[9,10], endüstriyel atıklar (arıtma çamuru, kesimhane kalıntıları)[11,12], yemekhane atıkları[13], deponi sahası atıkları[14] vb. gibi birçok farklı organik atıktan elde edilebilir. Üretilen biyogaz saflaştırıldıktan ve kalite açısından iyileştirildikten sonra ısı ve elektrik üretiminin yanı sıra nakliye sırasında araç yakıtı olarak da kullanılabilir.

Günümüzde, biyogaz üretimini geliştirmek ve arttırmak için farklı organik atıkların birlikte fermente edildiği ve kofermentasyon adı verilen sistemler üzerine çalışmalar artmıştır. Bu amaçla endüstriyel, tarımsal veya evsel organik atıkların diğer atıklarla birlikte anaerobik parçalanması, biyogaz üretimini iyileştirmek için uygun bir seçenek olarak belirlenmiştir[15-18].

Bu çalışmanın temel amacı, evsel atıksu arıtma tesisine ait arıtma çamurları ve meyve işleme endüstrisine ait katı atık ve atıksuyun kofermantasyonunun biyogaz üretim verimine etkisini araştırmaktır. Bu amaçla kesikli beslemeli sistemde ve mezofilik şartlarda bir dizi deney gerçekleştirilmiştir ve maksimum biyogaz üretimi için gerekli optimum substrat karışım oranı belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan meyve işleme endüstrisine ait meyve atıkları ve atıksu, Mersin İli’nde faaliyet gösteren bir tarım ve gıda ürünleri endüstrisinden temin edilmiştir. Meyve atıklarının içeriği; elma, kara havuç ve nar meyvelerine ait kabuk, posa, çekirdek ve küspeden oluşmaktadır. Atık karakterizasyonu analizinde kullanılacak olan numuneler +4 °C’deki buzdolabında, deneysel çalışma aşamalarında kullanılmak üzere ayrılan numuneler ise -18 °C’deki derin dondurucuda saklanmıştır. Atıksu numunesi içeriği; nar meyvesi işleme prosesinden çıkan ve işletmenin atıksu arıtma tesisinin girişinden temin edilen atıksudan oluşmaktadır. Atıksu numunesi 5 L’lik plastik bidona doldurularak +4 °C’deki buzdolabında saklanmıştır.

Çalışmada kullanılan bir diğer substrat olan arıtma çamuru Mersin İli’nde faaliyet gösteren ve evsel nitelikli atıksu arıtımı gerçekleştirilen bir atıksu arıtma tesisinden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru içeriği anaerobik çürütücüde çürütülen ön ve biyolojik fazla çamurun, katyonik bir polielektrolit ile şartlandırılmasından sonra santrifüj-dekantörlerden geçirilerek, susuzlaştırılmasından oluşmaktadır. Arıtma çamurları 5 L’lik plastik bidonlara doldurulmuştur ve +4 °C’deki buzdolabında saklanmıştır. Biyogaz üretimini hızlandırmak amacı ile bakteriyel aşı olarak Mersin İli, Çiftlikköy Mahallesi’nde bulunan bir çiftlikten sığır gübresi temin edilmiştir. Gübre, 5 L’lik plastik bidon içerisinde ve +4 °C’deki buzdolabında saklanmıştır.

## 2.2. Analitik Metot

Çalışmada kullanılan arıtma çamuru, meyve atıkları ve atıksuya ait numunelerin iletkenlik ve pH analizleri Hach Marka HQ40D Dijital multimetre seti ile standart metodlara göre gerçekleştirilmiştir[19,20]. Toplam Katı Madde (TKM) ve Uçucu Katı Madde (UKM) değerleri standart metodlara göre Heraeus marka (T-12 model) etüv kullanılarak belirlenmiştir[21,22]. Kimyasal oksijen ihtiyacı analizleri standart metodlarda belirtilen 5220 C No'lu "Kapalı Reflux Titrimetrik Metoduna" göre belirlenmiştir[20]. Toplam karbonhidrat miktarını tespit etmek amacı ile "Fenol Sülfirik Asit" metodu kullanılmıştır[23]. Protein analizi için "Lowry Metodu" kullanılmıştır[24]. Atıksu numunesine ait toplam azot değeri cihazı ve toplam azot kitleri kullanılarak EN-ISI 11905-1 metoduna göre, toplam fosfor değeri ise fosfor kitleri kullanılarak EN ISO 6878-1-1986, DIN 38405 D11-4 metoduna göre Hach Lange DR 3900 marka spektrofotometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelere ait ICP-MS analizleri Agilent Marka 7500ce Octopole Reaction System model cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Atıksu, arıtma çamuru ve meyve atıklarının karakterizasyonu için gerçekleştirilen analizlerin sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

## 2.3. Deneysel Kurulum ve Tasarım

Karışımlar; 125 ml hacme sahip kauçuk septumlu amber cam şişelerde hazırlanmıştır. Şişelerdeki atık kompozisyonları TKM oranı %8 olacak şekilde atıksu ve bakteriyel aşı ile seyreltilmiştir. Karışımlar başlangıç pH değerleri 6,8-7,8 arasında olacak şekilde NaOH (0,1 M ve 1M) ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltileri (0,1 M ve 1M) ayarlanmıştır. Daha sonra şişeler kapakları kapatılarak sızdırmazlığı sağlamak için şeffaf parafilm ve koli bandı ile sıkı bir şekilde sarılmıştır. Şişelerin içerisindeki oksijenin tamamen uzaklaştırılması amacı ile şişelere yaklaşık 2 dakika süresince azot gazı verilmiştir. Gaz tahliyesi için ikinci bir enjektör iğnesi kullanılmıştır.

Anaerobik ortam koşulları sağlanan şişeler, sıcaklığı 35±1 °C'ye ayarlanmış etüve yerleştirilmiştir. Karışımların kesikli beslemeli sistemde 30 gün süre ile biyogaz üretim verimleri belirlenmiştir. Çalışma için hazırlanan karışım çeşitleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Karışım çeşitleri (M: Eşit oranda elma, kara havuç ve nar atığı)

Tablo 1. Numunelere ait karakterizasyon analizi sonuçları

Parametre	Substrat/Numune				
	Atıksu (AS)	Aritma çamuru (AÇ)	Elma (E)	Kara havuç (KH)	Nar (N)
pH	5,53	8,12	3,73	5,61	3,27
İletkenlik ( $\mu\text{S/cm}$ )	817	2860	1743	3120	3560
Toplam katı madde(TKM) (mg/L) ve (mgTKM/kg atık)	2976	274.666 (%27)	190.600 (%19)	136.133 (%14)	266.666 (%27)
Uçucu katı madde (UKM) (TKM cinsinden) (mgUKM/kgTKM atık)	-	400.728 (%40)	936.341 (%94)	764.936 (%76)	686.250 (%69)
Uçucu katı madde (UKM) (Hammadde cinsinden) (mg/L) ve (mgUKM/kg atık)	1666,6	214.188 (%21)	114.068 (%11)	143.200 (%14)	151.808 (%15)
Askıda katı madde (AKM) (mg/L)	1334,1	-	-	-	-
Uçucu askıda katı madde(UKM) (mg/L)	452,0	-	-	-	-
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOL) (mg/L)	1920	2912	21.600	20.480	58.000
Toplam azot (mg/L)	10,06	-	-	-	-
Toplam fosfor (mg/L)	2,06	-	-	-	-
Karbonhidrat (mg/L)	334,88	168,22	1450,26	3437,77	8360
Protein (mg/L)	461,54	326,53	117,14	5331,77	6130,77
Na (ppm)	33,715	0,6498	0,3294	3,018	0,5738
Mg (ppm)	18,055	2,243	0,3772	1,127	0,5568
Al (ppb)	295,9	1591	36,1	64,05	42,74
P (ppm)	2,1655	4,777	0,599	1,46	1,157
K (ppm)	31,735	2,936	4,45	23,22	23,27
Ca (ppm)	78,85	26,25	1,385	4,594	6,448
Ti (ppb)	194,5	68,99	3,53	12,98	15,88
V (ppb)	<1	7,024	<1	1,767	<1
Cr (ppb)	7,25	16,42	<1	1,575	1,766
Mn (ppb)	36,35	64,04	5,044	15,5	5,482
Fe (ppm)	1,176	2,754	0,3411	0,4348	0,4313
Co (ppb)	<1	3,5928	<1	<1	<1
Ni (ppb)	32,697	42,174	1,75644	2,808	3,9096
Cu (ppb)	12,708	77,31	12,5748	11,3004	8,9838
Zn (ppb)	170,9	306,2	24,3	48,56	48,58
As (ppb)	<1	3,139	<1	<1	<1
Se (ppb)	296,55	62,2	104,9	101,3	92,52
Br (ppb)	140,3	8,113	8,351	10,04	10,34
Mo (ppb)	<1	1,032	1,87	<1	1,018
Cd (ppb)	<1	<1	<1	<1	<1
Sb (ppb)	<1	<1	<1	<1	<1
Ba (ppb)	56,6	53,83	4,164	29,38	4,418
Tl (ppb)	<1	<1	<1	<1	<1
Pb (ppb)	11,44	37,18	1,971	1,446	2,552

#### 2.4. Biyogazın Hesaplanması

Kesikli fermantasyon deneylerinde üretilen biyogaz hacmi, su yer değiştirme metodu ile ölçülmüştür. Bu yöntem kullanılarak, reaktör baş boşluğunda biriken biyogaz, sıvıya gazın dağılmasını önlemek için, asitlendirilmiş (pH <3) ve tuzlu su (NaCl% 25) çözeltisi ile dolu ikinci bir şişeye enjektör iğnesine bağlı boru sistemi ile taşınmıştır. İkinci şişeye salınan biyogaz, şişenin bağlantılı olduğu dereceli cam büretten eşit hacimde sıvıyı azaltmıştır. Böylece dereceli silindirde gerçekleşen hacimsel azalma ile şişelerde üretilen biyogaz hacmi günlük olarak ölçülmüştür[25].

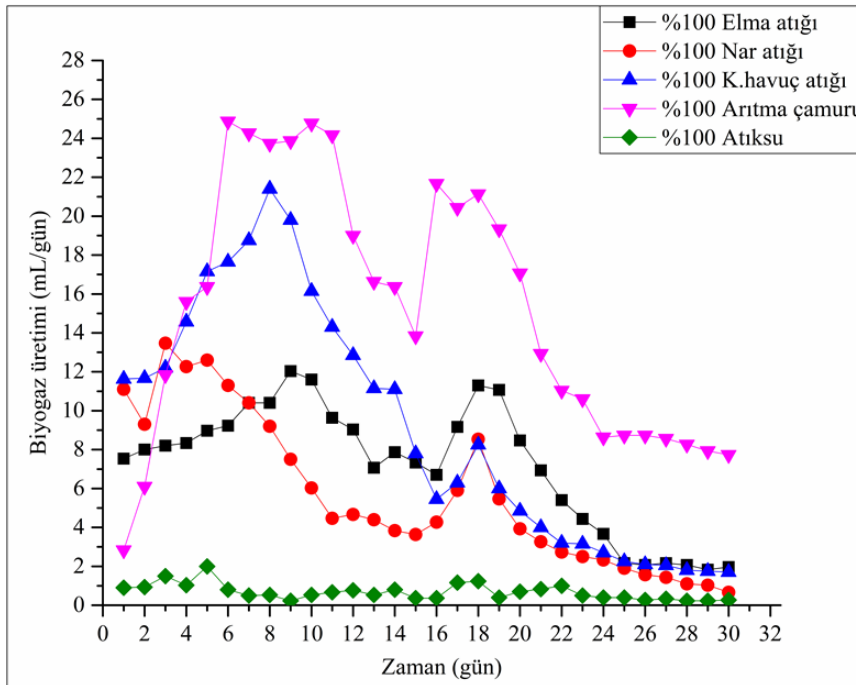
### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Tekli Atık Karışımlarının Biyogaz Üretim Potansiyeli

Tekli atık karışımlarının içeriği, her bir şişe içerisinde %100 elma atığı, kara havuç atığı, nar atığı, arıtma çamuru ve atıksu olacak şekilde hazırlanmıştır. Tekli atık karışımlarının günlük biyogaz üretim potansiyeli Şekil 2’de gösterilmiştir.

Gerçekleştirilen deneylerde aynı TKM oranına sahip atık kompozisyonlarının, farklı miktarlarda biyogaz ürettiği saptanmıştır. Bunun nedeni her bir ham katı atığın TKM, UKM ve pH değerlerinin birbirinden farklı olmasıdır. En fazla biyogaz üretimi 457,02 mL ile %100 arıtma çamurunun kullanılması ile olmuştur. Bunu 273,71 mL ile %100 kara havuç atığının kullanıldığı deney seti takip etmiştir. Fakat % 8 TKM oranının sağlanması amacı ile kullanılan ham atık miktarları ile biyogaz üretim verimleri karşılaştırıldığında daha az atık kullanılarak (nar ve elma atığı) aynı oranlarda biyogaz üretimi sağlanabileceği tespit edilmiştir.

Yalnızca atıksu kullanıldığında ise biyogaz üretimi diğer atıklara oranla ortalama 15 kat daha az olmuştur. Bunun nedeni metan üretimini sağlayacak bakteri popülasyonunun çoğalması ve gelişimi için gerekli olan organik yüklenme oranının düşük olması olarak açıklanabilir.



Şekil 2. Tekli atık karışımlarına ait günlük biyogaz üretim potansiyeli

Çalışmanın yaklaşık ilk 5-7 günü içerisinde %100 meyve atıklarından biyogaz üretimi arıtma çamuruna oranla pozitif yönde bir artış gösterirken zaman ilerledikçe verim azalmaya başlamıştır. Bunun nedeni başlangıç pH değerinin zaman içerisinde düşmesi olarak açıklanabilir. Ortamda asit üreten bakterilerin artması ile metanojenler inaktif konuma gelmiştir. Böylece biyogaz üretimi azalmıştır.

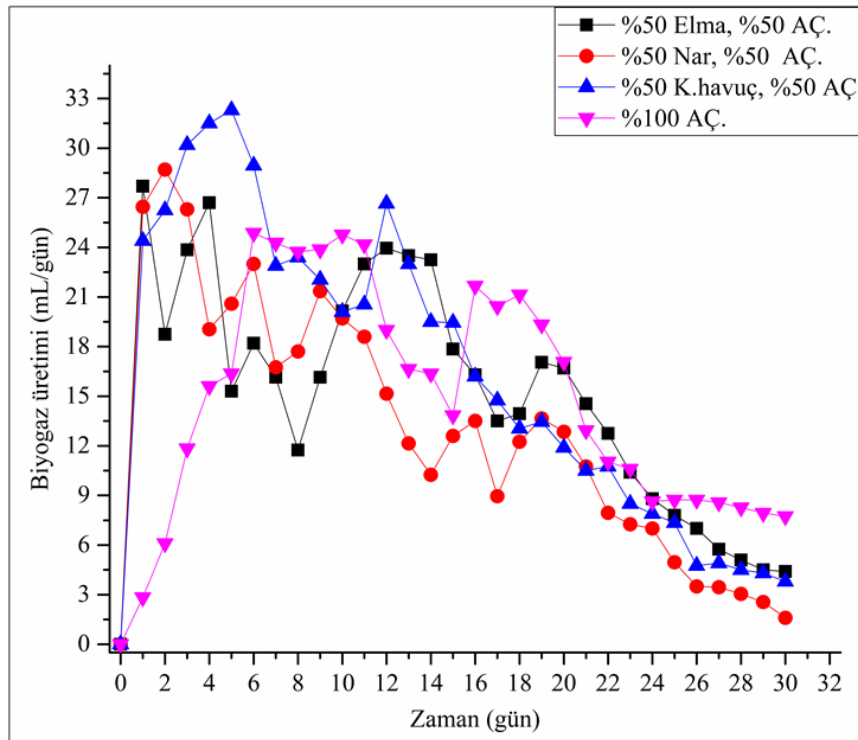
Inthapanya ve diğ., 2013 yılında yapmış oldukları bir çalışmada anaerobik kesikli sistemde meyve atıklarının fermantasyonu incelemişlerdir. Papaya, muz ve portakal kabuğunun ham madde olarak kullanıldığı çalışmalarda; başlangıç pH değerleri 6,5 ile 7 arasında olan inkübasyon ortamının, 4. güne kadar papaya ve muz kabuğu için 4,1-4,3'e ve portakal kabuğu için de 3,7'ye düştüğünü gözlemlemişlerdir. Dört haftalık deneysel sürecin 2. haftasında biyogaz içeriğindeki metan oranının düşmesini pH değerlerinin azalması olarak açıklamışlardır[26].

### 3.2. İkili Atık Karışımlarının Biyogaz Üretim Potansiyeli

İkili atık karışımlarının içeriği, her bir şişe içerisinde %50 arıtma çamuru ve % 50 elma atığı, kara havuç atığı ya da nar atığı olacak şekilde hazırlanmıştır. İkili atık karışımlarının günlük biyogaz üretim potansiyeli Şekil 3'de gösterilmiştir.

Çalışmanın bu aşamasında her bir meyve eşit oranda arıtma çamuru ile birlikte fermente edilmiştir. Bu şekilde karışımdaki pH değerinin daha uzun süre stabil kalması ve ani düşüşlerin engellenmesi amaçlanmıştır. Böylece üretilecek biyogaz miktarının artırılması hedeflenmiştir. En fazla biyogaz üretimi 507,80 mL ile %50 AÇ ve % 50 KH karışımında gerçekleşmiştir. Bunu %50 AÇ ve %50 E atığından oluşan karışım takip etmiştir.

Çalışmanın yaklaşık ilk 10-15 günü içerisinde meyve atıkları ile arıtma çamurundan oluşan karışımlardan biyogaz üretimi arıtma çamuruna oranla pozitif yönde bir artış gösterirken zaman ilerledikçe pH değerinin azalması nedeni ile verim azalmaya başlamıştır. Fakat biyogaz üretim verimi tekli atık karışımları setinde gerçekleştirilen %100 E, KH ve N atıklarının kullanıldığı deney setlerine oranla yaklaşık 2-2,5 kat artmıştır.



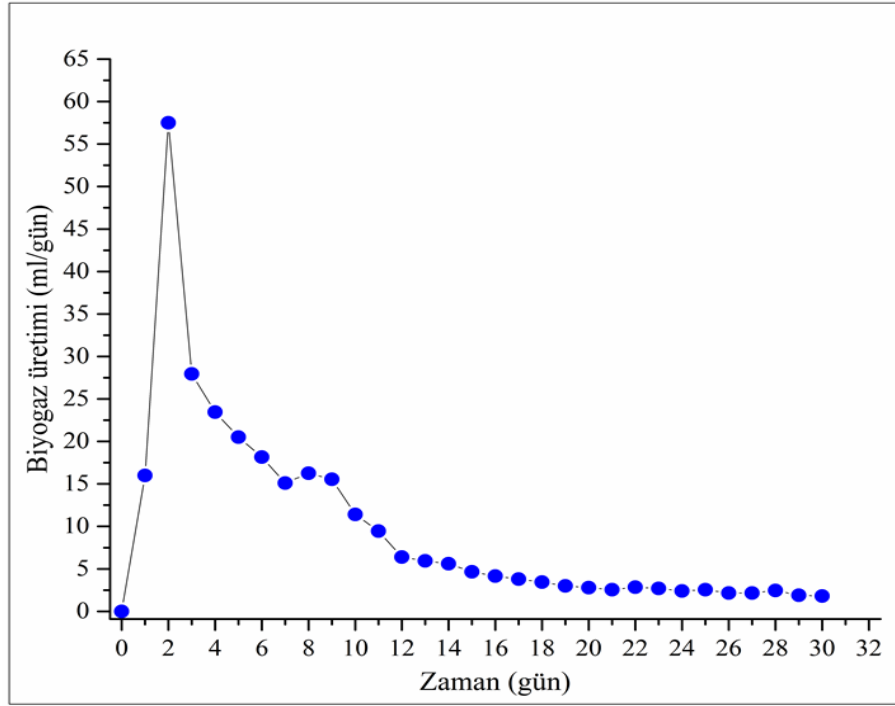
Şekil 3. İkili atık karışımlarına ait günlük biyogaz üretim potansiyeli

### 3.3. Üçlü Atık Karışımının Biyogaz Üretim Potansiyeli

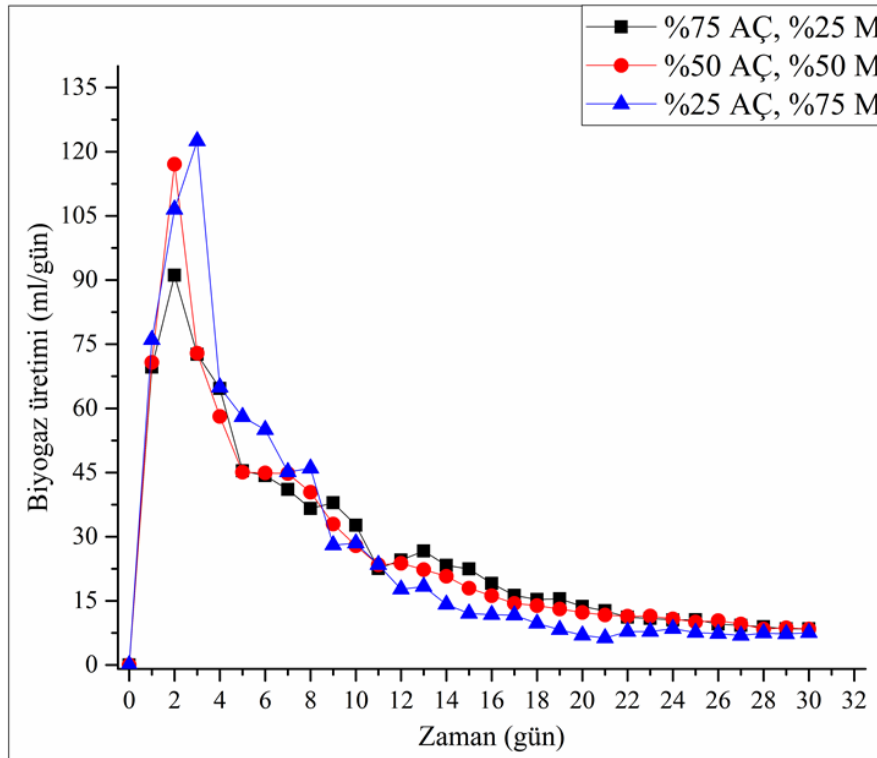
Üçlü atık karışımı içeriği % 100 meyve olacak şekilde elma, kara havuç ve nar atıklarının eşit katı madde oranında olacak şekilde harmanlanması ile hazırlanmıştır. Bu şekilde meyve atıklarının birlikte fermente edilmesi ile üretilebilecek biyogaz miktarı ile tek başlarına fermente edilmesi ile üretilen biyogaz miktarı arasındaki farkın belirlenmesi amaçlanmıştır. Üçlü atık karışımlarının günlük biyogaz üretim potansiyeli Şekil 4'de gösterilmiştir.

İnkübasyon sonrasında elma, kara havuç ve nar atıklarının karışımından üretilen kümülatif biyogaz miktarı 294,60 mL/gün olarak tespit edilmiştir. Çalışma süresince meyve atıklarının birlikte kullanıldığı deney setinde üretilen kümülatif biyogaz miktarı tekli ve ikili atık karışımları ile gerçekleştirilen biyogaz üretimine oranla artmıştır.





Şekil 4. Üçlü atık karışımına ait günlük biyogaz üretim potansiyeli



Şekil 5. Dörtlü atık karışımına ait günlük biyogaz üretim potansiyeli

### 3.4. Dörtlü Atık Karışımlarının Biyogaz Üretim Potansiyeli

Çalışmada kullanılan karışımlar %8 TKM oranını;

- %25 meyve, %75 arıtma çamuru
- %50 meyve, %50 arıtma çamuru
- %75 meyve, %25 arıtma çamuru

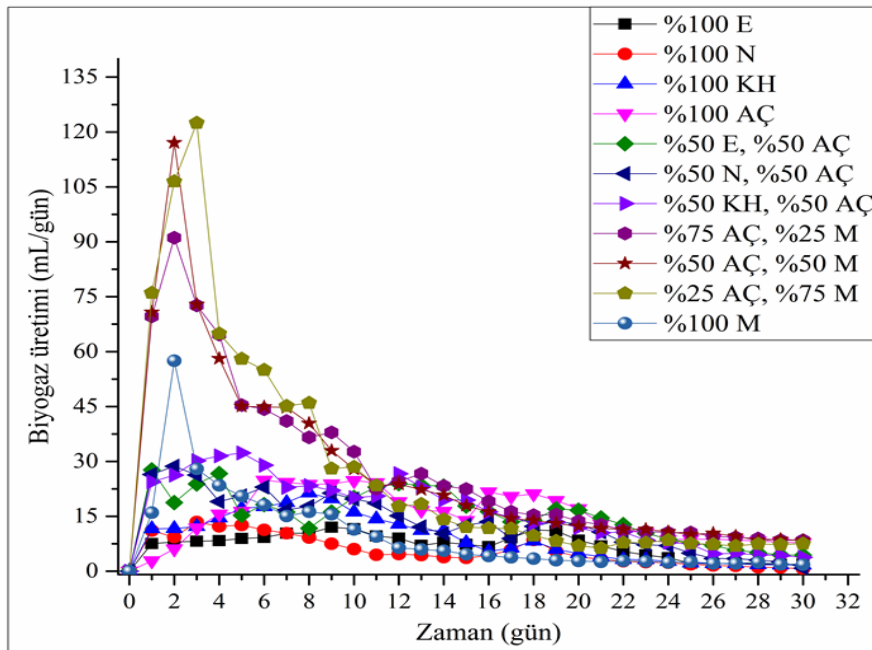
sağlayacak şekilde hazırlanmıştır. Meyve içeriği; eşit katı madde oranlarında elma, kara havuç ve nar atıklarından oluşmaktadır. Çalışmanın bu aşamasında üç meyve atığının, arıtma çamuru ile farklı oranlarda karıştırılmasının biyogaz üretimini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Dörtlü atık karışımlarına ait günlük biyogaz üretim potansiyeli Şekil 5’de gösterilmiştir.

Çalışmanın yaklaşık ilk 10-15 günü içerisinde meyve atıkları ile arıtma çamurundan oluşan karışımlardan biyogaz üretimi %100 AÇ’nin kullanıldığı deney setine oranla daha fazla iken zaman ilerledikçe pH değerinin düşmesi nedeni ile verim azalmaya başlamıştır. Fakat kümülatif biyogaz üretimi ikili atık karışımları ile elde edilen biyogaz üretimine oranla 1,5 kat artmıştır.

### 3.5. Atık Karışımlarının Kümülatif Biyogaz Üretim Potansiyelinin Karşılaştırılması

Deneyset çalışmalarında; mezofilik sıcaklıkta ve kesikli beslemeli fermentasyon sisteminde tekli, ikili, üçlü ve dörtlü atık karışımlarının biyogaz üretim potansiyeline etkileri incelenmiştir. Tüm atık karışımlarına ait günlük biyogaz üretim potansiyeli Şekil 6’da, kümülatif biyogaz üretim potansiyeli ise Şekil 7’de sunulmuştur. Deney setlerinde elde edilen kümülatif biyogaz üretim değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tek atık çeşidinin kullanıldığı aşamada her atığın belirli oranda biyogaz üretilebildiği belirlenmiştir. En fazla biyogaz üretimi 201,33 mL/gUKM ile arıtma çamurundan elde edilmiştir. Bunu sırası ile 43,68 mL/gUKM, 38,66 mL/gUKM ve 33,13 mL/gUKM değerleri ile nar, kara havuç ve elma atıkları takip etmiştir. Fakat yalnızca meyve işleme endüstrisine ait atıksuyun kullanıldığı deney setinde biyogaz üretim oranı katı atıkların kullanıldığı deney setlerine oranla 10 ile 20 kat az olmuştur.



Şekil 6. Tüm atık karışımlarına ait günlük biyogaz üretim potansiyeli

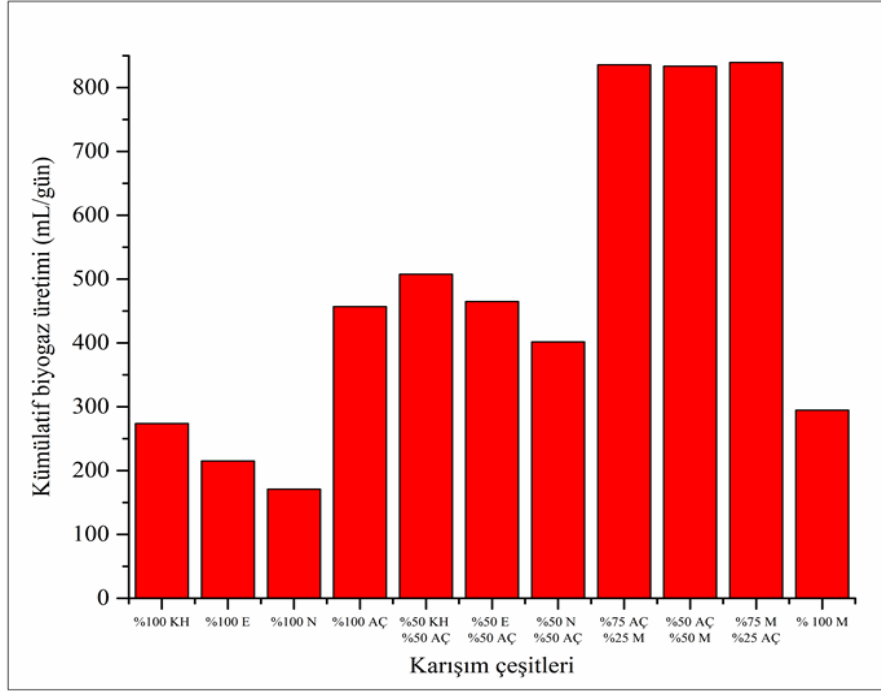
Zamanla, biyogaz üretim hızında gerçekleşen azalmalar, meyvelerin karışım içerisinde çözünerek başlangıç pH değerini gün geçtikçe aşağıya çekmesi olarak yorumlanabilir. Bu şekilde fermentasyonun ilk haftasında düzenli bir şekilde artış gösteren biyogaz üretimi ortamda bulunan asidojen bakterilerin artması ile hızlı bir düşüşe geçmektedir. Bu durum, çalışmanın tüm aşamalarında hız sınırlayıcı ve verim düşürücü bir problem olarak meydana gelmiştir. Fakat arıtma çamuru ham koşullarda da bazik bir pH değerine sahip olduğu için biyogaz üretim hızında ani dalgalanmalara rastlanmamıştır.

Tek çeşit meyve atığının eşit oranda arıtma çamuru ile karıştırılması ile gerçekleştirilen deneylerin ilk 10-15 günü içerisinde meyve atıkları ile arıtma çamurundan oluşan karışımlar tek bir atık kullanılarak



üretilen biyogaz miktarına oranla pozitif yönde bir artış gösterirken zaman ilerledikçe pH değerinin düşmesi nedeni ile verim azalmaya başlamıştır. Fakat biyogaz üretimi tek bir meyvenin kullanıldığı deney setine oranla 2-2,5 kat artmıştır. Biyogaz üretimindeki artış en fazla nar atığının arıtma çamuru ile karıştırılmasından elde edilmiştir.

Dörtlü atık karışımlarına ait deney setinde ilk 10-15 günü içerisinde biyogaz üretimi diğer atık setlerine oranla artış gösterse de zaman ilerledikçe pH değerinin düşmesi nedeni ile verim azalmaya başlamıştır. Fakat biyogaz üretimi ikili atık karışımına oranla 1,5 kat, tekli atık karışımına oranla ise 3,5-4 kat artış göstermiştir. En fazla biyogaz üretimi %75 meyve, %25 arıtma çamurunun kullanılması ile elde edilmiştir.



Şekil 7. Tüm atık karışımlarına ait kümülatif biyogaz üretim potansiyeli

Tablo 2. Tüm deney setlerinde üretilen biyogaz miktarları

Atık karışımları	Tekli				İkili			Üçlü	Dörtlü		
	%100 E	%100 N	%100 KH	%100 AÇ	%50 E %50 AÇ	%50 N %50 AÇ	%50 KH %50 AÇ	%100 M	%25 M %75 AÇ	%50 M %50 AÇ	%75 M %25 AÇ
Kümülatif Biyogaz üretimi (mL)	215,03	170,8	273,72	457,03	464,8	400,85	507,8	294,60	835,83	833,77	839,53
Kümülatif Biyogaz üretimi (mL.biyogaz/g UKM)	33,13	43,68	38,66	201,34	106,36	129,72	108,73	50,62	269,62	195,72	169,95

#### 4. Sonuç

Endüstriyel organik atıkların biyogaz üretim potansiyelini arttırmak için bu tür atıkların farklı organik atıklar ile birlikte parçalanabilirliğine imkân veren kofermentasyon gibi stratejilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, meyve işleme endüstrisine ait meyve atıklarının, evsel atıksu arıtma tesisine ait arıtma çamuru ile birlikte anaerobik parçalanması üzerine bir araştırma sunmaktadır. Bu atıkların her birinin biyogaz üretim verimlerini en üst düzeye çıkarmak amacıyla, mezofilik koşullar altında 30 gün süren kesikli beslemeli bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Ayrıca hazırlanan deney setlerinde % 8 TKM oranının sağlanması için gerçekleştirilen atık seyreltmeleri yine meyve işleme endüstrisine ait atıksu kullanılarak yapılmıştır.

Herhangi bir meyve ya da arıtma çamurunun katkısı olmadan yalnızca atıksusuyun biyogaz üretim veriminin incelendiği deney setinde günlük biyogaz üretimleri katı atıkların kullanıldığı deney setlerine oranla 10-20 kat düşük olmuştur. Bu durum endüstriyel atıksuların organik katı atıklar ile kofermentasyonunun daha etkin sonuçlar sağlayacağını desteklemektedir.

Tekli, ikili, üçlü ve dördü atık karışımlarının hazırlandığı deney setlerinde en yüksek biyogaz üretim verimi %75 meyve ve % 25 arıtma çamurunun kofermente edilmesi ile elde edilmiştir. Bunu sırası ile %75 AÇ ve %25 M atığının kullanıldığı deney seti takip etmiştir. Aynı şekilde ikili atık karışımlarının biyogaz üretim verimi tekli atık karışımlarına oranla 2-2,5 kat artmıştır.

Meyve atıklarının tekli ve üçlü çalışıldığı deney setlerinde arıtma çamurunun olmaması biyogaz üretim verimini azaltmıştır. Bu da organik maddelerin parçalandıkça reaktörlerdeki pH değerini zamanla asidik seviyelere indirmesi ile açıklanabilir. Bu nedenle, çalışma sonucunda arıtma çamurunun, pH değeri düşük organik atıklar ile kofermentasyonunun biyogaz üretimine olumlu bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

#### Kaynaklar

- [1] What is Renewable Energy, Australian Renewable Energy Agency. Web: <http://arena.gov.au/about-renewable-energy>, consulted 19 September 2018.
- [2] Karagöl E. T. and Kavaz I., (2017). Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, Analiz, SETA, Vol.197
- [3] Renewables 2016 Global Status Report. Web: <http://www.ren21.net>, consulted 21 September 2018
- [4] Technology Roadmap-Bioenergy for Heat and Power, International Energy Agency (IEA), (2012), Web: <http://www.iea.org>, consulted 21 September 2018
- [5] McGenity T.J., Timmis K.N. and Nogales B., (2017). Hydrocarbon and Lipid Microbiology Protocols: Bioproducts, Biofuels, Biocatalysts and Facilitating Tools, Springer, Berlin, Heidelberg, pp.171-200.
- [6] Wang D., Ai J., Shen F., Yang G., Zhang Y., Deng S., Zhang J., Zeng Y. and Song C., (2017). Improving anaerobic digestion of easy-acidification substrates by promoting buffering capacity using biochar derived from vermicompost”, *Bioresour. Technol.*, vol.227, pp.286-296.
- [7] Thompson E., Wang Q. And Li M., (2013). Anaerobic digester systems (ADS) for multiple dairy farms: a GIS analysis for optimal site selection, *Energy Policy*, vol.6, pp.114-124
- [8] Wellinger A., Murphy J. and Baxter D.,(2013). The biogas handbook. Science, production and applications, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
- [9] Chatalova L. and Balmann A., (2017). The hidden costs of renewables promotion: The case of crop-based biogas, *Journal of Cleaner Production*, vol.168, pp.893-903
- [10] Torrellas M., Burgos L., Tey L., Noguerol J., Riau V., Palatsi J., Antón A., Flotats X. And Bonmatí A., (2018). Different approaches to assess the environmental performance of a cow manure biogas plant, *Atmospheric Environment*, vol.177, pp.203-213

- [11] Shehu M. S., Manan Z. A., Rafidah S. and Alwi W., (2012). Optimization of thermo-alkaline disintegration of sewage sludge for enhanced biogas yield, *Bioresource Technology*, vol.114, pp.69-74
- [12] Wang S., Jena U. and Das K. C., (2018). Biomethane production potential of slaughterhouse waste in the United States, *Energy Conversion and Management*, vol.173, pp.143-157
- [13] Florkowski W. J., Us A. and Klepacka A. M., (2018). Food waste in rural households support for local biogas production in Lubelskie Voivodship (Poland), *Resources, Conservation and Recycling*, vol.136, pp.46-52.
- [14] Lima R.M., Santosa A. H. M., Pereira C. R. S., Flauzino B. K., Pereira A. C. O. S., Nogueira F. J.H. and Valverde J. A. R., (2018). Spatially distributed potential of landfill biogas production and electric power generation in Brazil, *Waste Management*, vol.74, pp.323-334.
- [15] Thorin E., Olsson J., Schwede S. and Nehrenheim E., (2017). Biogas from Co-digestion of Sewage Sludge and Microalgae, *Energy Procedia*, vol.105, pp.1037-1042.
- [16] Böjti T., Kovács K. L., Kakuk B., Wirth R., Rákhely G. and Bagi Z., (2017). Pretreatment of poultry manure for efficient biogas production as monosubstrate or co-fermentation with maize silage and corn stover, *Anaerobe*, vol.46, pp.138-145.
- [17] Khayum N., Anbarasu S. and Murugan S., (2018). Biogas potential from spent tea waste: A laboratory scale investigation of co-digestion with cow manure, *Energy*.
- [18] Neshat S. A., Mohammadi M., Najafpour G. D. and Lahijani P., (2017). Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.79, pp.308-322.
- [19] TC WI: 2003 (E), EN 0000: 2003, Determination of electrical conductivity in soil, sewage sludge and biowaste.
- [20] APHA (American Public Health Association), (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastwater*, Sixteenth edition, Washington, DC, USA.
- [21] U.S. Environmental Protection Agency, (1996). Method 2540B and 2540E, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, SW-846, 3rd ed., update III; U.S. EPA: Washington, DC.
- [22] U.S. Environmental Protection Agency, (2001). Method 1684, Total, Fixed, and Volatile Solids in Water, Solids, and Biosolids. U.S. EPA: Washington, DC.
- [23] Dubois M., Gilles K. A., Hamilton J.K., Rebers P. A. and Smith F., (1956). Calorimetric method for determination of sugar and related substances, *Anal. Chem.*, vol.28, pp.350-356.
- [24] Lowry O. H., Rosebrough N. J, Farr A. L. and Randall R. J., (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent, *J. Biol. Chem.*, vol.193, pp.265-275.
- [25] Alibardi L. and Cossu R., (2016). Effects of carbohydrate, protein and lipid content of organic waste on hydrogen production and fermentation products, *Waste Management*, vol.47, pp.69-77.
- [26] Inthapanya S., Chathaokalar D., Phongpanith S., Leng R. A. and Preston, T. R., (2013). Fermentation of fruit waste in an anaerobic batch digester, *Livestock Research for Rural Development*, vol. 25.