



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SEBZE VE MEYVE PAZAR ATIKLARININ
BİYOĞAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

SERDAR ÜÇÖK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2016

KAHRAMANMARAŞSÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEBZE VE MEYVE PAZAR ATIKLARININ
BİYOĞAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA



SERDAR ÜÇÖK

Bu tez,
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2016

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi SERDAR ÜÇÖK tarafından hazırlanan “SEBZE VE MEYVE PAZAR ATIKLARININ BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA” adlı bu tez, jürimiz tarafından 31/05/2016 tarihinde oy birliği ile Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ali AYBEK (DANIŞMAN)

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı,
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Kamil EKİNCİ (ÜYE)

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı,
Süleyman Demirel Üniversitesi

Doç. Dr. Tayfun KORUCU (ÜYE)

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı,
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Serdar ÜÇOK

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No: 2015/3-21YLS

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**SEBZE VE MEYVE PAZAR ATIKLARININ BİYOGAZ ÜRETİM
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

SERDAR ÜÇOK

ÖZET

Günümüzde biyogaz teknolojisi uygulamaları ekonomik ve çevresel yararlarından dolayı dünya genelinde gittikçe artmaktadır. Bundan dolayı, son yıllarda organik madde atıklarının biyogaz potansiyelinin belirlenmesiyle ilgili birçok araştırma ve inceleme yapılmıştır. Organik madde atıklarının özgül metan potansiyelinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar, biyogaz tesislerinin hem dizaynı hem de ekonomikliği açısından büyük bir öneme sahiptir.

Ülkemizde organik atıklardan geri kazanılabilecek enerji potansiyeli oldukça yüksektir. Ülkemizin birçok yerleşim birimlerindeki pazarlarda sebze ve meyve atıklarından ve diğer organik atıklardan biyogaz elde eden tesisler sayesinde önemli miktarda enerji kazanımı söz konusu olabilecektir. Organik atıkların kullanımı, enerji üretiminin yanında atığın bertaraf edilmesinden dolayı, çevresel koruma açısından toprak, su ve hava kirliliği oluşumunu da en aza indirmektedir. Diğer taraftan tesislerden üretilen organik atıklar ise bitkisel üretimde gübre olarak da değerlendirilebilir.

Bu çalışmada, sebze ve meyve atıklarının kümülatif biyogaz ve metan üretimleri, HBT (Hohenheim Batch Testing) yöntemi ile, deneysel olarak belirlenmiştir. Sebze ve meyve atıklarının biyogaz verimleri 0.54-0.73 Nm³/kg OKM, metan verimleri ise 0.29-0.37 Nm³/kg OKM arasında bulunmuştur. Kümülatif özgül metan üretim değeri en yüksek domates atıklarında (0.37 Nm³/kg OKM) en düşük ise marul atıklarında (0.34 Nm³/kg OKM) oluşmuştur. Karışık sebze ve meyve atıklarının ortalama kümülatif özgül metan üretim değerleri 0.34 Nm³/kg OKM olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar; biyogaz eldesi için önemli görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Sebze ve meyve atıkları, HBT

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Mayıs/2016

Danışman: Doç. Dr. Ali AYBEK

Sayfa Sayısı: 58

A RESEARCH ON DETERMINATION OF BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL OF VEGETABLE AND FRUIT WASTES

(M.Sc. THESIS)

SERDAR ÜÇOK

ABSTRACT

Nowadays, biogas technology applications are gradually increasing worldwide due to the economic and environmental benefits. Many researches and studies related to the determination of the biogas potential of waste organic materials have been carried out in the recent years. Studies to determine the specific methane potential of organic waste materials have a great importance for both design and economical operation of the biogas plants.

Energy potential that will be recovered from organic wastes are substantial in our country. Thanks to biogas plants gathering vegetable-fruit wastes and other organic wastes are planned to produce significant amount of renewable energy in our country markets. Owing to the use of organic wastes, the disposal of waste as well as energy production, soil, water, air pollution in terms of environmental protection are also minimized. On the other hand, the organic wastes produced from plants can also be utilised as fertilizer in vegetable production.

In this study, the cumulative biogas and methane productions of vegetable and fruit wastes were experimentally determined with HBT (Hohenheim Batch Testing) method. Biogas and methane yields of vegetable and fruit wastes were found as 0.54-0.73 Nm³/kg OKM and 0.29-0.37 Nm³/kg OKM respectively. The highest value of the cumulative specific methane production are tomato wastes (0.37 Nm³/kg OKM), and the lowest value are lettuce wastes (0.34 Nm³/kg OKM), as well. The average cumulative specific methane production values of mixed vegetable and fruit wastes are determined as 0.34 Nm³/kg OKM. Obtained results for biogas production has importance.

Keywords: Biogas, vegetable and fruit wastes, HBT

University of Kahramanmaraş Sütçü İmam
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystems Engineering, May/2016

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali AYBEK

PageNumber: 58

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam süresince her konuda yardımlarını, ilgisini ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Ali Aybek'e ve biyogaz laboratuvarında ölçüm ve analizlerin gerçekleştirilmesi aşamasında desteklerini aldığım Dr. Hans Oechsner, Dr. Annett Reinhardt-Hanisch ve Saliha Ezgi Yılmaz'a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| ÖZET..... | I |
| ABSTRACT | II |
| TEŞEKKÜR | III |
| İÇİNDEKİLER..... | IV |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | VI |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | VIII |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | IX |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Genel | 1 |
| 1.2. Biyokütle Enerjisi | 2 |
| 1.3. Biyogaz Tanımı ve Oluşumu..... | 4 |
| 1.3.1. Biyogazın oluşumu | 4 |
| 1.3.2. Fermentasyon ve metan oluşumu | 5 |
| 1.3.2.1. Birinci kademe..... | 7 |
| 1.3.2.2. İkinci kademe | 8 |
| 1.3.2.3. Üçüncü kademe | 9 |
| 1.4. Biyogaz Üretimindeki Önemli Etkenler | 9 |
| 1.4.1. Organik madde miktarı ve kimyasal oksijen ihtiyacı..... | 9 |
| 1.4.2. Sıcaklık..... | 9 |
| 1.4.3. pH..... | 10 |
| 1.4.4. Fermentasyon süresi | 10 |
| 1.4.5. Karbon/azot oranı | 11 |
| 1.4.6. Amonyak derişimi | 11 |
| 1.5. Biyogaz üretiminde kullanılan organik atık maddeler | 11 |
| 1.5.1. Hayvansal atıklar | 12 |
| 1.5.2. Bitkisel atıklar..... | 12 |
| 1.5.3. Organik içerikli evsel ve endüstriyel sıvı atıklar | 12 |
| 1.5.4. Gıdasal atıklarından biyogaz üretimi | 13 |
| 1.6. Biyogazın Dünyadaki Durumu | 13 |

| | |
|---|-----------|
| 1.7. Biyogazın Türkiye’deki Durumu..... | 15 |
| 1.8. Çalışmanın Amacı..... | 18 |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR..... | 19 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 23 |
| 3.1. Materyal | 23 |
| 3.1.1. Sebze ve meyve atıkları | 23 |
| 3.1.2. Deney ünitesi | 24 |
| 3.1.3. Öğütücü..... | 25 |
| 3.1.4. Mikro terazi | 26 |
| 3.1.5. İnoculum | 26 |
| 3.1.6. Metan ölçüm düzeneği ve kalibrasyon tüpü | 27 |
| 3.1.7. Kül fırını | 28 |
| 3.1.8. Etüv..... | 28 |
| 3.1.9. Laboratuvar cam ve plastik malzemeleri | 28 |
| 3.2. Yöntem | 29 |
| 3.2.1. Deneysel prosedür | 29 |
| 3.2.2. Aşı hazırlanışı | 30 |
| 3.2.3. Kuru madde analizi..... | 31 |
| 3.2.4. Ham kül ve organik madde analizi | 32 |
| 3.2.5. Metan ölçümü | 32 |
| 3.2.6. Verilerin toplanması ve değerlendirilmesi..... | 33 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA..... | 34 |
| 4.1. Kahramanmaraş İlinde Yaş Sebze ve Meyve Atık Potansiyeli | 34 |
| 4.2. Sebze-Meyve Atıklarının Kuru Madde ve Organik Kuru Madde Oranları..... | 34 |
| 4.3. Sebze-Meyve Atıklarının Metan Üretim Değerleri..... | 35 |
| 4.4. Sebze-Meyve Atıklarının Metan İçerik Oranları ve Biyogaz Üretim Değerleri | 45 |
| 4.5. Sebze-Meyve Atıklarının Metan ve Biyogaz Üretim Değerlerinin İstatiksel Olarak Karşılaştırılması | 48 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 51 |
| KAYNAKLAR | 53 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 58 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|------------------------|
| Şekil 1.1. Metan fermantasyonunun prensibi | 6 |
| Şekil 1.2. Farklı ürünlerden metan üretim oranları | 7 |
| Şekil 1.3. Organik maddelerin anaerobik şartlarda sindirilmesi | 7 |
| Şekil 1.4. Kompleks organik maddelerin basit organik maddelere dönüşmesi..... | 8 |
| Şekil 3.1. Kahramanmaraş büyükşehir belediyesi toptancı hal görüntüsü..... | 23 |
| Şekil 3.2. Kahramanmaraş büyükşehir belediyesi toptancı hal iç görüntüsü..... | 23 |
| Şekil 3.3. Kahramanmaraş büyükşehir belediyesi toptancı hal atık görüntüsü..... | 24 |
| Şekil 3.4. Hohenheim batch test şıngası | 24 |
| Şekil 3.5. İnkubator iç görüntüsü | 25 |
| Şekil 3.6. Öğütücü..... | 25 |
| Şekil 3.7. Öğütülmüş sebze ve meyve atıkları | 26 |
| Şekil 3.8. Mikro terazi..... | 26 |
| Şekil 3.9. İnoculum | 27 |
| Şekil 3.10. Metan ölçüm düzeneği | 27 |
| Şekil 3.11. Metan ölçüm düzeneği kalibrasyon tüpü | 27 |
| Şekil 3.12. Kül fırını..... | 28 |
| Şekil 3.13. Etüv | 28 |
| Şekil 3.14. Laboratuvar cam ve plastik malzemeleri | 28 |
| Şekil 3.15. Aş1 tankı | 31 |
| Şekil 3.16. Porselen krozeler..... | 31 |
| Şekil 3.17. Metan ölçümü | 32 |
| Şekil 4.1. İnoculum'un özgül kümülatif metan üretimi | 36 |
| Şekil 4.2. 1 mm boyutunda salatalık atıklarının özgül kümülatif metan üretimi | 37 |
| Şekil 4.3. 1 mm boyutunda marul atıklarının kümülatif özgül metan üretimi | 38 |
| Şekil 4.4. 1 mm boyutunda biber atıklarının kümülatif özgül metan üretimi | 38 |
| Şekil 4.5. 1 mm boyutunda domates atıklarının kümülatif özgül metan üretimi | 39 |
| Şekil 4.6. 1 mm boyutunda soğan atıklarının kümülatif özgül metan üretimi | 40 |
| Şekil 4.7. 1 mm boyutunda şeftali atıklarının kümülatif metan üretimi | 41 |
| Şekil 4.8. 1 mm boyutunda elma atıklarının kümülatif metan üretimi | 41 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.9. 1 mm boyutunda karışık sebze ve meyve atıklarının kümülatif özgül metan üretimi | 42 |
| Şekil 4.10. 3 mm boyutunda karışık sebze-meyve atıklarının kümülatif metan üretimi | 43 |
| Şekil 4.11. 3 mm boyutunda şeftali atıkları kümülatif metan üretimi..... | 43 |
| Şekil 4.12. 3 mm boyutunda elma atıkları kümülatif metan üretimi..... | 44 |
| Şekil 4.13. Tüm atıkların ortalama kümülatif metan üretimi | 45 |
| Şekil 4.14. Sebze-meyvelerin metan ve biyogaz üretimlerinin karşılaştırması | 46 |
| Şekil 4.15. Biyogaz üretimlerinin literatürle karşılaştırılması | 47 |



ÇİZELGELER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|------------------------|
| Çizelge 1.1. Optimum fermantasyon koşulları..... | 4 |
| Çizelge 1.2. Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve ortalama gaz üretim değerleri..... | 13 |
| Çizelge 3.1.1. Öğütücünün bazı teknik özellikleri | 26 |
| Çizelge 4.1. Kahramanmaraş ilinde sebze ve meyve atık miktarları | 34 |
| Çizelge 4.2. Ele alınan sebze-meyve atıklarının kuru madde (KM) ve organik kuru madde (OKM) oranları | 35 |
| Çizelge 4.3. Sebze ve meyve atıklarının metan içerik oranları ve biyogaz üretimleri..... | 46 |
| Çizelge 4.4. 1 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarının metan ve biyogaz üretimleri | 48 |
| Çizelge 4.5. 1 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarının metan üretimlerinin varyans analiz tablosu | 48 |
| Çizelge 4.6. 3 mm boyutundaki sebze- meyve atıklarının metan ve biyogaz üretimleri | 49 |
| Çizelge 4.7. 3 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarının metan ve biyogaz üretimlerinin varyans analiz tablosu | 49 |
| Çizelge 4.8. 1 mm ve 3 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarının boyutsal olarak metan ve biyogaz üretimlerinin varyans analiz tablosu | 50 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| Simgeler | Açıklama |
|-----------------------|---|
| AB | : Avrupa Birliği |
| CH₄ | : Metan |
| CO₂ | : Karbondioksit |
| C:N | : Karbon azot oranı |
| °C | : Derece santigrat |
| d/d | : Devir/dakika |
| EJ | : Egza joule |
| g | : Gram |
| h | : Saat |
| H₂ | : Hidrojen |
| HAS | : Hidrolik alıkoyma süresi |
| HBT | : Hohenheim Batch Testing |
| hPa | : Hektopascal |
| H₂S | : Hidrojen sülfür |
| K | : Potasyum |
| kg | : Kilogram |
| KM | : Kuru madde |
| KOİ | : Kimyasal oksijen ihtiyacı |
| kW | : Kilowatt |
| kWh | : Kilowatt saat |
| L | : Litre |
| mm | : Milimetre |
| m | : Metre |
| m² | : Metrekare |
| m³ | : Metreküp |
| Mg | : Magnezyum |
| MJ | : Mega joule |
| mL | : Mili litre |
| MTA | : Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü |
| N | : Azot |

| | |
|-----------------------|--|
| N₂ | : Azot |
| Na | : Sodyum |
| NH₃ | : Amonyak |
| Nm³ | : Normmetreküp |
| O₂ | : Oksijen |
| OKM | : Organik kuru madde |
| P | : Fosfor |
| PJ | : Petajoule |
| s | : Saniye |
| t | : Ton |
| TK | : Toplam katı madde |
| TÜİK | : Türkiye İstatistik Kurumu |
| UNICEF | : Birleşmiş Milletler Uluslararası Çocuklara Yardım Fonu |
| YAÇYR | : Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktör |

1. GİRİŞ

1.1. Genel

Günümüzde yönetimi ve denetimi giderek önem kazanan enerji, kalkınmışlığın ve gelişmişliğin bir ölçütü olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda artan nüfusa bağlı olarak enerjiye olan ihtiyaç da artış göstermektedir. Teknolojideki son gelişmeler ve fosil yakıt kaynaklarının her geçen gün azalması ile enerji temininde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil enerji kaynaklarına alternatif olarak kullanılabilen ve doğal ortamda varolan enerji akışından elde edilen kaynaklardır. En önemli yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, su, jeotermal ve biyokütle olarak sıralanabilir (Deublein ve Steinhauser, 2008).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütle teknolojisi, teşviklerden dolayı son yıllarda yoğun ilgi görmektedir. Biyokütle, direkt olarak yanabilen veya yakıtlara dönüştürülebilir odun ve diğer bitkiler ya da hayvan atıkları olarak tanımlanabilir (Fanchi, 2011). Başka bir tanımla biyokütle, biyolojik kökenli fosil olmayan organik madde kütesidir. Kaynağı tarım ve orman ürünleri, bitkisel artıklar, hayvansal atıklar, deniz bitkileri, endüstriyel ve evsel atıklar olan biyokütle, ekonomik ihtiyaçlara cevap verebilen, çevre dostu, yenilenebilir ve yerel bir enerji kaynağıdır (Anonim, 2006; Acaroğlu, 2007; Öztürk, 2008). Biyokütleden biyoetanol, biyogaz, biyodizel, odun briketi ve birçok yakıt türü elde edilmektedir (Kapluhan, 2014).

Biyokütle kaynaklardan biyogaz üretimi, doğrudan yakma dışında en basit ve en etkili değerlendirme yöntemidir. Başta Çin ve Hindistan olmak üzere Tayland, Filipinler, Kore, İsviçre, ABD ve Almanya gibi birçok ülkede uygulanmaktadır. Tarımsal faaliyetler sonucunda yetiştirilen veya atık olarak geriye kalan bitkiler, insanların atık olarak ortaya çıkarttığı organik çöpler, hayvan gübreleri, şeker ve gıda sanayinin faaliyetleri sonucu oluşan melas ve meyve posaları, arıtma çamurları, şeker endüstrisi atıkları, kağıt sanayi atıkları ve mezbahane atıkları gibi çeşitli organik maddelerin, havasız bir ortamda biyokimyasal dönüşümler sonucu bakteriler tarafından parçalanmasıyla, bileşiminde metan, karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak, azot, hidrojen ve su buharı bulunan biyogaz üretimi gerçekleştirilir (Akova, 2008). Biyogaz; organik bazlı atıkların oksijensiz ortamda fermentasyonu sonucu oluşan renksiz-kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan ve bileşiminde organik maddelerin bileşimine bağlı olarak yaklaşık; %40-70 metan, %30-60 karbondioksit, %0-3

hidrojen sülfür ile çok az miktarda azot ve hidrojen bulunan bir gaz karışımıdır (Arkutman, 2003). Biyogaz; yoğunluğu 0,83 g/L, oktan sayısı yaklaşık olarak 110, yanma sıcaklığı 700 °C, alev sıcaklığı 870 °C olan bir gazdır. Biyogazın bileşimi, elde edildiği organik maddenin cinsine ve fermentasyon şekline bağlı olarak değişir (Bayrakçeken, 2007). Biyogaz teknolojisi ile organik kökenli atıkların (hayvansal atıklar, bitkisel atıklar, şehir ve endüstriyel atıklar) kullanımı, enerji üretiminin yanında atığın bertaraf edilmesinden dolayı, çevresel koruma açısından toprak, su ve hava kirliliği oluşumunu da en aza indirmektedir. Diğer taraftan tesislerden üretilen organik atıklar ise bitkisel üretimde gübre olarak da değerlendirilebilir.

1.2. Biyokütle Enerjisi

Biyolojik olarak üretilen her türlü maddeye biyokütle denilmektedir. Bu maddeler güneşten gelen foton enerjisini biyokimyasal çevirim sonucu organik maddeler olarak depolamaktadırlar (Ardıç ve Taner, 2013). Bu enerji depolanması fotosentez yoluyla olup verimi %1'in altındadır (Turkenburg, 2000; McKendry, 2002).

Diğer bir deyişle biyokütle canlı organizmalardan (bitki, hayvan) üretilen madde anlamına gelir. Biyokütle, 100 yıllık periyottan daha kısa sürede yenilenebilen, bitkiler, hayvansal atıklar, gıda endüstrisi ve orman yan ürünleri ile kentsel atıkları içeren, biyolojik kökenli fosil olmayan tüm organik madde kitlesi olarak tanımlanmaktadır (Yorgun ve ark., 1998). Örneğin; tarımsal atıklar (saman, mısır koçanları, vb.), şehir kanalizasyon atıkları ve endüstriyel organik atıklar (kağıt endüstrisindeki siyah likör, şeker sanayisinden küspe vb.). Geleneksel olarak biyokütle, birkaç bin yıldır enerji kaynağı olarak zaten bilinmektedir (Sadi, 2010; Üçgül ve Akgül, 2010).

Son günlerde enerji kavramının insan hayatında da birçok etkileri olduğu görülmektedir. Kavram olarak 'sürdürülebilir kalkınma' günümüzde oldukça popüler olduğundan bu bağlamda biyokütle enerjisi oldukça önemlidir. Biyokütle, su, rüzgar, güneş (termal ve fotovoltaik), jeotermal, deniz ve hidrojen gibi yenilenebilir enerji kaynakları gelecekte çok büyük bir role sahip olacaklardır. 2040 yılına kadar yatırımlar dahilinde ortalama küresel enerji kaynağı yenilenebilir enerjiden sağlanabilir ve elektriğin %80'i bu enerjilerden karşılanabilir.

Biyokütle enerjisi, biyokütle kaynaklarından meydana gelmektedir. Bu kaynaklar sebze meyve kökenli bileşikler olup karbonhidratça zengin elementlerdir (Acaroğlu, 2007). Biyokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında çok önemli bir konuma sahiptir.

En önemli potansiyele sahip biyokütle kaynakları;

- tarımsal ürünlerin atıkları (sap, saman, sebze ve meyve atıkları),
- orman ürünleri atıkları,
- gıda ve tarım endüstri atıkları,
- evsel atıklar,
- organik yapılı endüstriyel atıklar,
- evsel katı atıkların organik kısımları,
- hayvan gübreleri,
- sebze ve meyve atıklarıdır (Ardıç ve Taner, 2013).

Hayvansal kaynaklı biyokütle yağ ve protein yapılarından meydana gelirken; bitkisel kaynaklı biyoküteller lignin, selüloz, hemiselülozdan oluşmaktadır. Biyokütle kullanım olarak geleneksel ve modern olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Klasik biyokütle kaynakları olarak isimlendirilen ormancılık faaliyetlerinden elde edilen odun, bitki atıkları ve tezeğin dünya genelinde kullanımı 45 ± 10 EJ/yıl civarında tahmin edilmektedir. Modern biyokütle kaynakları ise enerji ormanları, enerji bitkileri, hayvansal ve bitkisel atıklar, endüstriyel atıklar gibi kaynaklardır. Modern kullanım yakıt ve elektrik eldesiyle ifade edilmekte ve kullanımı ise 7–10 EJ/yıl civarında olmaktadır. Modern kullanım, toplam enerji tüketiminin yaklaşık %2-3'üne eşittir. Biyokütle enerjisinin üretiminde birçok teknoloji kullanılmaktadır.

Biyokütle enerjisinin sanayileşmiş ülkelerdeki birincil enerji tüketimindeki payı genel olarak %3'ün altında olsa da bazı ülkeler bu kaynağı önemli ölçüde kullanmaya başlamıştır. Örneğin, Finlandiya %15, İsveç %9, ABD %4 ve eski SSCB ülkeleri ise %3-4 oranında biyokütle enerjisi kullanmaktadır. ABD ve Avrupa ülkelerinde çeşitli büyüklüklerde binlerce işleyen tesis olmakta ve sayıları hızla artmaktadır (Karataş, 2006; Eryaşar, 2007).

Günümüzde fosil yakıtların azalması ile çok yakında enerji açığı oluşacağı ve enerji fiyatlarındaki artışlar yaşanacağı bir çok araştırmacı tarafından öngörülmektedir. Tüm bunların yanında bitkisel ve hayvansal atıklardan kaynaklanan çevre problemleri de göz önüne alındığında, bu sorunlara çözüm getirilmesinin büyük önem taşıdığı görülmüştür. Tarımsal ve hayvansal atıklar için çevresel açıdan kabul edilebilir en etkili çözümlerden birisi biyokütle enerji dönüşüm sistemleridir. Bu sistemlerle; organik atıklardan hem enerji hem de besin değeri yüksek organik gübre elde edilmektedir. Kaynak israfını önlemenin yanısıra hayat standartlarını yükseltirken meydana gelen enerji krizlerinin olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla gelişmiş ülkeler çeşitli atıkların geri kazanılması için çeşitli yöntemler ortaya koymuşlardır. Biyokütle olarak katı atıkların değerlendirilmesi bu kaynaklardan yalnızca bir

tanesisidir (Korkmaz ve ark., 2012). Sıvı, katı ve gaz biyoyakıtlar, biyokütlenin farklı fiziksel ve dönüşüm proseslere uğraması sonucu meydana gelmektedir. Fiziksel prosesler 5 guruba (boyut küçültme, kurutma, filtrasyon, ekstraksiyon, briketleme), dönüşüm prosesleri ise 3 gruba (biyokimyasal, termokimyasal, fizikokimyasal) ayrılmaktadır (Eryaşar, 2007; Appels ve ark., 2011).

1.3. Biyogaz Tanımı ve Oluşumu

Biyogaz, organik materyallerin (gübre, bitkiler, çöp, yemek artığı, kimyasal atıklar vb.) oksijensiz (anaerobik) koşullarda biyokimyasal fermantasyon ve mikrobiyolojik faaliyet sonucu parçalanması ile elde edilen, % 20 havadan daha hafif olan, enerji değeri 20 MJ/m³, bileşiminde % 50–70 metan (CH₄), % 30–40 karbon dioksit (CO₂) ve % 5-10 hidrojen (H), % 1-2 azot (N), % 0.3 su buharı ve eser miktarda hidrojen sülfür (H₂S) bulunan yanıcı bir gaz karışımıdır (Anonim, 2006).

Biyogazın oluşum aşamaları aşağıda açıklanmıştır.

1.3.1. Biyogazın oluşumu

Bütün ölü bitki ve hayvansal maddeler bozunmaya uğramaktadırlar. Bu bozunma veya ayrışma, bakteri adı verilen organizmalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Bazı bakteriler bu bozunmayı oksijenli ortamda gerçekleştirirler. Bunlara aerobik bakteri adı verilir. Diğer bazı bakteriler ise bu bozunma işlemini havasız veya oksijensiz ortamda gerçekleştirirler ki bunlara da anaerobik bakteri adı verilir. Bataklıkların dibindeki ölü bitkisel ve hayvansal maddeler anaerobik bir ayrışmaya uğrarlar ve sonunda yüzeyde gaz kabarcıkları (CH₄, CO₂ ve H₂ gazları) çıkmaya başlar (Anonim, 1983).

Optimum fermantasyon koşulları Çizelge 1.1’de verilmiştir. Fermantasyon için ideal olan sıcaklık değeri Faz I için 30-40°C, Faz II için mezofilik 30-40°C, Termofilik 50-55°C, pH değeri ise Faz I için 4-4.5, Faz II için 5-7.5 olmaktadır (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Optimum fermantasyon koşulları (Anonim, 1983)

| Faz | Süreç | Işık | Oksijen | Sıcaklık (°C) | Uçucu asit | pH | Oksidasyon redüksiyon gerilimi |
|--------|--------------------------------|----------|------------|-------------------------------------|------------|-------|--------------------------------|
| Faz I | Hidroliz ve Asit fermantasyonu | Karanlık | Oksijensiz | 30-40 | % 2–4 | 4–4.5 | +100/-100 |
| Faz II | Metan fermantasyonu | Karanlık | Oksijenli | Mezofilik 30–40 Termofilik 50–55 | 300 mg/L < | 5-7.5 | -150/-400 |

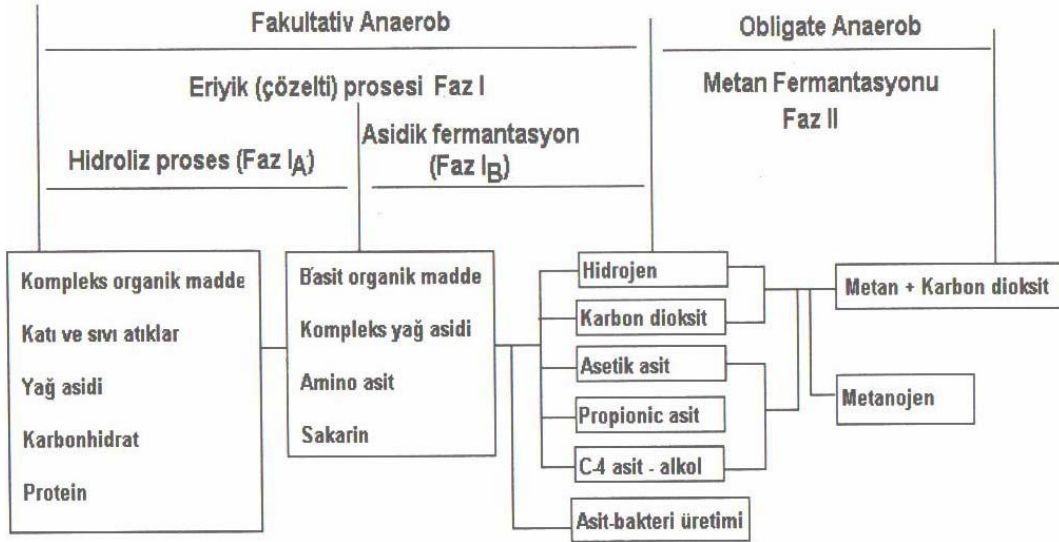
Çevre şartlarının ideal olduğu ve fermantasyon için yeterli miktarda bakteri bulunduğ u varsayılarak ne dereceye kadar fermantasyon olacağı reaksiyon süresine bağlıdır. Yani belli limitler içinde fermantasyon da buna bağlı olarak azalır. Fermantasyonun tamamlanabilmesi için gübrenin fermantörün içinde kalması gereken zamana hidrolik bekleme süresi denmektedir. Hidrolik bekleme süresi, ortamın sıcaklığı ve ortamdaki bakteriler için gerekli besin miktarıyla çok yakın ilişkilidir. Pratikte normal yaş hayvan gübresi eşit miktarda veya belirli oranlarda su ile karıştırılmak suretiyle optimum katı madde oranı yaklaşık olarak sağlanır. Katı madde oranı farklı iklim şartlarına göre değiştirilmektedir. Yazın gaz üretiminin yüksek olduğu zamanlarda toplam katı madde oranı azaltılır, kışın ise çoğaltılır. Anaerobik fermantasyonu verimli bir şekilde kontrol edebilmek için bazı parametrelere ihtiyaç vardır. Bunların en önemlileri sıcaklık ve pH'dır. Anaerobik fermantörde meydana gelen reaksiyonların, bakteri topluluğunun aktivitesi sonucunda fermantasyon bakterilerinin en verimli şekilde çalışmasını sağlayabilmek için uygun bir sıcaklık sağlanması çok önemlidir.

Belirli limitler çerçevesinde sıcaklığın artması fermantasyon hızının artmasını sağlamaktadır. En önemli husus ortam sıcaklık değerini sabit tutabilmektir. Ani sıcaklık değişimleri 1-2°C dahi olsa metan fermantasyonunun kesilmesine ve yağ asitlerinin birikmesine neden olmaktadır. Uçucu asit konsantrasyonunun (pH'ın çok düşük olması) ve amonyak azotu konsantrasyonunun yükselmesi metan üreten bakterileri olumsuz yönde etkilemeye başlar. Bunun yanında, zirai antiseptik maddeler, özellikle toksit olanlar bakterileri yok edebilir. Deterjanlar, ağır metallerde belli bir konsantrasyonun üstündeki bazı tuzlar (NaCl) anaerobik fermantasyonu önleyici etki yaparlar. Bu sebeple hammaddeye, bunlar gibi zararlı maddelerin herhangi bir şekilde karışmasını kesinlikle önlemek gerekmektedir (Anonim, 1983).

1.3.2. Fermentasyon ve metan oluşumu

Organik materyallerden metan fermantasyonu oldukça karmaşık biyokimyasal bir süreç. Şekil 1.1' de metan fermantasyonunun biyokimyasal şeması gösterilmiştir. Şekil 1.1'de, Faz I aşamasında biyogaz üretiminin birinci evresi olan bu aşamada fermantatif ve hidroliz bakteriler olarak isimlendirilen bakteri grupları organik maddenin üç temel ögesi olan karbonhidratları, proteinleri ve yağları parçalarlar. Organik maddeler ise asidik fermantasyondan sonra, CO₂, asetik asit, hidrojen ve C-4 asit-alkol'e dönüşürler. Faz II kısmında ise anaerobik fermantasyon işleminde metan oluşturan bakteri grupları devreye girmektedir. Metan oluşturan bakteriler CO₂ ve H₂ 'yi kullanarak metanı (CH₄) açığa

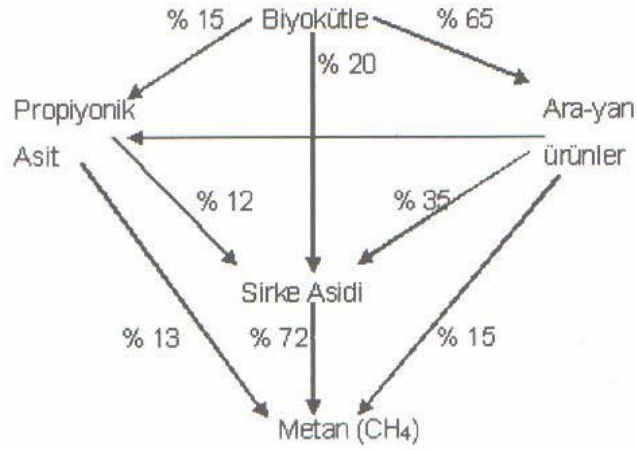
çıkarırlarken, bir diğer metan oluşturan bakteriler grubu ise ikinci aşama sonucunda açığa çıkan asetik asidi kullanarak CH_4 ve CO_2 oluşturmaktadırlar. Doğadaki en önemli madde dolaşım zincirlerinden birisi olmasına rağmen henüz tam anlamıyla fotosentezde olduğu gibi açıklığa kavuşturulamamıştır (Acaroğlu, 2003).



Şekil 1.1. Metan fermantasyonunun prensibi (Acaroğlu, 2003)

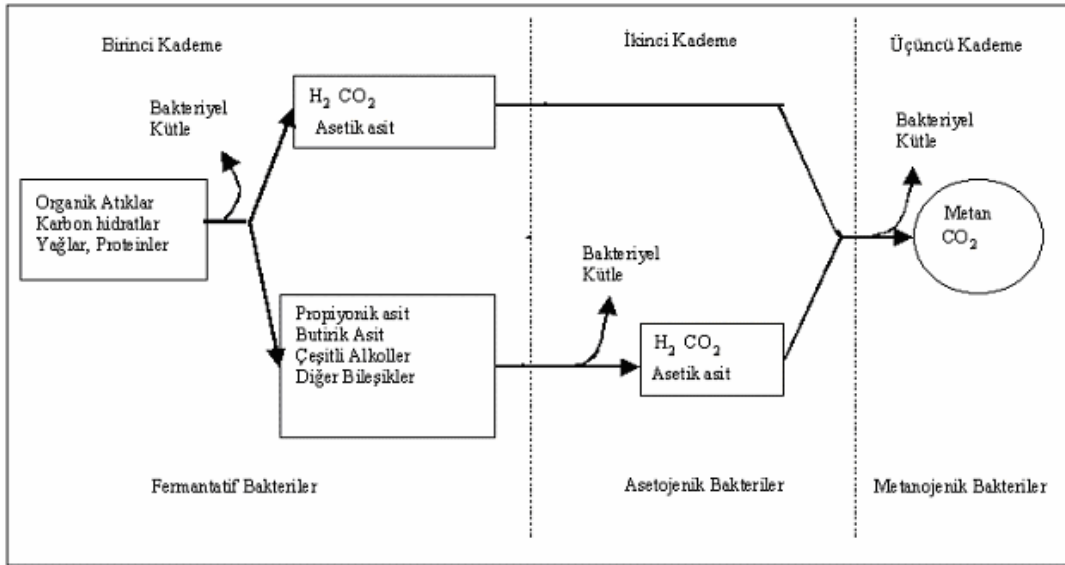
Metan fermantasyonunun biyokimyasal sürecinde CO_2 , H_2 için oksidasyon materyali görevini görmektedir. Aynı zamanda hücreler için de karbon kaynağıdır. Oksijensiz yaşam çeviriminde oluşum sürecinde organik materyallerden metan ve diğer gazları (CO_2 , N_2 , H_2S , O_2 vb.) üreten bakteriler vardır. Biyoatıklar da; Salmonella, Listeria, Escherichia coli, Campylobacter, Mycobacteria, Clostridia ve Yersinia gibi birbirinden farklı patojenik bakteri içermektedir (Dudley ve ark., 1980; Larsen, 1995).

Farklı ürünlerden oluşan metan üretim oranları Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Şekil 1.2'de, biyokütlenin anaerobik şartlarda mikroorganizmalar vasıtasıyla sindirilerek metana dönüşümde oluşan ürünlerinin metan üretim oranları, %15 propiyonik asit, %20 sirke asiti ve %65 ise ara-yan ürünler olmakta, oluşan propiyonik asitin %13'ü, sirke asitinin %72'si ve ara-yan ürünlerin ise %15'i metana dönüşür.



Şekil 1.2. Farklı ürünlerden metan üretim oranları (Acaroğlu, 2003)

Organik maddelerin anaerobik şartlarda mikroorganizmalar vasıtasıyla sindirilerek metan üretimi 3 kademedeki gerçekleşmektedir (Şekil 1.3).



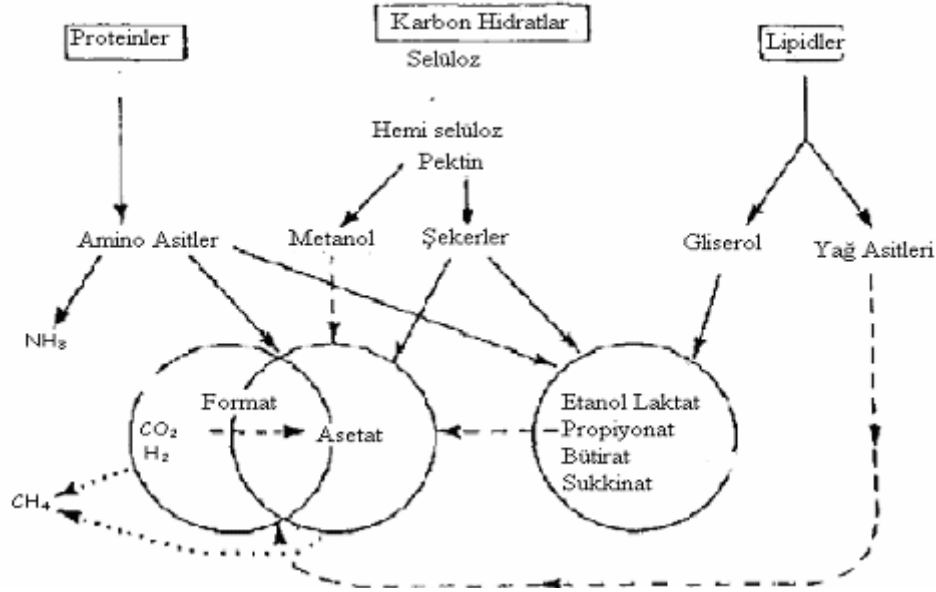
Şekil 1.3. Organik maddelerin anaerobik şartlarda sindirilmesi (Acaroğlu, 2003)

Organik maddelerin anaerobik şartlarda mikroorganizmalar vasıtasıyla sindirilmesiyle oluşan metan üretiminin 3 kademesi, birinci kademe, ikinci kademe, üçüncü kademe olarak aşağıda açıklanmıştır.

1.3.2.1. Birinci kademe

Birinci kademedeki çamur içindeki çözünür olmayan organik maddeler mikroorganizmaların salgıladığı ekstra selular enzimleriyle çözünür hale dönüştürülmektedir. Bakteriler; uzun zincirli kompleks karbonhidratları, proteinleri, yağları ve lipitleri kısa zincirli yapıya dönüştürürler. Bazı lipitli organik maddeler çözünür hale dönüştürülemez. Dolayısıyla bu maddeler bioreaktörde birikebilmekte veya reaktörden bozunmadan olduğu

gibi çıkabilmektedir. Su ve inorganik maddeler bioreaktörde değişmeden birikebilir veya reaktörden çıkabilir. Sindirilmemiş organik maddeler koku problemi oluşturur. Uzun zincirli polisakkaritler mono sakkaritlere, proteinler peptidlere ve amino grup asitlere dönüşmektedir. Kompleks organik maddelerin (proteinler, karbon hidratlar ve lipidler) basit organik maddelere dönüşümü Şekil 1.4’de verilmiştir. Selüloz ve lignin gibi karmaşık maddeler zor hidrolize olmakta veya hiç hidrolize olmamaktadır. Bu tür maddelerin bozunma reaksiyon hızı da çok düşüktür.



Şekil 1.4. Kompleks organik maddelerin basit organik maddelere dönüşmesi (Acaroğlu, 2003)

1.3.2.2. İkinci kademe

Asit oluşturucu bakteriler, çözümlü hale dönüşmüş organik maddeleri, asetik asitin başta olduğu uçucu yağ asitleri, hidrojen (H₂) ve karbondioksit (CO₂) gibi daha küçük yapıllı maddelere dönüştürürler. Bu bakteriler anaerobik olup asidik şartlarda büyümektedirler. Asetik asit gibi uçucu yağ asit bakterilerinin büyümesi ve çoğalması için oksijene ve karbona ihtiyaçları vardır. Bakteriler çözümlüdeki bağlı haldeki oksijeni kullanarak sağlarlar. Asit oluşturucu bakteriler metan oluşturucu bakteriler için anaerobik şartlar sağlarlar. Uçucu yağ asitlerden başka asit bakterileri ise organik bileşikleri daha düşük moleküllü alkollere, organik asitlere, amino grup asitlere, karbon dioksit, hidrojen sülfüre ve büyük miktarda metana dönüştürürler. Havasız reaktörlerin işletmeye alınması safhasında uçucu yağ asidi konsantrasyonu fazla olması istenmemektedir çünkü asit üretim hızı metan üretim hızına göre daha büyüktür. Organik madde konsantrasyonundaki ani artışlar asit üretiminin artmasına ve pH düşmesine neden olmakta buda metan bakterileri üzerinde inhibasyon etkisi yapmaktadır (Acaroğlu, 2003).

1.3.2.3. Üçüncü kademe

Metan oluşturuıcı bakteriler, asetik asitlerini parçalayarak ve/veya hidrojen (H₂) ile karbon dioksit (CO₂)'nin sentezi sonucu biyogaza dönüştürürler. Havasız şartlarda üretilen metanın yaklaşık %30'u hidrojen gazı ile karbondioksit gazından, %70'i ise asetik asit'in parçalanmasından oluşur. Tüm uçucu organik asitler ve çözünen organik bileşikler biyogaza dönüşmez. Belli oranlarda biyogaza dönüşüm gerçekleşir (Acaroğlu, 2003).

1.4. Biyogaz Üretimindeki Önemli Etkenler

Biyogaz üretimindeki önemli etkenler; organik madde miktarı, sıcaklık, pH, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), fermentasyon süresi, karbon/azot oranı ve amonyak derişimi şeklinde sıralanabilir. Bu etkenlerin her birisi için açıklamalar aşağıda verilmiştir.

1.4.1. Organik madde miktarı ve kimyasal oksijen ihtiyacı

Organik madde miktarı; 1 m³ reaktöre günlük gönderilecek organik madde olarak belirtilir. Gönderilecek organik madde; kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) cinsinden ifade edilmektedir. Kolay çözünen ve bozunan organik maddelerin fazla miktarda gönderilmesi sonucu asetik aside dönüşüm süreci hızla gerçekleşir ve pH aniden düşer. Bu ise; metanojen bakterilerini zehirleyerek biyogaz oluşumunu olumsuz etkilemektedir (Dönmez, 1981). Yapılan araştırmaların sonucunda mezofilik koşullarda çalışan özümleyicilerde en uygun organik yükleme hızları aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

- Sığır dışkısı : 2.5–3.5 kg uçucu madde/m³.gün
- Ek besinlerle birlikte sığır dışkısı : 5.0–7.0 kg uçucu madde/m³ gün
- Domuz dışkısı : 3.0–3.5 kg uçucu madde/m³ gün olmaktadır

1.4.2. Sıcaklık

Sıcaklık anaerobik arıtım sürecinin ekonomik olmasını etkileyen en önemli değişkenlerden birisidir ve ortamın sıcaklığına göre etkin olan bakteri türleri üç gruba ayrılır (Gökçay, 2002).

Ortam sıcaklığına göre bakteri türleri:

- 1) Sakrofilik Bakteriler : 5-25 °C
- 2) Mezofilik Bakteriler : 25-38 °C
- 3) Termofilik Bakteriler : 50-60 °C arasında aktiflerdir

Sıcaklık değişimi bakterilerin çalışma koşullarını doğrudan etkilediği için seçilen çalışma sıcaklığı üretilen biyogaz miktarını doğrudan etkilemekte ve sıcaklığın artmasıyla

biyogaz üretim hızı da artmaktadır. Dolayısıyla sakrofilik bakteriler ile çalışıldığında biyogaz üretim hızı çok düşük olmaktadır. Bunun yanı sıra sıcaklık azaldıkça hidrolik alıkoyulma süresi arttığı için kullanılması gereken reaktör hacminde de artış olur ki bu da ilk kurulum için ek maliyete sebep olmaktadır. Termofilik bakterilerle çalışıldığında ise tepkime süresi kısalmakta ve üretim hızı da artmaktadır. Ancak bu bakterilerle çalışmak çok tercih edilen bir durum değildir; çünkü tepkime süresince 15 reaktörü bu koşullarda tutabilmek için çok fazla ek enerji harcanması gerekmekte olup bu da işletme maliyetinde artışa neden olmaktadır (Dönmez, 1981). Wellinger ve ark. (1985), yaptıkları çalışmada mezofilik koşullara uyum sağlayan bakterilerin termofilik koşullarda veya tam tersi bir durumda yeni koşullara alışmalarında herhangi bir sorun yaşanmadığını gözlemlemişlerdir. Ancak mezofilik koşullara uyum sağlamış bakterilerin sakrofilik ortam koşullarına alışması bir aya yakın sürede gerçekleşmiştir. Bunun yanı sıra sakrofilik koşullarda çalışan özümleyici mezofilik koşullardakine göre sığır gübresinde %30 daha az gaz ürettiği gözlemlenmiştir (Ekinci, 2007). Bu yüzden en uygun çalışma sıcaklığı aralığı 25 °C – 38 °C yani mezofilik bakterilerin yaşaması için uygun olan aralıkta çalışmaktadır.

1.4.3. pH

Biyogaz üretim sürecinde bakterilerin etkinliğini dolayısıyla sistemin verimini etkileyen değişkenlerden biri de pH'dır. Süreçteki asetojenler 5.5–6.5 pH aralığında etkinliklerini sürdürürken metanojenler için ise en uygun çalışma aralığı pH 6.5–8.0'dir. Asetojenler ve metanojenler süreçte birlikte çalıştıkları için ortamın pH'ının 7.0–7.5 aralığında olması istenir. Asetik asit oluşumu sırasında asetik asit oluşumuyla pH düşer; ama bunu denetlemek için sisteme kalsiyum hidroksit, sodyum bikarbonat vb. bazlar eklenerek ortamda tampon oluşması sağlanmaktadır. pH düşerse denetlemek amacıyla bir süre organik madde besleme hızı da düşürülebilir (Dönmez, 1981).

1.4.4. Fermentasyon süresi

Fermentasyon süresi; reaktördeki hidrolik alıkoyulma süresiyle aynı anlama gelmektedir. Hidrolik alıkoyulma süresi (HAS); bakterilerin organik maddeleri parçalamaları için gerekli süredir ve birim günlük debi başına reaktör hacmi olarak belirtilir (Dönmez, 1981). HAS; reaktör türüne, sıcaklığa, katı oranına ve katı içeriğine bağlı olarak değişmekte ve sıcaklık artmasıyla hidrolik alıkoyulma süresi azalmaktadır. Reaktördeki hidrolik alıkoyulma süresi sıcaklığa bağlı olarak ortalama 20 – 120 gün arasında olup katı miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Özümleyicideki katı miktarı azalır (su derişimi artarsa)

hidrolik alıkoyulma süresi azalır. Son olarak hidrolik alıkoyulma süresi hammaddenin içeriğinden etkilenir. Bozunma hızı selüloz, hemiselüloz, protein, yağ ve karbonhidrat olmak üzere değişiklik gösterir. Bozunma hızı azaldıkça da hidrolik alıkoyulma süresi artış gösterir. Sürekli karıştırılmalı reaktörlerde bakterilerin yıkanıp kaybolmasını önlemek için hidrolik bekletme süresi diğerlerinin iki katı alınır (Gökçay, 2002).

1.4.5. Karbon/azot oranı

Tüm atıklar belli oranlarda karbon, azot ve oksijen içerirler. Organik maddelerdeki karbon, anaerobik bakterilerin enerji gereksinimini karşılar. Karbonun dışındaki en önemli besin maddeleri de azot ve fosfordur. Azot bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gereklidir. Besin maddesinde azot bulunmasının iki yararı vardır. Birincisi, amino asitlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin sentezi için gerekli elementi sağlar ikincisi ise amonyağa dönüşen azotun uçucu yağ asitlerini tamponlayarak pH'ın düşmesini önlemesidir. Böylece metanojenlerin büyümesi için uygun pH koşullarının sağlanmasında oldukça önemlidir. Besin maddesindeki bileşikler, reaktörde bulunan farklı bakteriler tarafından kullanılırlar. Metabolik işlemler için gerekli C/N oranı bakteriler için uygun olmalıdır. Hayvan gübresinden biyogaz üreten sistemlerde C/N oranı 20/1 ile 30/1 arasında değişir ve taze hayvan gübrelerinde çoğunluğunda bu oran sağlamaktadır (Ekinci, 2007).

1.4.6. Amonyak derişimi

Yapılan birçok çalışmada asıl zehirli maddenin serbest formdaki amonyak (NH_3) olduğunu kanıtlanmıştır. Amonyagin metanojenleri zehirlenmesinde sıcaklık ve pH değerleri önem taşımaktadır. Biyogaz tesislerinde amonyak derişimi proteinlerin özümlemesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Protein miktarının fazla olduğunun göstergesi; metan miktarındaki azalmanın yanı sıra uçucu yağ asit miktarındaki artış ve köpük oluşumudur (Gökçay, 2002).

1.5. Biyogaz üretiminde kullanılan organik atık maddeler

Biyogaz üretimi için organik içerikli maddeler kullanılmaktadır. Bunların başlıcaları (Avcıoğlu, 2011; Deniz, 1987);

- Orman sanayi atıkları,
- Tarımsal atıklar,
- Deri ve tekstil endüstri atıkları,
- Kağıt endüstri atıkları,

- Gıda endüstrisi atıkları (çikolata, maya, süt, içecek üretimi),
- Sebze, meyve, tahıl ve yağ endüstri atıkları,
- Bahçe atıkları,
- Yemek atıkları,
- Hayvan gübreleri (büyükbaş hayvancılık, küçükbaş hayvancılık, tavukçuluk vb.),
- Şeker endüstri atıkları,
- Evsel katı atıkları ve
- Atık su arıtma tesisi arıtım çamurları'dır.

1.5.1. Hayvansal atıklar

Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbaha atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar özellikle kırsal kesimler için önerilen atıklardır. Hayvan üretim çiftliklerinde hayvan atıklarının hijyen ve çevreye zarar vermemesi açısından oluşan gübrelerin toplanması ve arıtılması gerekmektedir (Avcıoğlu, 2011).

Ahırlardan çıkan gübreler beş farklı şekilde bulunmaktadır.

- Ham gübre
- Sıvı gübre
- Bulamaç gübre
- Katı-Sıvı gübre ve
- Katı gübredir.

1.5.2. Bitkisel atıklar

İnce kıyılmış sap, saman, anız ve mısır artıkları, sera atıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen artıkları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan artıklardır. Bitkisel artıkların (buğday sapı, mısır sapı vb.) kullanıldığı biyogaz tesislerinin işletilmesi sırasında proses kontrolü büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle kırsal kesimlerde tek başına bitkisel atıklardan biyogaz üretimi önerilmemektedir (EPA, 2002).

1.5.3. Organik içerikli evsel ve endüstriyel sıvı atıklar

Kanalizasyon ve dip çamurları, kâğıt sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözülmüş organik madde derişimi yüksek endüstriyel ve evsel atık sular biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Bu atıklar özellikle belediyeler ve büyük sanayi tesisleri tarafından yüksek teknoloji kullanılarak tesis edilen biyogaz üretim merkezlerinde kullanılan atıklardır. Çizelge 1.2'de çeşitli kaynaklardan elde edilen biyogaz üretim verimleri ve ortalama değerleri verilmiştir. En

fazla biyogaz üretim verimi kanatlı gübresi, alg ve domuz gübresinde olduğu görülmektedir (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2. Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve ortalama gaz üretim değerleri (Avcıoğlu, 2011)

| Besin Maddesi | Gaz üretim aralığı (L/kg OKM) | Ortalama gaz üretim değeri (L/kg (OKM)) |
|--------------------------|----------------------------------|--|
| Domuz gübresi | 340-550 | 450 |
| Sığır gübresi | 150-350 | 250 |
| Kümes hayvanları gübresi | 310-620 | 460 |
| At gübresi | 200-350 | 250 |
| Koyun gübresi | 100-310 | 200 |
| Ahır gübresi | 175-320 | 225 |
| Tahıl atığı | 180-320 | 250 |
| Mısır samanı | 350-480 | 410 |
| Pirinç samanı | 170-280 | 220 |
| Çim | 280-550 | 410 |
| Fil çimeni | 330-560 | 445 |
| Bitkisel atıklar | 300-400 | 350 |
| Su sümbülü | 300-350 | 325 |
| Alg | 380-550 | 460 |
| Kanalizasyon çamuru | 310-640 | 450 |

1.5.4. Gıdasal atıklarından biyogaz üretimi

Çevre kirliliğinin oluşmasında kimya sanayi ve diğer sanayilerin yanı sıra gıda sanayinin de payı vardır. Çevre dostu olmanın yanı sıra atıklardan elde edilebilecek enerji ekonomik olarak da önemli bir kaynaktır. Gıda atıklarının hayvan gübreleri ile kofermantasyonu biyogaz üretim verimliliğini artırmaktadır. En yüksek biyogaz verimliliğinin tavuk gübresi ve inek gübresinin peynir altı suyu ile karışımından elde edildiğini söylemek mümkündür (Erdin, 1994).

1.6. Biyogazın Dünyadaki Durumu

Biyogaz üretimi ve teknolojisi ilk olarak Çin Halk Cumhuriyeti ve Hindistan'da gerçekleştirilmiştir. Hindistanda ilk deneysel tesis 1946 yılında yapılmıştır. Hindistan koşullarına uygun Hint tipi biyogaz sistemlerinin geliştirilmesi için Gobargaz Araştırma Enstitüsü 1960'lı yıllarda kurulurken, çiftlik tipi tesislerin kurulumu ise 1974 yılında başlatılmıştır (Koby, 1992). Hindistan'da aile tipi biyogaz tesislerinin potansiyeli 12 milyon olarak tahmin edilmektedir. Hindistan'ın toplam nüfusunun % 70'i, Çin'in ise % 80'i kırsal kesimde yaşamaktadır. Buna bağlı olarak bu iki ülkede kırsal kesim biyogaz sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Çin'de ilk biyogaz tesisi 1936' da kurulmuş olup çiftlik tipi reaktörler 1960'lı yıllarda çalışmaya başlamıştır. Çin'de kurulan ev tipi biyogaz reaktörlerinde yılda 2 milyar m³ biyogaz elde edilmektedir. Yani bir aile yılda 200-300 m³ biyogaz

üretebilmektedir. Yine Çin'de 25 milyon insan, biyogaz tesislerinden elde edilen gazları 8-10 ay yemek pişirme amacı ile kullanmaktadır. Hindistanda sığır atıkları ön plandayken Çin'de ise domuz atıkları biyogaz üretiminde önemli rol oynamaktadır. 1981 yılındaki Ulusal Biyogaz Kalkınma Programına kadar yaklaşık 80 bin biyogaz tesisi varken, 10 yıl içinde 1.67 milyon rakamına ulaşılmıştır. Bu rakam 1997 yılında 2.7 milyona ulaşmıştır. Ancak kurulu sistemlerin yaklaşık 1/3'ü bakımsızlık, yetersiz atık ve atıkların ulaştırılmasındaki sorunlar yüzünden çalıştırılmamaktadır.

AB ülkelerinde, Çin ve Hindistan'ın aksine orta ve büyük ölçekli sistemler daha çok tercih edilmektedir. Özellikle Danimarka'da merkezi büyük ölçekli biyogaz tesisleri ön plandadır. 20 adet merkezi ve 35 adet orta ve büyük ölçekli çiftlik tipi sistemlerden elde edilen enerji yıllık 2.6 PJ olup hayvansal atıkların ise %3'ü değerlendirilmektedir. Bu merkezi sistemlerin 2/3'ü termofilik, kalanı mezofilik sıcaklık bölgesinde çalıştırılmaktadır. Biyogazın kullanımı gelişmekte olan ülkelere göre farklılık göstermektedir. İsveç'te üretilen toplam 5 PJ enerji eşdeğerinde biyogazın % 10'u artırılarak otomobil, otobüs ve kamyonlarda yakıt olarak kullanılmaktadır (Öztuncay, 2009; Koçar ve ark., 2010).

Dünyada Biyometanizasyon Teknolojisi Uygulamaları Örnekleri

Holsworthy Biyometanizasyon Tesisi (İngiltere):

Tesis 1988 yılında işletmeye alınmıştır. Tesise kabul edilen atıklar çiftlik hayvanı, domuz ve kümes hayvan atıkları, % 20 oranında bitkisel atıklar ve sebze-meyve atıklarıdır. Tesis kapasitesi 400 t/gün, metan üretimi 3,9 milyon m³, sıcaklık 35-40 °C (mezofilik) enerji üretimi 14.4 milyon kWh/yıl olup elde edilen kazanç ısıtma amaçlı satılarak yıllık 15 milyon kWh olmakta yatırım maliyeti ise £7.7 milyondur (Sayın ve ark., 2011).

Tilburg Biyometanizasyon Tesisi (Hollanda):

Bu tesis 1994 yılında açılmıştır. Tesise kabul edilen atıklar bitkisel atıklar, sebze-meyve atıkları (% 75'i mutfak ve bahçe atıkları, % 25'i kağıt, karton)'dır. Tesis kapasite/alan 52000 t/yıl-1,6 ha olup ünite de kalma süresi 20-24 gün ve sıcaklık ise 35-40 °C (mezofilik) üretilen kompost miktarı 18000 t ve gaz emisyonları yaklaşık 15000 t karbon eşdeğerindedir (Sayın ve ark., 2011).

Biyometanizasyon Tesisi (Brecht-Belçika):

Tesis 1992 yılında işleme açılmıştır. Kabul edilen atıklar mutfak atıkları, bahçe atıkları, kağıt (% 15 kaynaktan ayrı toplanmış mutfak atıkları, % 10 geri kazanılamayan

kağıtlar ve % 75 bahçe atıkları)'dır. Tesis kapasitesi 165 t/gün, metan içeriği % 55, sıcaklık 55 °C (termofilik) ve biyogaz üretimi ise 118 m³/ton atık olmaktadır (Sayın ve ark., 2011).

1.7. Biyogazın Türkiye'deki Durumu

Türkiye'de biyogaz ile ilgili ilk çalışmalar 1957 yılında Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsünde başlatılmış olup 1960'lı yıllarda ise biyogaz üzerine yoğun çalışmalar yapılmış ve bazı devlet üretme çiftliklerinde pilot tesisler kurulmuştur. 1960-1963 yılları arasında Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü laboratuvar tipi çalışmaları ile öncülük yapmıştır. TÜBİTAK ise 1964 yılında bir çalışmayı desteklemiştir (Koby, 1992).

1963 yılında Tarım Bakanlığı'na bağlı Toprak-Su Araştırma Enstitüsü bünyesinde başlatılan çalışmalarla, 5 tane Eskişehir Toprak-Su Araştırma Enstitüsünde, 2 tane Eskişehir'in köylerinde ve 1 tanesi de Çorum deneme istasyonunda olmak üzere toplam sekiz adet biyogaz tesisi kurulmuştur. Çalışmalar 1969 yılına kadar devam etmiş olup bunların bir kısmından iyi sonuç alınmasına rağmen çalışmaları yürütecek, devamını sağlayacak imkanların, teknik elemanların olmaması ve çiftçilerin yeterince eğitilememeleri gibi sebepler yüzünden yarım bırakılmış ya da bir müddet kullanıldıktan sonra istenilen verim alınamadığı gerekçesiyle kapatılmıştır. 1980 yılından sonra UNICEF'in teknik bilgi ve finans yönünden desteklediği, koordinasyonun DPT tarafından sağlandığı çalışmalar başlatılmıştır. Tarım ve Orman Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı gibi kurumlar yanında MTA, Toprak-Su gibi kuruluşlar da bu çalışmalara katılmışlardır. Doğu illerinden başlayarak biyogaz tesislerini kırsal kesimde yaygınlaştırmak amaçlanmıştır. Çalışmalar ilk olarak, Muş-Alpaslan Devlet Üretme Çiftliğinde 35 m³'lük bir tesis kurularak başlatılmış ve çeşitli devlet üretim çiftliklerinde, farklı iklim şartlarında pilot tesisler kurularak pilot ölçekli testler yapılmıştır. 1982 yılında konuyla ilgili sorumluluk Toprak-Su ofisine verilmiş, devletin köylülere sağladığı 1600 USD limitli, % 16 yıllık faizli kredilerle 1000 adet 6, 8, 12 ve 50 m³ boyutlarda biyogaz sistemleri kurulmuştur. Yine 1984-1987 yılları arasında Köy Hizmetleri Eskişehir Araştırma Enstitüsünde, Ankara ve Erzurum'da biyogazla ilgili araştırma projeleri yürütülmüştür. Ayrıca bu yıllarda küçük ölçekli biyogaz tesislerinin projeleri dergiler ve kitaplarda ilgililere sunularak yaygınlaştırma çalışmalarına başlanmıştır. Bu çalışmalarda başarılı olunamamıştır. Verim alınamamasının en önemli sebebi olarak, reaktör sıcaklığının istenilen seviyede tutulamaması gösterilmektedir. 1980'li yıllardan sonra biyogazla ilgili çalışmalara ara verilmiştir (Koby, 1992).

Türkiye’deki Biyometanizasyon Teknolojisi Uygulamaları Örnekleri

Ankara entegre katı atık yönetim sistemi:

“Ankara Katı Atık Projesi” ile Başkent’te sorun olan çöp atıkları, enerji hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Mamak Çöplüğünde biriken metan gazının bertarafı için kurulan santral, 16 jeneratörün ürettiği 25.4 MW/saat elektrik enerjisi ve 10 yıllık rezerv kapasitesiyle eşdeğerlerine göre Dünya’nın en büyükleri arasında yer almaktadır. Proje kapsamında, Sincan Çadırtepe Katı Atık Depolama Alanı’na taşınan günlük ortalama bin tonun üzerindeki çöpten de sahada kurulan 4 jeneratör ile 14.1 MW/h elektrik enerjisi üretilmektedir. Çadırtepe’de üretilen 14.1 MW/h elektrik enerjisi Mamak Çöplüğünde üretilen 24.5 MW/h elektrik enerjisi ile toplam 38.6 MW/h elektrik enerjisi ulusal elektrik şebekesine satılmaktadır.

Sahaya dökülen organik çöpler teraslama ve borulama yöntemiyle, çöp silolarında bakteriler yardımıyla hızla çürüyebilir hale getirilmektedir. Çıkan metan gazı boru sistemiyle santrale taşınıp elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Metan gazından elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan atık enerjisi de seraların ısıtılmasında kullanılmaktadır. Atık ısının seralarda kullanılmasıyla entegre sistemin faydaları net bir şekilde ortaya konmaktadır. Geliştirilen teknolojilerle depolamaya ihtiyaç olmadan geri kazanım oranı artırılmaktadır. Bu sayede metan gazı ve karbondioksitin azalması sağlanıp, organik çöp sahalarında metan gazının çekilmesi sonrası geriye kalan atıklar da kompost gübreye dönüştürülmektedir. Bu da çok değerli bir gübre olmaktadır (Sayın ve ark., 2011).

Adana entegre katı atık tesisi:

Entegre Katı Atık Bertaraf Tesisi 2011 yılının başında faaliyetine başlamıştır. Tesis kapasitesi 1500 t/gün evsel atık olup, 30 yıllık işletme süresi sonunda idareye kalacak proje kapsamındaki işler:

- Anaerobik fermantasyon ile kompostlama tesisi
- Biyogazdan enerji üretim tesisi
- Mevcut depolama alanının ıslahı ve sızıntı suyu toplama sistemi
- Tıbbi atık sterilizasyon tesisi
- Atık pil geçici depolama hücresi
- Katı atık düzenli depolama sahası ve
- Deponi gazı toplama ve enerji üretim tesisidir.

Adana Entegre Katı Atık Projesi kapsamında öncelikle mevcut atık sahasının ıslahı gerçekleştirilerek deponi gazından enerji üretimine başlanmış ve Haziran 2010 tarihi itibarıyla 4.2 MW elektrik enerjisi üretilmektedir (Sayın ve ark., 2011).

Kocaeli büyükşehir belediyesi tesisi:

Bitkisel ve hayvansal atıkların bertarafı ve enerji üretimi projesi inşaatı 2010 yılında tamamlanmıştır. Yükleme miktarı (Hal atıkları ve hayvansal gübre) 19-20 t/gün'dür. Fermantasyon sıcaklığı 35°C, fermentör hacmi 1650 m³, nem içeriği ise % 75'dir. Biyogaz üretimi 2095 m³ ve metan üretimi ise 1089 m³'tür. Toplam ısı ve elektrik 329.98 kW/gün'dür (Sayın ve ark., 2011).

İstanbul-Hasdal biyometanizasyon projesi:

Sebze-meyve hallerinin organik atıkları, pazar yerleri atıkları, yüksek miktarda organik atığı oluşan endüstriyel işletmeler, mekanik ayırmaya tabii tutulmuş evsel atıkların organik kısmı, arıtma çamurları vb. atıklar tesise kabul edilmektedir. Tesise kabul edilen atık miktarı 164 t/gün (kış), 268 t/gün (yaz)'dür. Yatırım bütçesi 4-5 milyon €, biyogaz miktarı 750 m³/h (5 400 000 m³/yıl), elektrik enerjisi üretimi 1057 kWh/h (8 456 000 kWh/yıl), üretilen gübre ise 50 t/g (15 000 t/yıl) olmaktadır (Sayın ve ark., 2011).

Sakarya-Pamukova katı atık yönetimi entegre tesisleri:

Sakarya-Pamukova Katı Atık Yönetimi Entegre Tesis alanı 20 707,57 m²dir. Evsel atıklar ile gıda fabrikasına ait atıklar, tarımsal üretim atıkları ve hayvansal atıklar tesise kabul edilmektedir. Tesis kapasitesi 35 000 t evsel atık, 1200 t hayvansal atıktır. Üniteler; kantar ve kabul tesisi, atık kabul ve ayrıştırma tesisi, anaerobik fermantasyon tesisidir (Sayın ve ark., 2011).

Sütaş Enfaş Aksaray OSB biyogaz tesisi:

Aksaray OSB içinde bulunan biyogaz elektrik üretim tesisi SÜTAŞ'ın alt firması olan ENFAŞ'a aittir. Tesisin kurulu gücü 2 MW olmakla birlikte tesisin kapasite artırımı çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmalar sonucunda tesisin kapasitesinin 5 MW'a ulaştırılması hedeflenmektedir. Tesis ilk tasarım çalışmaları sırasında bu kapasite artırımına uygun olarak tasarlanmış ve kapasite artırım çalışmaları devam ederken tesisin durdurulması gerekmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Tesisin toplam maliyetinin yaklaşık 5 milyon \$ olduğu yetkililer tarafından dile getirilmiştir.

Tesise girdi olarak kullanılacak hayvan atığı SÜTAŞ'ın anlaşmalı olduğu yakındaki çiftliklerden direk tesise döşenen altyapıyla gelmektedir. Çiftlikten tesise direk iletimi sağlayan böyle bir hattın yapılmasının nedeni atığın beklemeden tesise alınması ihtiyacından doğmuştur. Gezi esnasında tesise günlük 300-350 t civarında hayvan atığı eklenmektedir. Ancak bu kadar atık tesisi tam kapasite çalıştırmaya yetmemektedir. Tesisi daha yüksek kapasite çalıştırabilmek için çevrede ki tesislerden hayvan atığı toplanıp getirmektedirler. Atıkların toplanacağı mesafenin ise 20 km'ye kadar ekonomik olduğu firma çalışanları tarafından ifade edilmiştir.

Tesiste yaklaşık 15 kişi çalışmakta olup sayının bu kadar fazla olmasının nedeni ise vardiyalı sistemle çalışılmasıdır. Anlık olarak 3-4 kişi tesisi çalışması için yeterlidir. Tesis yılda 8000 saat çalışma kapasitesine sahiptir. Tesisin ilk planlamada 3.2 yıl içinde kendini amorti edeceği hesaplanmışken bazı nedenlerden dolayı tesisin bir süre ve tam kapasite çalışmamasından dolayı bu süre uzamıştır. Ancak yine de 4.2 yılın yeterli olacağı tahmin edilmektedir (Anonim, 2014).

1.8. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, biyogaz tesislerinde muhtemel kullanım alanı olan sebze ve meyve atıkları hedeflenmiştir. Bu amaçla, sebze-meyve pazarları ve hallerde oluşan atıkların biyogaz üretim potansiyelleri belirlenmiştir. Bu kapsamda, pazar atıkları toplanarak Hohenheim Üniversitesi, Tarım Makineleri ve Biyoenerji Laboratuvarında kurutulup öğütülmüş ve öğütülmüş atıklar üzerinde, organik madde, kuru madde ve kül analizleri yapılmıştır. Ayrıca, ilgili birimde mevcut olan biyogaz ölçüm laboratuvarında, Hohenheim Batch Test (HBT) yöntemi ile deneysel olarak özgül metan ve biyogaz üretim değerleri de ölçülmüştür. HBT yöntemi (Heffrich ve ark., 2003) ile sebze-meyve atıklarının metan ve biyogaz üretim potansiyellerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu deneysel çalışmanın, Türkiye'de ilk olduğu düşünülmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bouallagui ve ark. (2003), deneysel olarak yaptıkları çalışmada; tüp şeklinde bir çürütücü içinde mezofilik şartlarda sebze ve meyve atıklarından biyogaz üretimini incelemiştir. Deneyler 35 °C'de ve 18 L'lik reaktör içinde gerçekleştirilmiştir. Denemelerde bir aylık zaman sürecinde toplam 180 tonluk karışık sebze-meyve atığı ele alınmıştır. Biyogaz tesisinin % 6'lık yüklenme oranı ile ele alınan sebze-meyve atıklarının maksimum biyogaz üretimi 0.7 m³/kg OKM olarak belirlenmiştir.

Bouallagui ve ark. (2004), sebze meyve atıklarının reaktörde anaerobik çürütülmesine, sıcaklığın etkisini incelemiştir. Deneyler, psikofilik, mezofilik ve termofilik koşullarında yapılmıştır. % 4, % 6, % 8 ve % 10'luk katı madde oranlarında psikofilik koşullar için 20 °C, mezofilik koşullar için 35 °C ve termofilik koşullar için 55 °C sıcaklıklarda karışık sebze-meyve atıklarının biyogaz verimleri incelenmiştir. En yüksek biyogaz verimi %6 'lık katı madde oranıyla 55 °C'de 0.99 m³/kg OKM olduğu görülmüştür. Sıcaklık arttıkça biyogaz veriminin de arttığı bildirilmiştir.

İşci ve Demirer (2007), pamuk atıklarının biyogaz potansiyellerini incelemiştir. 250 mL cam şişelere tampon çözelti hazırladıktan sonra içerisine farklı boyutlarda pamuk atıkları koyarak 23 gün boyunca 35 °C sıcaklıkta belli aralıklarla ölçüm yaparak kümülatif biyogaz üretimlerini belirlemiştir. Biyogaz üretimleri; 1 g pamuk sapından 65 mL, pamuk tohumu kabuğundan 86 mL, pamuk yağı küspesinden 78 mL CH₄ üretimi olmuştur.

Doğan (2008), İzmir ili Bornova ilçesi marketleri sebze ve meyve atıklarının hayvan yemi olarak potansiyelini incelemiştir. Sebze meyve atıklarının kuru madde, ham kül, organik madde (kuru madde-ham kül), ham protein, ham yağ, ham selüloz ve metabolik enerji değerini hesaplamıştır.

Bouallagui ve ark. (2009), çalışmalarında mezofilik şartlarda karışık sebze ve meyve atıklarının anaerobik çürütmeye en uygun olabilecek maddenin seçilmesini araştırmışlardır. Bu amaçla deneyler anaerobik ardışık kesikli reaktörde sürdürülmüştür. Substrat olarak balık atığı, mezbaha atıksuyu ve aktif çamur sebze meyve atıklarına eklenmiştir. Sebze meyve atığı, balık atığı, mezbaha atıksuyu ve aktif çamurun elementel analizlerini de yapmışlardır. Tüm bu atıkların biyogaz üretimlerini belirlemiştir. 4 farklı oranda karışım yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda bulunan değerler 1. karışım için 0.31 m³/kg OKM, 2. karışım için

0.51 m³/kg OKM, 3. karışım için 0.49 m³/kg OKM, 4. karışım için 0.32 m³/kg OKM olarak bulunmuştur.

Ulusoy ve ark. (2009), çalışmalarında domates ve bezelye atıklarının biyogaz üretim potansiyelini belirlemişlerdir. Testler, 32 gün boyunca yapılmıştır. Domates atığının gaz üretim potansiyeli 417 m³/kg OKM, bezelye atığının gaz üretim potansiyeli 0.417 m³/kg OKM olarak belirlenmiştir.

Hutnan ve ark. (2009), mısır slajı ve tanelerinin biyogaz potansiyellerini araştırmışlardır. Hazırlamış oldukları tampon çözeltileri, farklı oranda mısır slajı ve taneleri ile karıştırılarak 35 °C sıcaklıkta 300 gün boyunca reaktörlerde bekleterek biyogaz üretim değerlerini belirlemişlerdir. Çalışmada, mısır slajından elde edilen maksimum biyogaz üretimi 0.72 m³/kg OKM olarak belirlenmiştir.

Mujtaba (2010), sebze meyve atıklarının biyogaz üretim değerlerini incelemiştir. Farklı marketlerden toplanan atıklar hammadde olarak kullanılmıştır. Laboratuvarında nem, kül, C:N oranı, Na, Ca, K, Mg, P analizleri yapılmıştır. Toplamda 2305 L gaz (70 gün boyunca) saptamıştır. 120 kg'lık kesikli beslemeli reaktörün 70 gün boyunca çalışması sonucu toplam gaz üretimi 2305 L bulunmuştur. Ayrıca sebze meyve atığında nem: 91.02 (g/100 g), kül: 5,03 (g/100 g), C:N oranı: 19:5 bulunmuştur.

El-Mashad ve Zhang (2010), çalışmalarında hayvan gübresi ile yiyecek atıklarını karıştırarak biyogaz üretim potansiyellerini araştırmışlardır. Tüm testler 1 L anaerobik reaktörde iki kez tekrarlı olmak şartıyla mezofilik şartlarda (35 °C) 30 gün boyunca yapılmıştır. 20 ve 30 gün sonunda bulunan metan ve biyogaz üretimlerini hesaplamışlardır. En yüksek biyogaz üretimi sırasıyla sadece yiyecek atıklarından 0.657 m³/kg OKM (30 günlük); %32 yiyecek atığı ve %68 gübre karışımında 0.455 m³/kg OKM (30 günlük); %48 yiyecek atığı ve %52 gübre karışımında ise 0.531 m³/kg OKM (30 günlük) bulunmuştur.

Onursal ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada Türkiye' deki gül yağı işleme atıklarının ve bıldırcın gübresinin biyogaz üretim potansiyelini, Hohenheim batch testi ile değerlendirmişlerdir. 37 °C de 35 günlük bekleme süresinde bıldırcın gübresinin biyogaz potansiyeli 0.260 Nm³ CH₄ /kg, gül yağı işlenmiş atıklarının metan potansiyeli 0.260 Nm³ CH₄ /kg belirlemişlerdir.

Patil ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada sebze atıklarını 2 litrelik reaktorlerde 25 günlük süreyle bekletmeleri sonucu elde edilen biyogaz verimleri 0.383 and 0.522 Nm³ CH₄/kg olarak belirlemişlerdir.

Lin ve Deshmukh. (2011), sebze-meyve ve yiyecek atığının laboratuvar ölçekli tam karıştırmalı reaktörde anaerobik olarak metan potansiyelini araştırmışlardır. Sebze meyve atığı ve yiyecek atığına 20 günlük biyokimyasal metan potansiyeli testi uygulandığında toplam metan üretimi sebze-meyve atığı için $0.30 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg OKM}$, yiyecek atığı için $0.56 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg OKM}$ olarak saptamışlardır, böylece biyolojik parçalanabilirliklerini %59.3 ve %83.6 olarak hesaplamışlardır. Sebze-meyve atığı ve yiyecek atıkları 1:1 oranında karıştırıldığında metan üretiminin $0.49 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg OKM}$ olarak belirlenmiştir.

Sözer ve Yıldız (2012), %70 sığır gübresi ile %30 domates atıklarını karıştırıp 15 L'lik reaktorlerde yapmış oldukları çalışmada, günlük üretilen metan verimini $0.143 \text{ m}^3/\text{kg OKM}$ olarak belirlemişlerdir.

Mittweg ve ark. (2012), enerji mısırlarından oluşan atıklarının metan ve biyogaz üretim potansiyellerini belirlemişlerdir. 100 mL'lik cam şırıngalara, biyogaz tesislerinden alınan inoculumu ve 1 mm boyutunda öğütülmüş enerji mısır atıklarını karıştırıp mezofilik şartlar altında 35 gün süreyle ölçüm alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda enerji mısırlarından meydana gelen ortalama metan üretimi $0.349 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ ve biyogaz üretimi ise $0.665 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olarak belirlemişlerdir.

Berlian ve ark. (2013), yapmış oldukları çalışmada sebze ve meyve atıklarını 14 hafta boyunca 200 L'lik reaktörde bekleterek biyogaz üretim değerlerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda karışık sebze ve meyve atıklarının metan içeriği % 65 ve metan verimi ise $0.387 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{kg OKM}$ olarak belirlemişlerdir.

Perendeci ve ark. (2014), tarımsal ve hayvansal atıklardan meydana gelen kümülatif metan üretimlerini belirlemişlerdir. Yapılan çalışmada mısır slajı, mısır atıkları, tavuk gübresi, inek gübresinin biyokimyasal metan potansiyelleri 30 gün süreyle yapılmıştır. Çalışma sonucunda, mısır slajının $0.291 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$, mısır atıkları $0.258 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$, tavuk gübresi $0.208 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ ve inek gübresi ise $0.179 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olarak belirlenmiştir.

Gül (2014), sebze meyve atıklarının biyogaz üretimini incelemiştir. Çalışmada, belediye halinden toplanan atıklar hammadde olarak kullanılmıştır. Laboratuvarda toplam nem, kül tayini, uçucu madde tayini, üst ve alt kalori değeri, toplam kükürt, karbon-hidrojen analizleri, yapılmıştır. Çalışma kapsamında teorik biyogaz hesaplaması yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda biyogaz üretim potansiyelleri $0.27\text{-}0.34 \text{ m}^3/\text{kg OKM}$, metan üretim potansiyelleri ise $0.39\text{-}0.47 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg OKM}$ arasında bulunmuştur.

Üçok ve ark. (2016), kırmızı biberin işlenmesi aşamasında oluşan sap, tohum, yaprak atıklarınının metan ve biyogaz potansiyellerini deneysel olarak belirlemişlerdir. Çalışmada, 100 mL'lik cam şırıngalara, 1 mm boyutunda öğütülmüş kırmızı biber atıkları karıştırılıp mezofilik şartlar altında 35 gün süreyle ölçüm alınmıştır. Kırmızı biber atıklarından oluşan metan üretimi 0.36 Nm³/kg OKM, biyogaz üretimi ise 0.57 Nm³/kg OKM olarak belirlenmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Sebze ve meyve atıkları

Araştırma kapsamında sebze ve meyve atıkları, Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi toptancı halindeki açık deponi alanından ve semt pazarlarından, 2015 yılı yaz döneminde toplanmıştır. Toptancı hal yetkilileri ile yapılan görüşmelerde halden yaz aylarında günde ortalama 30 t (3 kamyon), kış aylarında ise günde ortalama 10 t (1 kamyon) sebze ve meyve atığı oluştuğu bildirilmiştir. Kahramanmaraş büyükşehir belediyesi toptancı hal görüntüsü Şekil 3.1’de, toptancı hal iç görüntüsü Şekil 3.2’de ve toptancı hal atık görüntüsü Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kahramanmaraş büyükşehir belediyesi toptancı hal görüntüsü



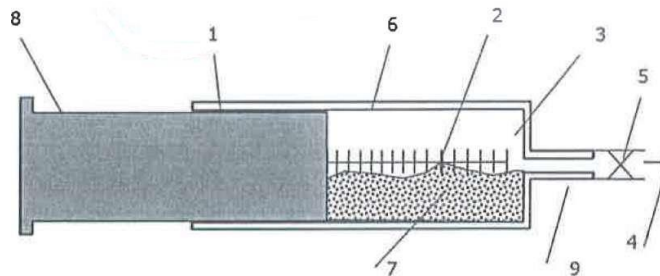
Şekil 3.2. Kahramanmaraş büyükşehir belediyesi toptancı hal iç görüntüsü



Şekil 3.3. Kahramanmaraş büyükşehir belediyesi toptancı hal atık görüntüsü

3.1.2. Deneysel ünite

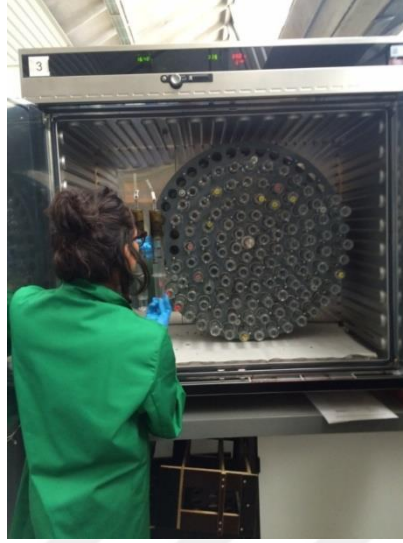
Bu araştırma, Stuttgart Hohenheim Üniversitesi, Tarım Makineleri ve Biyoenerji Mühendisliği Biyogaz Araştırma laboratuvarında yürütülmüştür. Metan ve biyogaz verimi, laboratuvar ölçekli “Hohenheim Biogas yield Test metodu” ile (Heffrich, 2003), VDI Guideline 4630 (VDI 4630, 2006)’ya göre belirlenmiştir. HBT (Hohenheim Biogas yield Test) yönteminde sindirici, 100 mL cam şişelerde oluşmaktadır. Şekil 3.4’de patentli Hohenheim batch test ünitesi gösterilmiştir. Ünite; (1) Kayma ve sızdırmazlık aracı, (2) 1 mL’lik bölme, (3) gaz haznesi, (4) gaz analizi için açıklık, (5) kelepçe, (6) cam şırınga, (7) fermantasyon maddesi, (8) piston, ve (9) ince borudan oluşmaktadır. Bu sistemin ön kısmında gaz ölçümü için ve hava girişine karşı koruma sağlayan açılıp ve kapanabilen bir kelepçe vardır. Anaerobik bozulmaya karşı, hava girişini engellemek için piston ve şırınga arasına gres yağı veya vazelin sürülmektedir. Bu metoda ek olarak kullanılacak gaz örnek tüpüne gerek yoktur.



Şekil 3.4. Hohenheim batch test şırıngası (VDI 4630, 2006)

Biyogaz, belli aralıklarla yapılan gaz ölçümlerinde gaz haznesinde toplanmaktadır. Ölçüm yapılacak olan şırıngalarla ölçüm cihazı arasında özel bir hortum sayesinde bağlantı kurularak gaz kayıpları engellenmektedir. 129 adet cam şırınga, inkubator (Şekil 3.5) olarak

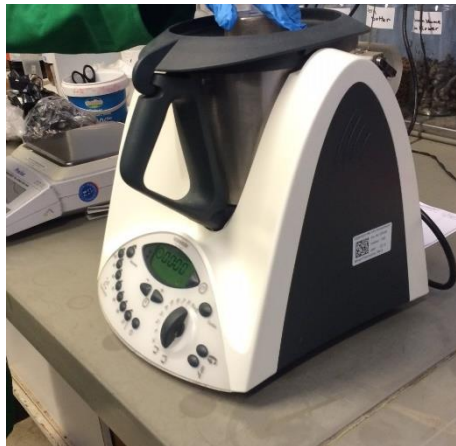
adlandırılan ve içerisinde 129 bölme bulunan çember şeklinde dönebilen dolap içerisine konulmaktadır. Dolap içerisine sıcaklığı eşit dağıtabilecek bir rotor konulmuştur (VDI 4630, 2006).



Şekil 3.5. İnkubator iç görüntüsü

3.1.3. Öğütücü

Sebze ve meyve atıkları, Vorwerk Thermomix Tm 31 sanayi tipi öğütücü (Şekil 3.6) kullanılarak, standart (VDI 4630, 2006) gereği 1 mm ve farklı boyutta biyogaz üretiminde test etmek için ise 3 mm boyutunda öğütülmüştür (Şekil 3.7). Kullanılan öğütücünün bazı teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.6. Öğütücü



Şekil 3.7. Öğütülmüş sebze ve meyve atıkları

Çizelge 3.1.1. Öğütücünün bazı teknik özellikleri (Anonim, 2012)

| Teknik özellik | Açıklama |
|--------------------|-----------------|
| Model | Thermomix Tm 31 |
| Motor gücü (W) | 500 |
| Devir sayısı (d/d) | 100-10200 |
| Isıtma sistemi(W) | 1000 |

3.1.4. Mikro terazi

Sebze ve meyve atıklarının deney düzeneği koşullarına uygun (VDI 4630, 2006) tartımı (0,2 gram), $\pm 0,1 \mu\text{g}$ çözünürlüğe sahip Kern EG 4200-2 NM marka mikro terazi (Şekil 3.8) ile yapılmıştır.



Şekil 3.8. Mikro terazi

3.1.5. İnoculum

İnoculum, sıvı+katı fazda bir karışım (Şekil 3.9) olup, Almanya'nın Stuttgart kentinde mezofolik (37-40 °C) ortamda çalışan 3 farklı biyogaz tesisinden alınmıştır.



Şekil 3.9. İnoculum

3.1.6. Metan ölçüm düzeneği ve kalibrasyon tüpü

Metan ölçümü, infrared-spectrometric methane-sensor "Advanced Gasmitter" (Pronova Analysetechnik, Berlin, Germany) düzeneği (Şekil 3.10) ile hacimsel olarak ölçülmüştür. Sebze ve meyve atıklarının metan ölçümlerine başlamadan önce metan ölçüm düzeneğinin kontrolü için kalibrasyon tüpü (Şekil 3.11) kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Metan ölçüm düzeneği



Şekil 3.11. Metan ölçüm düzeneği kalibrasyon tüpü

3.1.7. Kül fırını

Sebze ve meyve atıklarının 550 °C’de ham kül içeriğini belirlemek (VDI 4630, 2006) için Heraeus marka kül fırını (Şekil 3.12) kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Kül fırını

3.1.8. Etüv

Araştırmada ele alınan sebze ve meyve atıklarının, 105°C’de kuru madde içeriğini belirlemek için (VDI 4630, 2006) memmert marka etüv (Şekil 3.13) kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Etüv

3.1.9. Laboratuvar cam ve plastik malzemeleri

İnoculum’un cam şırıngalara doldurulmasında erlenmayer, beher ve mezür kaplar (Şekil 3.14) kullanılmıştır.



Şekil 3.14. Laboratuvar cam ve plastik malzemeleri

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneysel prosedür

Ele alınan sebze ve meyve atıkları, 2015 yılı yaz döneminde, her bir taze materyal için yaklaşık bir kilogram alınarak kurutma fırınında 50 ile 60 °C sıcaklık değerlerinde kurutulmuştur. Kurutulmuş sebze ve meyve atıkları (salatalık, marul, biber, domates, soğan, karışık sebze-meyveler, şeftali, elma), standart gereği (VDI 4630, 2006) 1 mm'lik elekten geçirilerek öğütülmüştür. Ayrıca, farklı boyuttaki atıklardan oluşabilecek biyogaz verimlerini, standart dahilindeki değerlerle karşılaştırmak amacıyla ele alınan atıklardan elma, şeftali ve karışık meyve-sebzeler için 3 mm boyutunda olacak şekilde öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Öğütülmüş materyallerden her birinden 3'er örnek alınıp, her örnek 0.2 g olacak şekilde mikro terazide tartıldıktan sonra 100 mL'lik cam şırıngalara özel kaşıklar yardımıyla konularak, şırınga örnekleri inkübatör içindeki bölmelere yerleştirilmiştir. Aynı şekilde karşılaştırma grubu örnekleri için her biri 30 mL inokulum alacak şekilde büret kullanılarak hazırlanan 3 adet inokulum şırıngası da inkübatör içindeki bölmelere yerleştirilmiştir.

Standart gereği, tartılan örnekler şırıngalara konulmadan önce şırınga pistonu çıkarılıp, enjektörlerin uç kısmında bulunan ve gaz transferinde kullanılan silikon hortumlara plastik klipsler takılmıştır. Enjektörlerin pistonlarına, analiz esnasında gaz kaçırmamasını önlemek amacıyla, alttan ve üstten 3'er parmak boşluk kalacak şekilde vazelin sürülmüştür. Daha sonra cam şırınga pistonları takılıp, klipsler kapatılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Şırıngalara aşı konulduktan sonra 37 °C sıcaklıkta olan inkübatör içerisine yatay bir şekilde yerleştirilmiştir. İnkübatörde bulunan çember içindeki şırınga yuvalarına yerleştirilen şırıngalardaki materyallerin üniform şekilde olması için çemberin 10 d/d hızda dönmesi sağlanmıştır. İnkübatörde işlemlere başlamadan önce metan içeriğini belirlemek için kullanılan metan ölçüm düzeneği, kalibrasyon tüpü (% 60.5 CH₄) ile kalibre edilmiştir. Kalibrasyonun amacı, ölçülen gazın standart koşullarda (0 °C ve 1013 hPa) olduğunu doğrulamaktır. Ölçümler 35 gün süresince yapılmıştır. Ölçümler, ilk 6 gün için her 6 saatte bir, daha sonraki günlerde 8 ve 12 saat arayla yapılarak her bir örnekte oluşan metan verimi belirlenmiştir. Metan değerlerinin ölçümü cam şırıngalar içerisinde 20 mL düzeyine erişildiğinde metan okuma düzeneği tarafından gerçekleştirilmiştir (VDI 4630, 2006).

Ele alınan materyallerin her bir örneği için hazırlanan cam şırıngalar içerisinde üretilen gazın normal hacminin hesaplanması için eşitlik [3.1], oluşan biyogazın metan içeriğinin

belirlenmesinde eşitlik [3.2], zamanla kümülatif olarak biriken metan gazının hesaplanması için ise eşitlik [3.3] kullanılmıştır (VDI 4630, 2006).

$$V_0^{tr} = V \left(\frac{(P-P_w)(T_0)}{(P_0)(T)} \right) \quad [3.1]$$

Burada;

- V_0^{tr} : Normal şartlar altındaki gazın hacmi (mL_N),
 V : Okunan gazın hacmi (mL),
 P : Okuma yapılan zamandaki hava basıncı (hPa),
 P_w : Dış ortamda bulunan sudaki sıcaklığın buhar basıncı (hPa),
 T_0 : Normal sıcaklık (273 K),
 P_0 : Normal basınç (1013 hPa),
 T : Dış ortamda fermantasyona uğramış gazın sıcaklığı (K)'dir.

$$C_{CH_4}^{tr} = C_{CH_4}^f \left(\frac{P}{(P-P_w)} \right) \quad [3.2]$$

Burada;

- $C_{CH_4}^{tr}$: Kuru biyogaz içinde bulunan hacimsel metan içeriği (%),
 $C_{CH_4}^f$: Nemli biyogaz içinde bulunan hacimsel metan içereği (%),
 P : Okuma esnasındaki gaz basıncı (hPa),
 P_w : Dış ortamda bulunan sudaki sıcaklığın buhar basıncı (hPa)'dir.

$$M_{CH_4}(t) = M_{CH_4}(0) + \int_{t_1}^{t_2} M_{CH_4}(t) dt \quad [3.3]$$

Burada;

- $M_{CH_4}(t)$: Kümülatif metan üretimi (Nm³ CH₄/kg OKM_{in}),
 $M_{CH_4}(0)$: t= 0 iken metan üretimi (Nm³ CH₄/kg OKM_{in}),
 t_2-t_1 : İki ölçüm arasındaki süre (min)'dir.

3.2.2. Aşı hazırlanışı

Sıvı+katı fazda bir karışım olan aşı, Hohenheim Üniversitesi biyogaz laboratuvarındaki bir tank içerisinde (Şekil 3.15) hazırlanmıştır. Karışım, 37°C sıcaklıkta 300 L'lik tanka boşaltıldıktan sonra içeriğini dengede tutmak için günlük 18 g başak özü, 18 g mısır, 10 g soya, 12 g kolza yağı ve belli miktar su eklenerek stabilize edilmektedir.



Şekil 3.15. Aşı tankı

3.2.3. Kuru madde analizi

Porselen krozeler (Şekil 3.16) boş olarak etüvde 105°C’de 1 saat bekletilmiştir. Daha sonra desikatöre alınarak oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Mikro terazide boş olarak kütlesi ölçülen porselen krozeler (A) içerisine yaklaşık 1 g atık materyali konularak tartılmıştır (B). İçerisinde örnek bulunan krozeler etüve yerleştirilerek 105°C’lik fırında 4-6 saat yakılmıştır. Bu süre sonunda desikatöre alınan porselen krozeler oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve mikro terazide tartımı yapılmıştır (C). Bulunan sonuçlar eşitlik 3.4’de (AOAC, 1990) yerine konularak örneklerin kuru madde içeriği hesaplanmıştır.



Şekil 3.16. Porselen krozeler

$$KM = (C-A)/B*100 \quad [3.4]$$

Burada;

KM : Kuru madde içeriği (%),

A : Boş porselen kroze kütlesi (g),

B : 1 g deneysel atık materyali ilave edilmiş porselen kroze kütlesi (g),

C : Etüv sonrası porselen kroze kütlesi (g)’dir.

3.2.4. Ham kül ve organik madde analizi

Porselen krozeler boş olarak ham kül fırınında 550 °C'de 2 saat bekletilmiştir. Daha sonra desikatöre alınarak oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur (VDI 4630, 2006). Mikro terazide boş olarak kütlesi ölçülen porselen krozeler (A) içerisine yaklaşık 1 g atık madde materyali konularak tartılmıştır (B). İçerisinde atık materyal bulunan krozeler ham kül fırınına yerleştirilerek 550 °C'lik fırında 6-8 saat yakılmıştır. Fırın, belli sıcaklığa kadar soğuduktan sonra desikatöre alınan krozeler oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve mikro terazide tartımı (C) yapılmıştır. Bulunan sonuçlar eşitlik 3.5 ve 3.6'da (AOAC, 1990) yerine konularak örneklerin ham kül ve organik madde içeriği hesaplanmıştır.

$$HK = ((C-A)/B*100) \quad [3.5]$$

$$OM = 100 - HK \quad [3.6]$$

Burada;

HK : Ham kül içeriği (%),

A : Boş porselen kroze kütlesi (g),

B : 1 g deneysel atık materyali ilave edilmiş porselen kroze kütlesi (g),

C : Fırlama sonrası porselen kroze kütlesi (g)'dir.

OM : Organik madde içeriği (%)'dir.

3.2.5. Metan ölçümü

Sebze ve meyve atıklarından oluşan biyogaz içindeki metan değerleri, infrared-spectrometric methane-sensor "Advanced Gasmitter" (Pronova Analysetechnik, Berlin, Germany) ölçüm düzeneği ile hacimsel olarak ölçülmüştür (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Metan ölçümü

3.2.6. Verilerin toplanması ve değerlendirilmesi

Ele alınan sebze ve meyve atıkları, 2015 yılı yaz döneminde toplanmış ve kurutulmuştur. Araştırma bölgesinde oluşan salatalık, marul, biber, domates, soğan, karışık sebze-meyveler, şeftali ve elma atık potansiyeli belirlenmiştir. Kurutulan materyaller, Almanya Stuttgart kentindeki Hohenheim Üniversitesi Tarım Makineleri ve Biyoenerji Mühendisliği biyogaz araştırma laboratuvarında standartlar gereği istenilen boyutlarda öğütülmüş ve her bir materyalin kuru madde (KM), organik kuru madde (OKM), metan ve biyogaz verimleri belirlenmiştir.

Üç tekerürlü yapılan ölçümlerin, standart sapma ve ortalama değerleri belirlenmiş, değerler çizelge ve şekillere aktarılarak yorumlanmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde, Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi yaş sebze ve meyve halinden alınan salatalık, marul, biber, domates, soğan, karışık sebze-meyveler, şeftali ve elma atıklarının; potansiyel miktarları, kuru madde (KM) ve organik kuru madde (OKM) oranları, biyogaz üretimi ve biyogaz içerisindeki metan oranları belirlenmiştir. Biyogaz üretiminde, her bir materyal için 3 farklı cam şırıngada 35 gün ölçüm yapılmış ve karşılaştırma gurubu için ise inokulum içeren ayrı cam şırınga konulmuştur.

4.1. Kahramanmaraş İlinde Yaş Sebze ve Meyve Atık Potansiyeli

Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi toptancı hal yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucunda, belirlenen yaş sebze ve meyve atık miktarları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Ele alınan alanda oluşan karışık sebze ve meyve atık miktarları yaz aylarında 30 ton/gün iken domates atık miktarı 1.8 ton/gün, salatalık atık miktarı 1.2 ton/gün, soğan atık miktarı 1.1 ton/gün, biber atık miktarı 0.8 ton/gün, şeftali 0.5 ton/gün, elma 0.4 ton/gün ve marul 0.3 ton/gün olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.1). Bu değerler, ilde önemsenecek boyutta atık oluştuğunu, dolayısıyla bu alanda biyogaz potansiyeli olduğunu göstermektedir. Gül (2014), yapmış olduğu "Sebze ve Meyve Atıklarının Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi" adlı çalışmasında Ankara ili sebze ve meyve atık potansiyelini yaz aylarında günde ortalama 60 ton, kış aylarında ise günde ortalama 30 ton olarak belirlemiştir. Ankara ilinde sebze ve meyve atık potansiyelinin Kahramanmaraş ilinden fazla olmasının nedeni daha fazla nüfusa sahip olmasındandır.

Çizelge 4.1. Kahramanmaraş ilinde sebze ve meyve atık miktarları

| Numune | Atık miktarı (t/gün) |
|------------------------|----------------------|
| Karışık sebze ve meyve | 30 |
| Domates | 1.8 |
| Salatalık | 1.2 |
| Soğan | 1.1 |
| Biber | 0.8 |
| Şeftali | 0.5 |
| Elma | 0.4 |
| Marul | 0.3 |

4.2. Sebze-Meyve Atıklarının Kuru Madde ve Organik Kuru Madde Oranları

Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi yaş sebze ve meyve halinden alınan domates, biber, salatalık, şeftali, elma, marul, karışık sebze ve meyve atıklarından hazırlanan deneysel örneklerin kuru madde ve organik kuru madde oranları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Deney standartları gereği hazırlanan 1 mm boyutlarındaki karışık sebze ve meyve numunesinde,

yaklaşık olarak kuru madde (KM) oranı % 86, organik kuru madde (OKM) oranı ise % 87 iken farklı boyuttaki materyalin değerlerini belirlemek amacıyla hazırlanan 3 mm boyutundaki karışık sebze ve meyve atıklarının numunesinde, yaklaşık olarak kuru madde (KM) oranı % 85, organik kuru madde (OKM) oranı ise % 87 olmaktadır. Ele alınan 1 mm boyutundaki numunelerde; kuru madde oranı en yüksek marul atıklarında (% 89.9), en düşük ise elma atıklarında (% 81.1), organik kuru madde oranları ise en yüksek elma atıklarında (% 95.9), en düşük ise marul atıklarında (% 69.7) oluşmuştur. 3 mm boyutundak numunelerde; kuru madde oranı en yüksek karışık sebze ve meyve atıklarında (% 84.6), en düşük ise elma atıklarında (% 81.1), organik kuru madde oranları ise en yüksek elma atıklarında (% 95.9), en düşük ise karışık sebze ve meyve atıklarında (% 87.2) oluşmuştur (Çizelge 4.2). Gül (2014), yapmış olduğu "Sebze ve meyve atıklarının Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi" başlıklı çalışmada, Ankara ilindeki karışık sebze ve meyve atıklarının kuru madde oranlarını % 82.3-89.9, organik kuru madde oranlarını ise % 73.3-80.7 olarak belirlemiştir. Bu oranların farklı olmasının nedeni, atıkların yaz ve kış aylarında toplanması, kimyasal farklılık, atık karışımının farklı oranda olması ve sebze-meyve çeşitliliğinin farklı olması ile açıklanabilir.

Çizelge 4.2. Ele alınan sebze-meyve atıklarının kuru madde (KM) ve organik kuru madde (OKM) oranları

| Sebze-meyve atıkları | Boyut | KM (%) | OKM (%) |
|------------------------|----------|-------------|-------------|
| Salatalık | | 84.9 | 85.4 |
| Marul | | 89.9 | 69.7 |
| Biber | | 86.2 | 91.9 |
| Domates | 1 mm | 84.9 | 88.7 |
| Soğan | | 86.1 | 92.5 |
| Elma | | 81.1 | 95.9 |
| Şeftali | | 82.6 | 92.6 |
| Karışık sebze ve meyve | | 86.1 | 87.4 |
| | ortalama | 85.23 | 88.1 |
| Şeftali | | 82.6 | 92.6 |
| Elma | 3 mm | 81.1 | 95.9 |
| Karışık sebze ve meyve | | 84.6 | 87.2 |
| | ortalama | 82.77 | 91.9 |

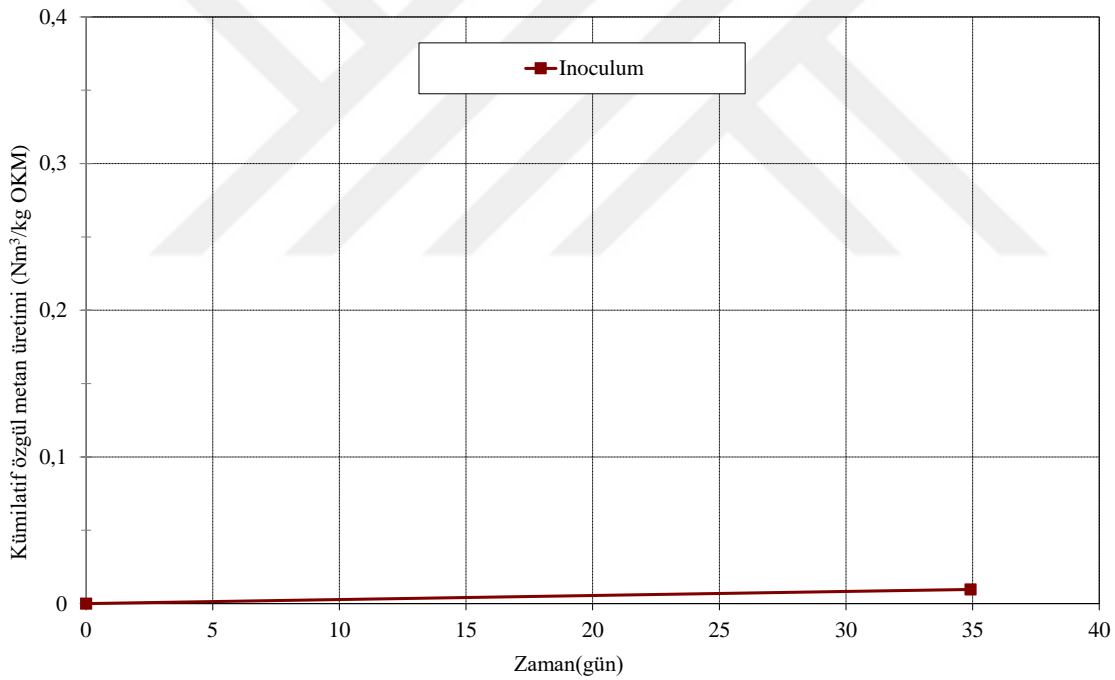
4.3. Sebze-Meyve Atıklarının Metan Üretim Değerleri

DeneySEL olarak yapılan bu çalışmada, öncelikle standart (VDI 4630, 2006) gereği anaerobik ortam koşullarının biyogaz oluşumuna uygunluğunu belirlemek amacıyla aşının biyogaz-metan üretim değerleri belirlenmiştir. Daha sonra ise ele alınan sebze ve meyve atıklarının metan üretim değerleri ölçülmüştür. Ele alınan sebze ve meyve atıkları 2 farklı boyutta hazırlanarak (öğütülerek) metan üretim değerleri belirlenmiştir. Bu boyutlardan biri standart boyut (1 mm), diğeri ise 3 mm olarak alınmıştır. Sebze-meyve atıkları olarak; 1 mm

boyutunda, salatalık, marul, biber, domates, soğan, şeftali, elma ve karışık sebze-meyveler, 3 mm boyutunda ise şeftali, elma ve karışık sebze-meyveler ele alınmıştır. İnoculum'un metan üretimi için 1 örnek, sebze-meyve atıklarının her birinin metan üretimleri için 3'er örnek alınmıştır. Metan üretim değerleri aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

Inoculum metan verimi:

Deney standardı gereği inokulumdan oluşacak kümülatif özgül metan üretiminin 0-0,1 Nm³/kg OKM olması gerekmektedir (VDI 4630-Richtlinie, 2006). Bu çalışmada, inokulumdan meydana gelen maksimum kümülatif özgül metan üretimi 0.09 Nm³/kg OKM olarak belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak inokulum'dan meydana gelen kümülatif metan üretimi 1. günde başlamakta, günlere göre giderek artmakta ve maksimum değere 30-35. günlerde ulaşmaktadır (Şekil 4.1). İnoculum'daki metan değerlerinin başlangıçta düşük olmasının nedeni anaerobik (oksijensiz) parçalanma için zamana ihtiyaç duyulmasıdır.



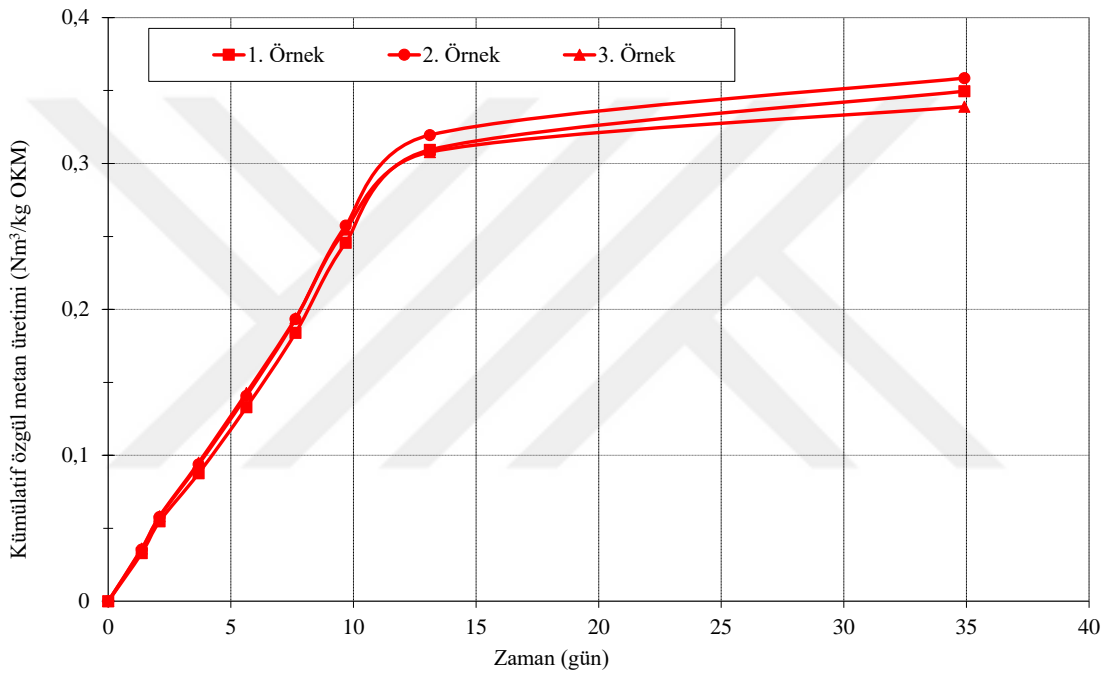
Şekil 4.1. İnoculum'un özgül kümülatif metan üretimi

1 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarının metan verimleri:

Yapılan deneysel çalışmada, ele alınan 1 mm boyutundaki sebze ve meyve atıklarının zamana bağlı olarak oluşan kümülatif özgül metan üretim değerleri; salatalık atıkları için Şekil 4.2'de, marul atıkları için Şekil 4.3'de, biber atıkları için Şekil 4.4'de, domates atıkları

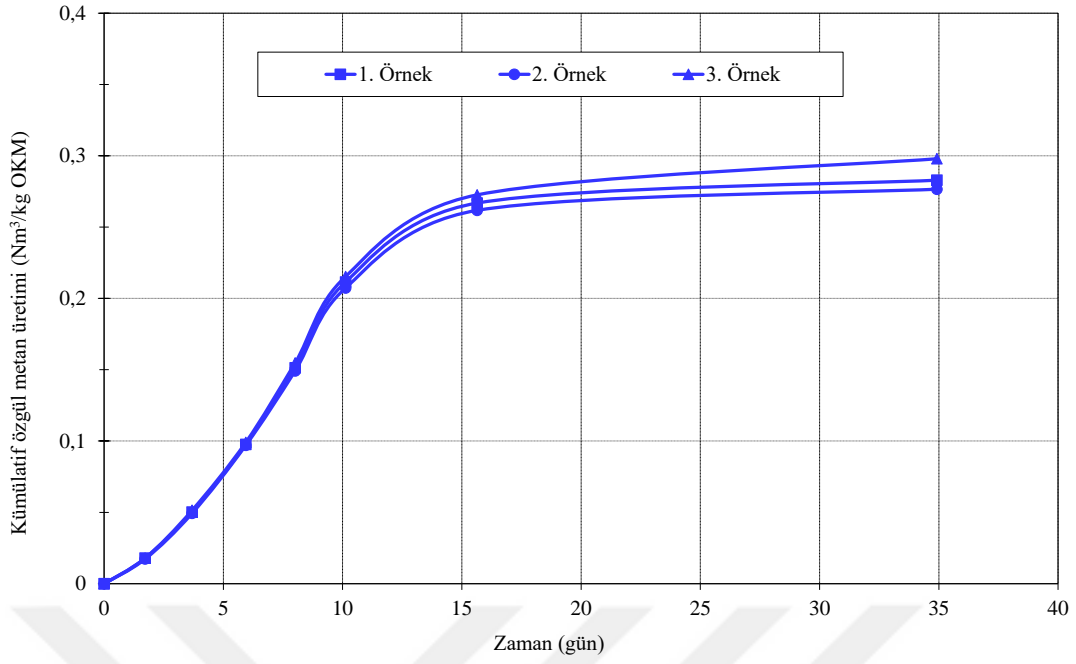
için Şekil 4.5’de, soğan atıkları için Şekil 4.6’da, şeftali atıkları için Şekil 4.7’de, elma atıkları için Şekil 4.8’de, karışık sebze ve meyve atıkları için Şekil 4.9’da verilmiştir.

Zamana bağlı olarak, salatalık atıklarından oluşabilecek kümülatif özgül metan üretimi, her üç örnek için 1. günde başlamakta ve 15. güne kadar giderek artmakta, 15-35. günler arasında artış hızı azalmakta ve 35. günde maksimum değerlere ulaşmaktadır. Söz konusu materyal için 35. günde zamana bağlı kümülatif özgül metan üretim değeri; en yüksek 2. örnekte ($0.36 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$), en düşük 3. örnekte ($0.34 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$) oluşmakta ve üç örneğin ortalama değer ise $0.35 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olmaktadır (Şekil 4.2).



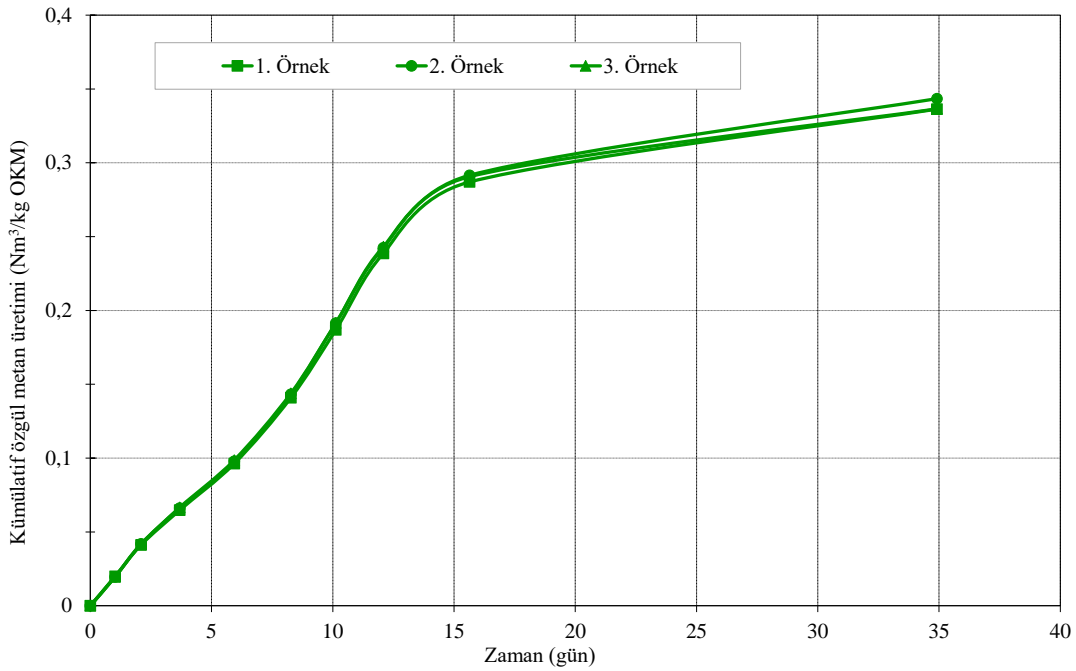
Şekil 4.2. 1 mm boyutunda salatalık atıklarının özgül kümülatif metan üretimi

Marul atıklarından oluşabilecek kümülatif özgül metan üretimi, her üç örnek için 1. günde başlamakta ve 10-15. güne kadar giderek artmakta, 16-25. günler arasında artış hızı giderek azalmakta ve 30-35. günlerde maksimum değerlere ulaşmaktadır. 35. günde marul atıkları için zamana bağlı kümülatif özgül metan üretim değeri; en yüksek 3. örnekte ($0.30 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$), en düşük 2. örnekte ($0.27 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$) oluşmakta ve üç örneğin ortalama değeri ise $0.29 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olmaktadır (Şekil 4.3).



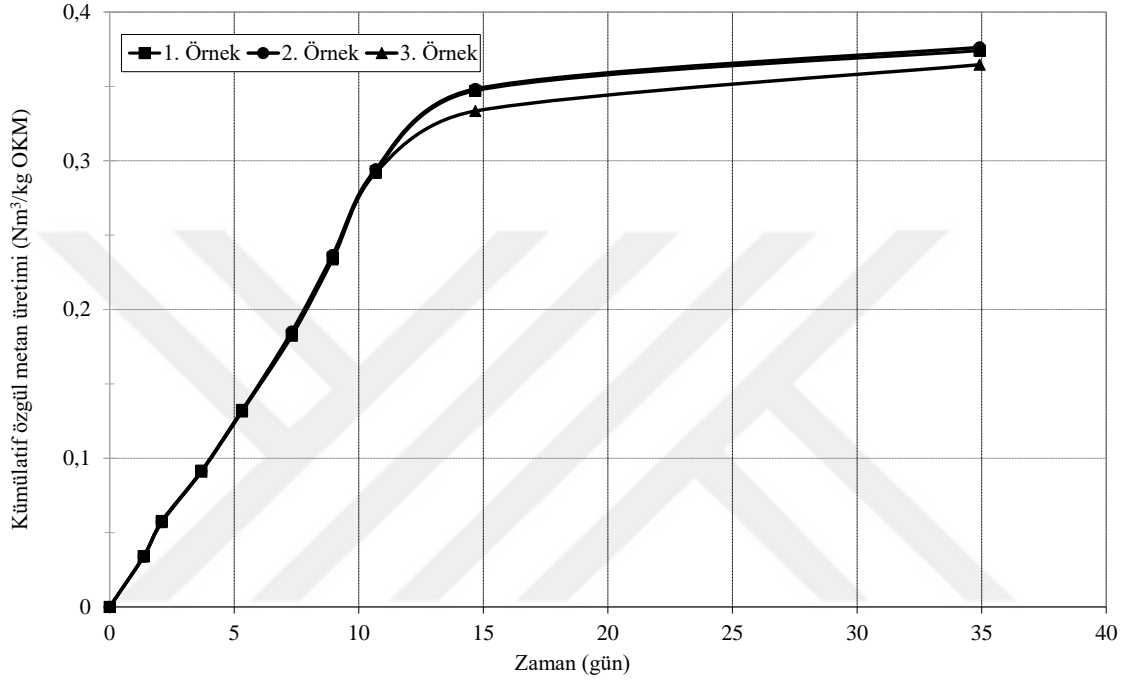
Şekil 4.3. 1 mm boyutunda marul atıklarının kümülatif özgül metan üretimi

Biber atıklarından oluşabilecek kümülatif özgül metan üretimi, her üç örnek için 1. günde başlamakta ve 15. güne kadar giderek artmakta, 17-35. günler arasında artış hızı giderek azalmakta ve 35. günde maksimum değerlere ulaşmaktadır. Biber atıkları için zamana bağlı kümülatif özgül metan üretim değerlerinin; ölçülen her üç örnek için önemli bir fark olmadığı ve ortalama değer ise $0.34 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.4).



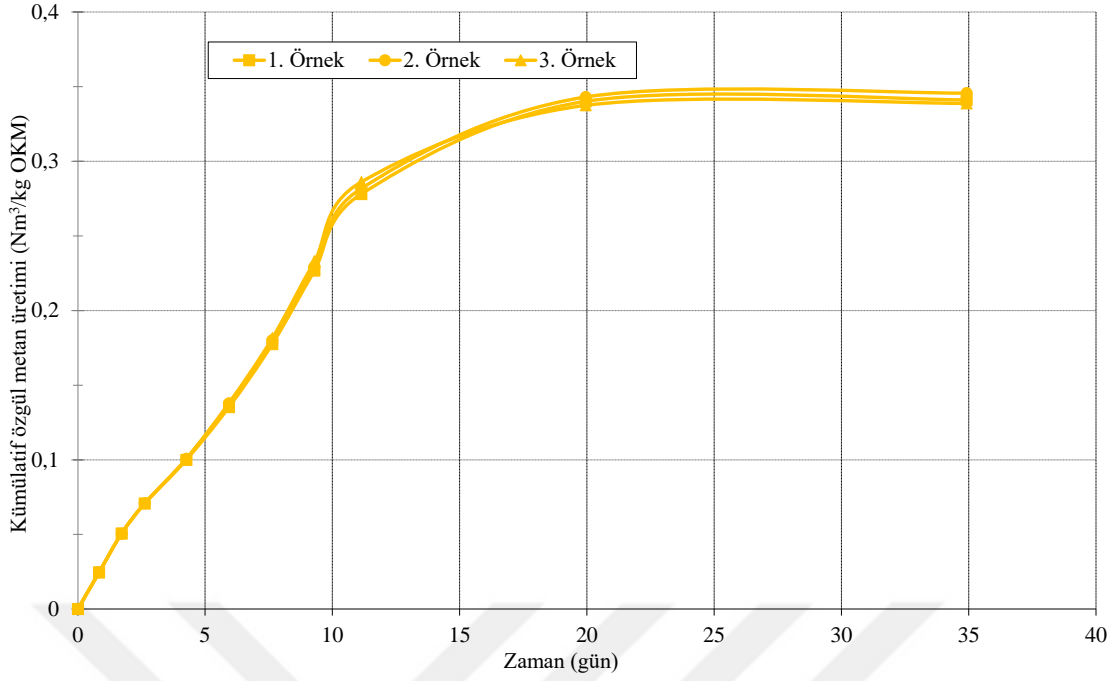
Şekil 4.4. 1 mm boyutunda biber atıklarının kümülatif özgül metan üretimi

Zamana bağılı olarak, domates atıklarından oluşabilecek kümülatif özgül metan üretimi, her üç örnek için 1-15 günleri arasında giderek artmakta, 15-35 günleri arasında artış hızı azalmakta ve 35. günde maksimum değerlere ulaşmaktadır. 15-35 günlerinde metan üretimi, en fazla 2. örnekte ($0.38 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$), en az ise 3. örnekte ($0.36 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$) gerçekleşmektedir. 35. günde her üç örneğin de ortalama kümülatif özgül metan üretim değerleri $0.37 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olmaktadır (Şekil 4.5).



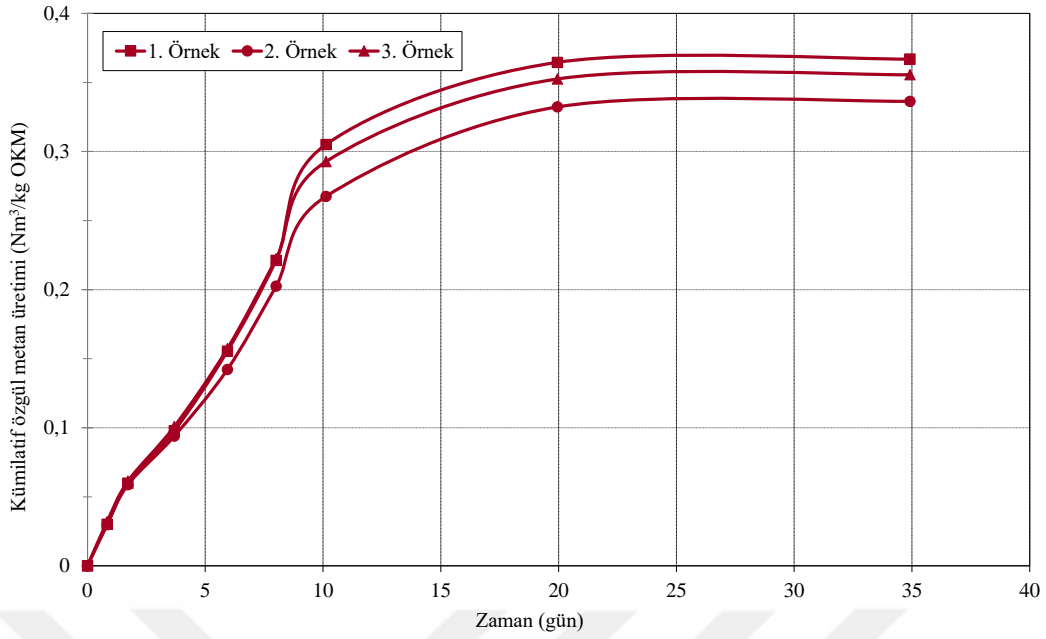
Şekil 4.5. 1 mm boyutunda domates atıklarının kümülatif özgül metan üretimi

Soğan atıklarından oluşabilecek kümülatif özgül metan üretim değerleri, her üç örnek için birbirine çok yakın olmaktadır. Metan değerlerinde, 1-10 günleri arasında hızlı bir artış olmakta, 10-25 günleri arasında artış hızı giderek azalmakta, 25-35 günleri arasında değişmemekte ve maksimum değerlere ulaşmaktadır. Soğan atıkları için zamana bağılı kümülatif özgül metan üretim değerleri $0.34 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.6).



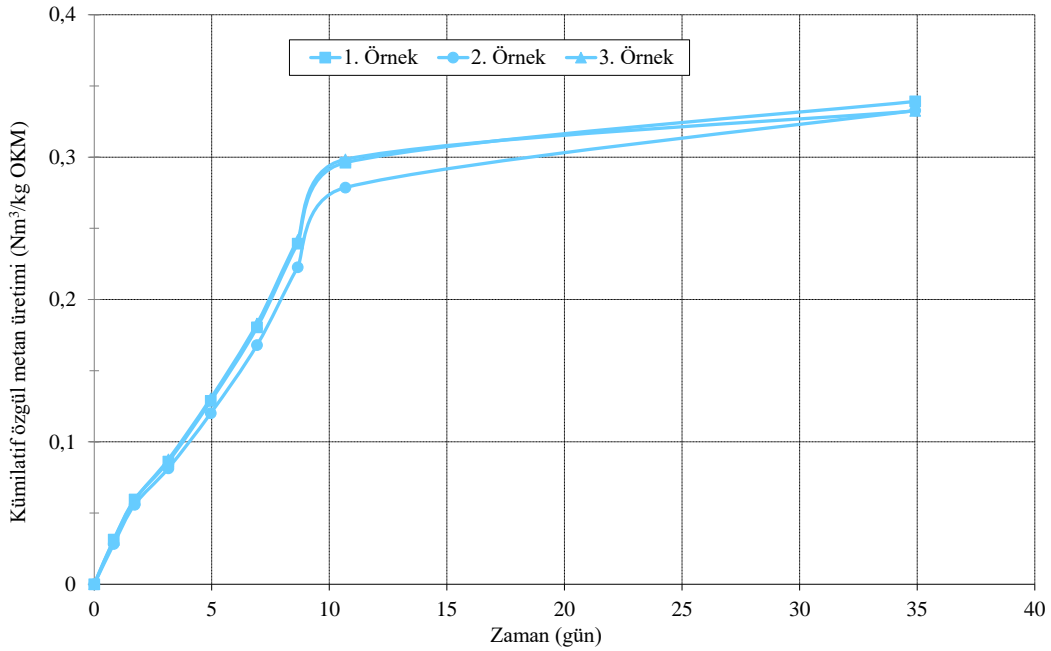
Şekil 4.6. 1 mm boyutunda soğan atıklarının kümülatif özgül metan üretimi

Zamana bağlı olarak, şeftali atıklarından oluşabilecek kümülatif özgül metan üretimi, her üç örnek için 1-10 günleri arasında giderek hızlı bir artış olmakta, 10-20 günler arasında artış hızı giderek azalmakta ve 20. günde maksimum değerlere ulaşmakta, 20-35 günleri arasında ise değerler değişmemektedir. 20. günde şeftali atıkları için zamana bağlı kümülatif özgül metan üretim değeri; en yüksek 1. örnekte ($0.37 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$), en düşük 2. örnekte ($0.34 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$) oluşmakta ve üç örneğin ortalama değeri ise $0.35 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olmaktadır (Şekil 4.7).



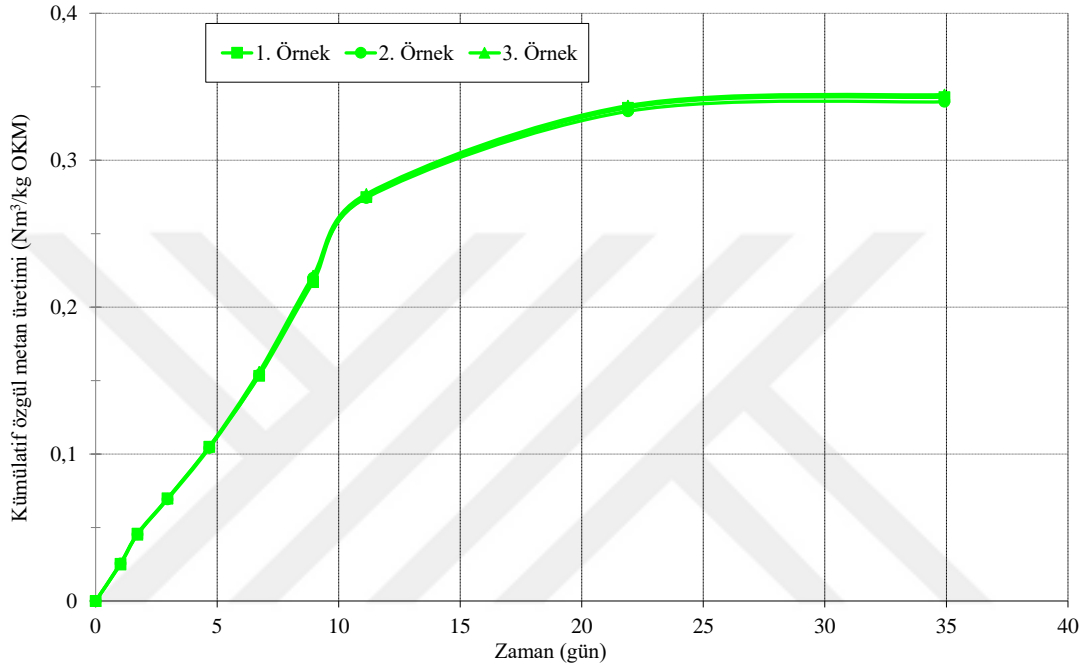
Şekil 4.7. 1 mm boyutunda şeftali atıklarının kümülatif metan üretimi

Elma atıklarından oluşabilecek kümülatif özgül metan üretimi, her üç örnek için 1-10 günleri arasında giderek hızlı bir artış olmakta, 10-35 günler arasında artış hızı giderek azalmakta ve 35. günde maksimum değerlere ulaşmaktadır. Örneklerin 35. günde ortalama kümülatif özgül metan üretim değeri $0.34 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olmaktadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. 1 mm boyutunda elma atıklarının kümülatif metan üretimi

1 mm boyutunda öğütülmüş olan karışık sebze ve meyve atıklarından oluşan kümülatif metan üretim değerleri, her üç örnek için birbirine yakın olmaktadır. Metan üretim değerlerinde, 1-10 günleri arasında giderek hızlı bir artış olmakta, 10-25 günleri arasında artış hızı giderek azalmakta, 25-35 günleri arasında sabit kalmakta ve maksimum değerlere ulaşmaktadır. Standart boyuttaki (1 mm) karışık sebze ve meyve atıklarının ortalama kümülatif özgül metan üretim değerleri $0.34 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olmaktadır (Şekil 4.9).

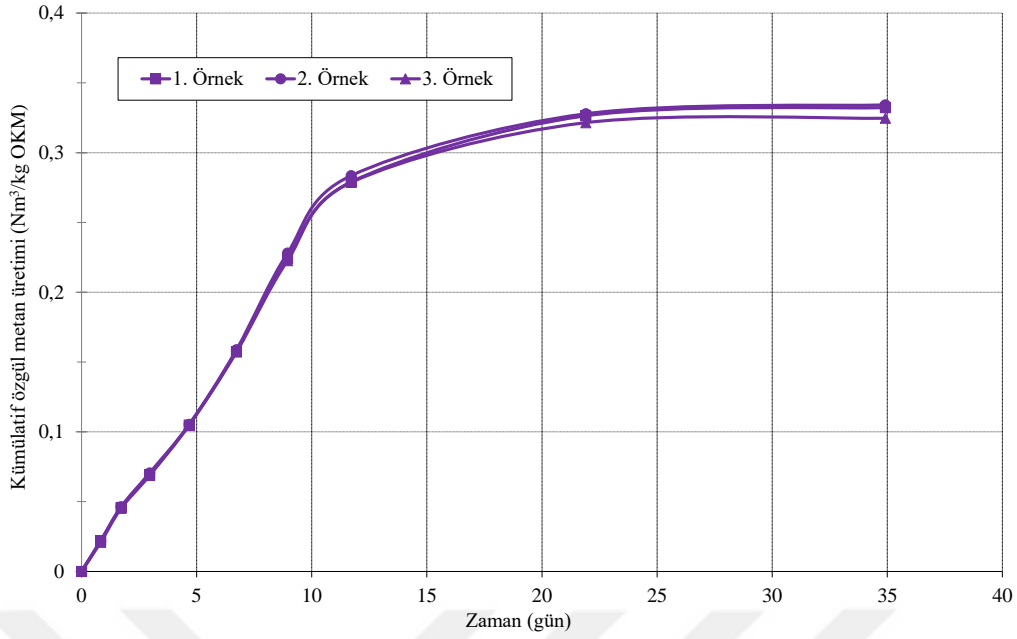


Şekil 4.9. 1 mm boyutunda karışık sebze ve meyve atıklarının kümülatif özgül metan üretimi

3 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarının metan verimleri:

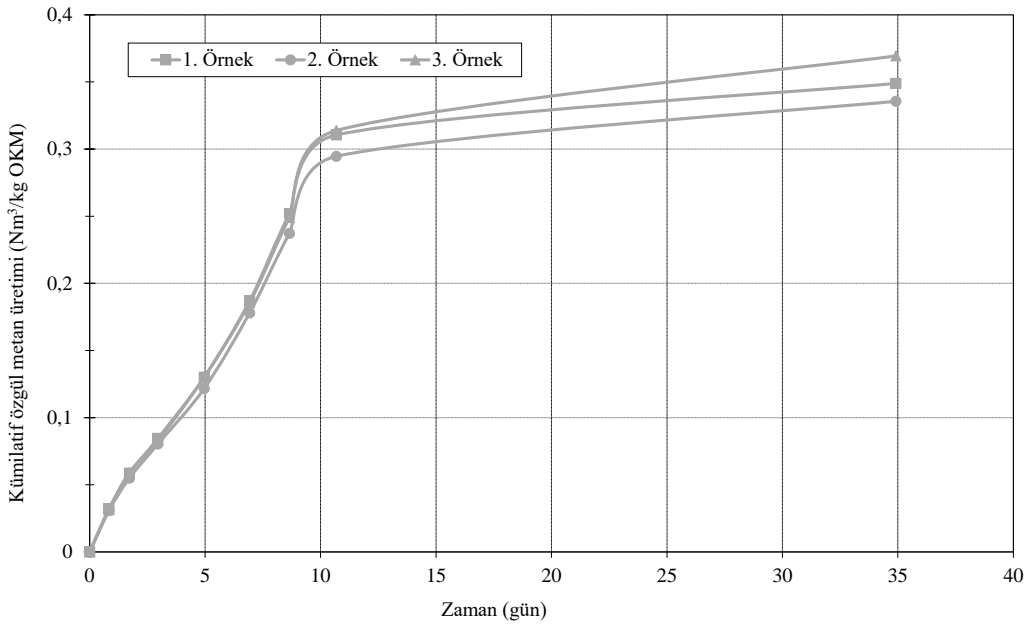
3 mm boyutunda sebze-meyve atıkları olarak, karışık sebze-meyveler, şeftali ve elma ele alınmıştır.

Araştırmada, farklı boyuttaki materyalin standart boyuttakilere (1 mm) göre oluşan metan değerlerini karşılaştırmak amacıyla 3 mm boyutunda materyaller kullanılmıştır. 3 mm boyutunda karışık sebze ve meyve atıklarında oluşabilecek kümülatif metan üretim değerleri; her üç örnek için birbirine yakın olmaktadır. Metan üretim değerlerinde, 1-12 günleri arasında giderek hızlı bir artış olmakta, 12-22 günleri arasında artış hızı giderek azalmakta, 22-35 günleri arasında sabit kalmakta ve maksimum değerlere ulaşmaktadır. 3 mm boyutundaki karışık sebze ve meyve atıklarının ortalama kümülatif özgül metan üretim değerleri $0.33 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olmaktadır (Şekil 4.10).



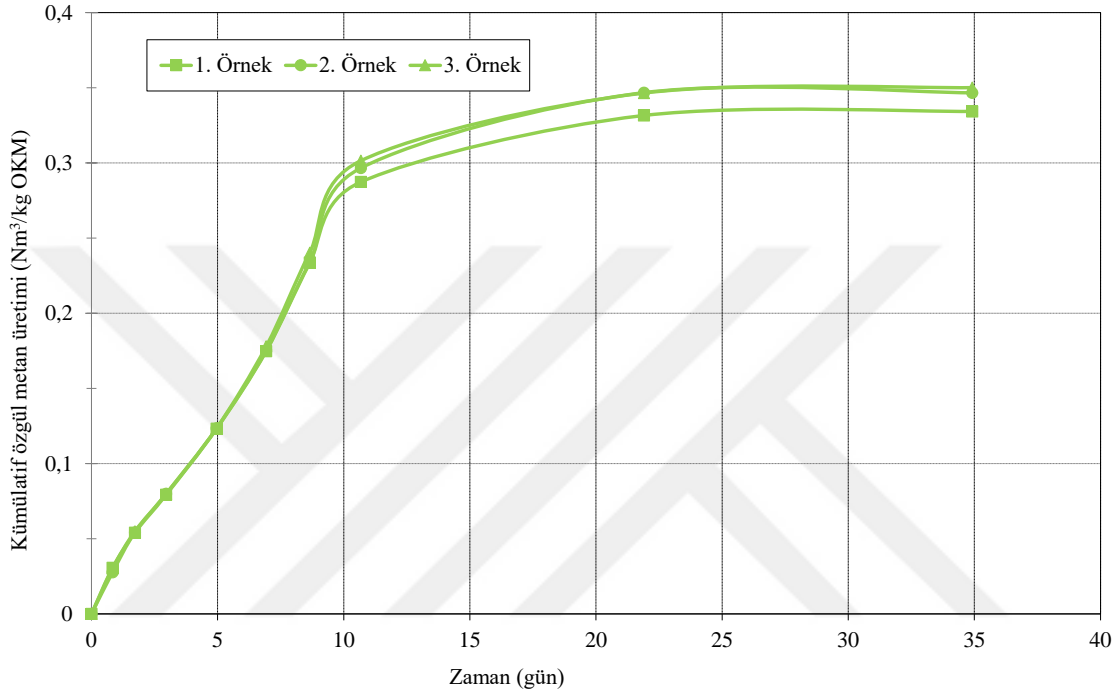
Şekil 4.10. 3 mm boyutunda karışık sebze-meyve atıklarının kümülatif metan üretimi

3 mm boyutunda şeftali atıklarından oluşabilecek kümülatif özgül metan üretimi, her üç örnek için 1-11 günleri arasında giderek hızlı bir artış olmakta, 11-35 günler arasında artış hızı giderek azalmakta ve 35. günde maksimum değerlere ulaşmaktadır. 35. günde şeftali atıkları için zamana bağlı kümülatif özgül metan üretim değeri; en yüksek 3. örnekte ($0.37 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$), en düşük 2. örnekte ($0.34 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$) oluşmakta ve üç örneğin ortalama değer ise $0.35 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olmaktadır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. 3 mm boyutunda şeftali atıkları kümülatif metan üretimi

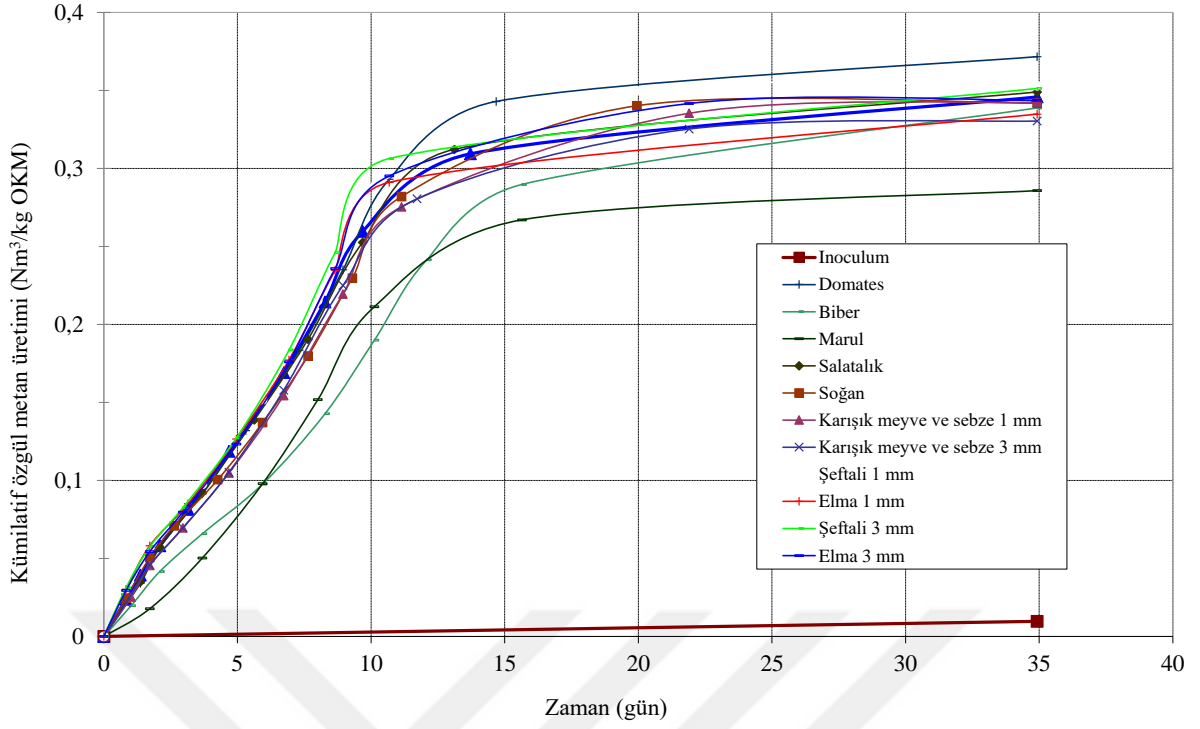
3 mm boyutunda öğütülmüş olan elma atıklarından oluşan kümülatif metan üretim değerleri, her üç örnek için birbirine yakın olmaktadır. Metan üretim değerlerinde, 1-10 günleri arasında giderek hızlı bir artış olmakta, 10-25 günleri arasında artış hızı giderek azalmakta, 25-35 günleri arasında sabit kalmakta ve maksimum değerlere ulaşmaktadır. Elma atıklarının ortalama kümülatif özgül metan üretim değerleri $0.34 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olmaktadır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. 3 mm boyutunda elma atıkları kümülatif metan üretimi

Ele alınan tüm sebze-meyve atıklarının metan verimleri:

İnoculum ve ele alınan tüm sebze-meyve atıklarının zamana bağlı olarak oluşan ortalama kümülatif metan üretimleri Şekil 4.13'te verilmiştir. Sebze-meyve atıklarının kümülatif metan üretimleri, her bir atık için ölçülen 3 örneğin ortalamasıdır. Ele alınan tüm sebze-meyve atıkları 35. günde maksimum metan üretimini gerçekleştirmektedirler. En yüksek kümülatif özgül metan üretim değeri, domates atıklarında ($0.37 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$) en düşük kümülatif özgül metan üretim değeri ise marul atıklarında ($0.34 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$) oluşmaktadır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Tüm atıkların ortalama kümülatif metan üretimi

4.4. Sebze-Meyve Atıklarının Metan İçerik Oranları ve Biyogaz Üretim Değerleri

Hohenheim Üniversitesi Biyogaz laboratuvarında yapılan bu deneysel çalışmada, ele alınan sebze-meyve atıklarının, 1 mm ve 3 mm boyutlarına göre oluşan biyogazın metan içerikleri ve biyogaz üretimleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Buna göre biyogazın metan içeriği en fazla 1 mm boyutundaki salatalık, marul, biber ve domates atıklarında oluşmaktadır (her birinin metan oranı %54). En düşük metan oranı (% 49) ise her iki boyut (1 mm ve 3 mm) için elma atıklarında oluşmaktadır. Karışık sebze-meyve atıklarından oluşan biyogazın metan oranları, 1 mm boyuttaki atıklar için % 53, 3 mm boyutundaki atıklar için % 52'dir (Çizelge 4.3).

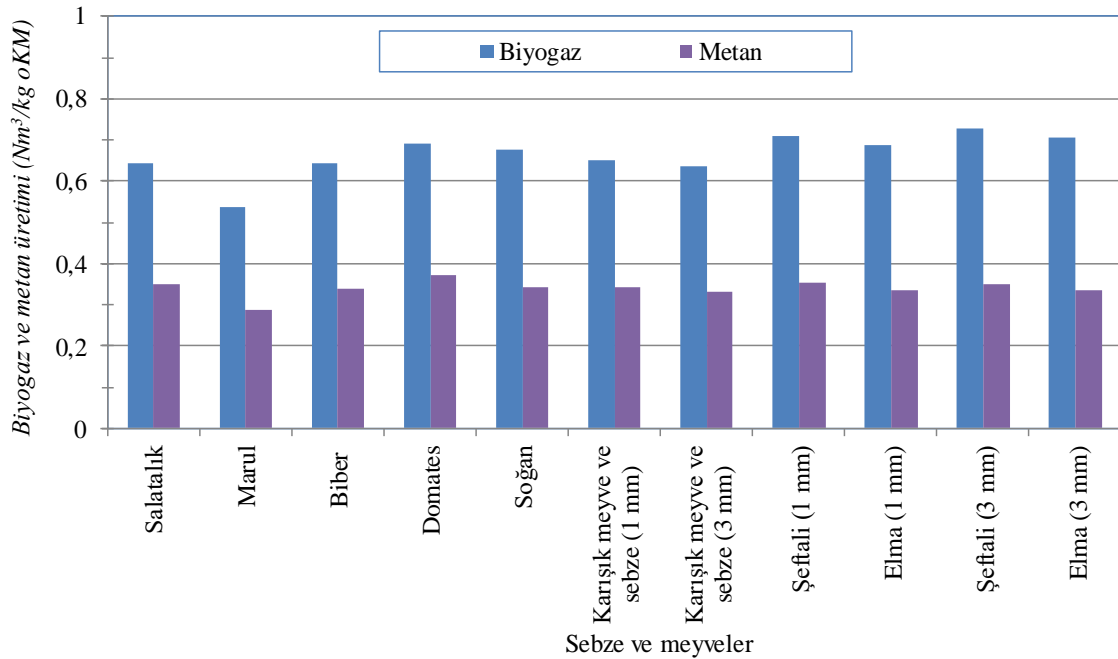
Ele alınan sebze-meyve atıklarından en yüksek biyogaz üretim değerleri, 3 mm boyutundaki şeftali atıklarından ($0.73 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$), en düşük biyogaz üretim değeri ise 1 mm boyutundaki marul atıklarından ($0.54 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$) elde edilmiştir. Karışık meyve-sebze atıklarının biyogaz üretim değerleri ise 1mm boyut için $0.65 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$, 3 mm boyut için $0.64 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olmaktadır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Sebze ve meyve atıklarının metan içeriği oranları ve biyogaz üretimleri

| Sebze-meyve atıkları | Boyut | Metan İçeriği (%) | Biyogaz Üretimi (Nm ³ /kg OKM) |
|------------------------|-------|-------------------|---|
| Salatalık | | 54 | 0.645 |
| Marul | | 54 | 0.536 |
| Biber | | 54 | 0.643 |
| Domates | 1 mm | 54 | 0.692 |
| Soğan | | 51 | 0.678 |
| Elma | | 49 | 0.686 |
| Şeftali | | 50 | 0.708 |
| Karışık sebze ve meyve | | 53 | 0.651 |
| Elma | 3 mm | 49 | 0.706 |
| Şeftali | | 48 | 0.726 |
| Karışık sebze ve meyve | | 52 | 0.637 |

Sebze-meyve atıklarının metan ve biyogaz üretimlerinin karşılaştırması

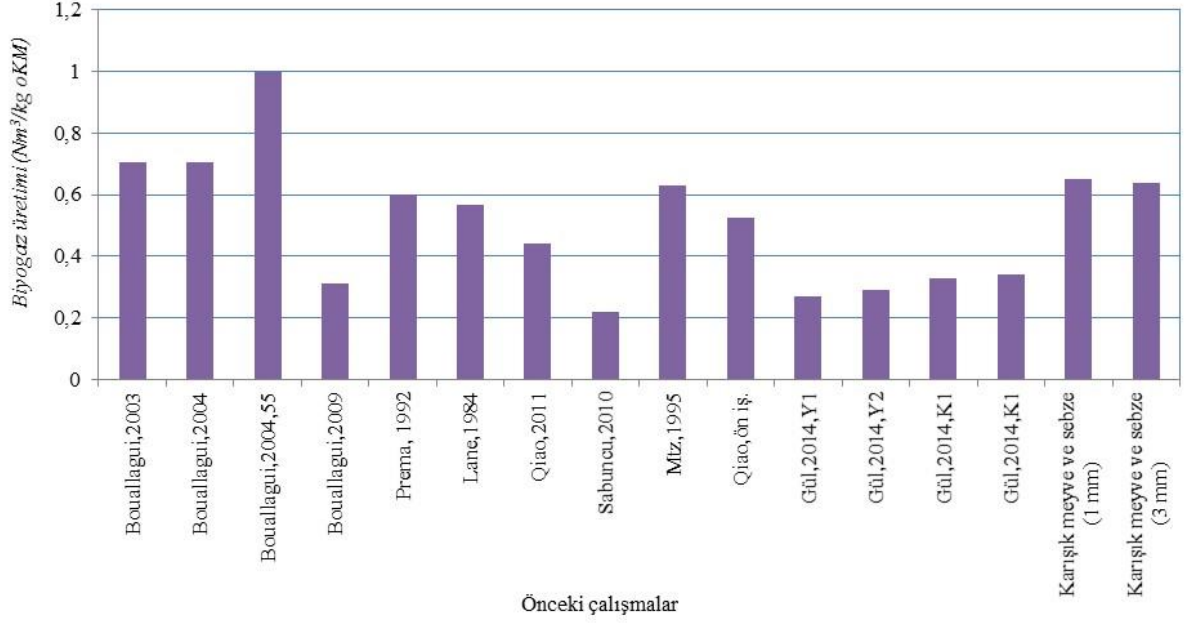
Artaştırmada ele alınan sebze-meyve atıklarının ortalama metan ve biyogaz üretimleri Şekil 4.14'de verimiştir. En yüksek biyogaz (0.692 Nm³/kg OKM) metan üretimi (0.37 Nm³/kg OKM) domates atıklarında olmakta bunu sırası ile şeftali, elma ve salatalık izlemektedir.



Şekil 4.14. Sebze-meyvelerin metan ve biyogaz üretimlerinin karşılaştırması

Sebze-meyve atıklarının biyogaz üretimlerinin literatürle karşılaştırması

Bu çalışmada ele alınan karışık sebze-meyve atıklarından üretilen biyogaz üretim değerleri ve aynı konuda başka araştırmacılar tarafından yapılan çalışmaların karşılaştırması Şekil 4.16'da verimiştir.



Şekil 4.15. Biyogaz üretimlerinin literatürle karşılaştırılması

Karışık sebze-meyve atıklarından anaerobik çürütme ile elde edilen biyogaz üretimleri; Bouallagui ve ark., (2003) tarafında, mezofilik koşullarda 0.707 m³/kg OKM, Bouallagui ve ark., (2004) tarafından, 35°C' koşullarında 0.705 m³/kg OKM, 55 °C'de 0.997 m³/kg OKM, Bouallagui ve ark., (2009) tarafından, mezofilik koşullarda 0.31 m³/kg OKM olarak belirlenmiştir. Sebze-meyve atıklarından anaerobik çürütme ile elde edilen diğer çalışmalarda elde edilen biyogaz üretimleri ise; Prema ve ark., (1992) tarafından, 0.5-0.6 m³/kg OKM, Lane (1984) tarafından, 0.429-0.568 m³/kg OKM, , Mtz-Viturtia ve ark., (1995) tarafından 0.2-0.63 m³/kg OKM, Sabuncu (2010) tarafından, 0.22 m³/kg OKM, Qiao (2011) tarafından 0.443 m³/kg OKM olarak belirlenmiştir (Şekil 4.16).

Gül (2014) tarafından yapılan çalışmada ise sebze-meyve atıklarının teorik biyogaz üretimleri 0.27-0.34 m³/kg OKM olarak belirlenmiştir (Şekil 4.16).

DeneySEL olarak (anaerobik çürütme ile) yapılan bu araştırmada, karışık sebze-meyve atıklarının biyogaz üretimleri; 1 mm boyutundaki materyaller için 0.651 Nm³/kg OKM, 3 mm boyutundaki materyaller için ise 0.637 Nm³/kg OKM olarak belirlenmiştir (Şekil 4.16).

Anaerobik çürütme ile; mısır silajından elde edilen biyogaz üretimi 0.655 Nm³/kg OKM (Hutnan ve ark., 2009), hayvan gübresinden elde edilen biyogaz üretimi ise 0.471 Nm³/kg OKM (Frauke ve ark., 2015) olarak belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada, meyve-sebze atıklarından elde edilen biyogaz üretimlerinin hayvan gübrelerinden elde edilen biyogaz üretimlerinden daha yüksek, mısır silajından elde edilen biyogaz üretimleri ile aynı olduğu

görülmektedir. Bu durum, meyve-sebze atıklarından elde edilebilecek biyogaz üretimlerinin önemli olduğunu göstermektedir.

Sebze-meyve atıklarının biyogaz üretimlerine ilişkin yapılan önceki çalışmalar ve bu araştırma sonuçları; mezofilik koşullarda en uygun biyogaz üretiminin oluştuğunu göstermektedir. Sebze ve meyve atıklarına uygulanacak olan ön işlem, sıcaklığın artırılması, sebze ve meyve atıklarına ilave edilebilecek çamur, gübre, vb. ek maddelerin biyogaz verimini daha da artırabileceğini göstermektedir. Ayrıca sebze ve meyve atıklarından metan ve biyogaz üretimine materyallerin boyutsal farklılıklarının, kimyasal yapının ve karışım oranının da etkili olduğu söylenebilir.

4.5. Sebze-Meyve Atıklarının Metan Ve Biyogaz Üretim Değerlerinin İstatiksel Olarak Karşılaştırılması

Araştırmada ele alınan 1 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarından, üç tekerrürlü olarak yürütülen denemelerden, elde edilen metan ve biyogaz üretimlerinin istatistiksel farkları Çizelge 4.4’de, varyans analizleri ise Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. 1 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarının metan ve biyogaz üretimleri

| Boyut | Atıklar | Metan Üretimi ** Nm ³ /kg OKM | Biyogaz Üretimi ** Nm ³ /kg OKM |
|-------|---------------------|---|---|
| 1 mm | Elma | 0.335 c | 0.687 ab |
| | Şeftali | 0.353 b | 0.708 a |
| | Karışık sebze-meyve | 0.342 bc | 0.650 c |
| | Salatalık | 0.349 bc | 0.645 c |
| | Marul | 0.286 d | 0.36 d |
| | Biber | 0.339 bc | 0.644 c |
| | Domates | 0.372 a | 0.692 ab |
| | Soğan | 0.342 bc | 0.679 b |

*P<0.05 **P<0.01

Çizelge 4.5. 1 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarının metan üretimlerinin varyans analiz tablosu

| Ürünler | Varyasyon kaynağı | SD | KT | KO | F değeri | Olasılık |
|---------|-------------------|----|--------|----------|----------|----------|
| Metan | Atıklar | 7 | 0.013 | 0.002 | 26.440 | 0.000** |
| | Hata | 16 | 0.001 | 0.000068 | | |
| | Genel | 24 | 2.784 | | | |
| Biyogaz | Atıklar | 7 | 0.06 | 0.009 | 48.588 | 0.000** |
| | Hata | 16 | 0.003 | 0.000 | | |
| | Genel | 24 | 10.361 | | | |

*P<0.005 **P<0.01

Ele alınan 1 mm boyutundaki sebze-meyve atıklardan, elde edilen metan üretimi, en yüksek domates atıklarında, en düşük ise marul atıklarından elde edilmiştir. Atık

materyallerden elde edilen biyogaz üretimi, en yüksek şeftali atıklarında en düşük ise marul atıklarından elde edilmiştir (Çizelge 4.4). Yapılan istatistiksel karşılaştırma sonucunda 1 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarının metan ve biyogaz üretim değerleri önemli ($P<0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.5).

Ele alınan 3 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarından, üç tekerrürlü olarak yürütülen denemelerden, elde edilen metan ve biyogaz üretimlerinin istatistiksel farkları Çizelge 4.6’da, varyans analizleri ise Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. 3 mm boyutundaki sebze- meyve atıklarının metan ve biyogaz üretimleri

| Boyut | Atıklar | Metan Üretimi ^{öd} Nm ³ /kg OKM | Biyogaz Üretimi ** Nm ³ /kg OKM |
|-------|---------------------|--|---|
| 3 mm | Elma | 0.344 | 0.687 a |
| | Şeftali | 0.353 | 0.708 a |
| | Karışık sebze-meyve | 0.330 | 0.638 b |

* $P<0.005$, ** $P<0.01$

Çizelge 4.7. 3 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarının metan ve biyogaz üretimlerinin varyans analiz tablosu

| Ürünler | Varyasyon kaynağı | SD | KT | KO | F değeri | Olasılık |
|---------|-------------------|----|-------|-------|----------|---------------------|
| Metan | Atıklar | 2 | 0.001 | 0.000 | 3.419 | 0.102 ^{öd} |
| | Hata | 6 | 0.001 | 0.000 | | |
| | Genel | 9 | 1.056 | | | |
| Biyogaz | Atıklar | 2 | 0.008 | 0.004 | 12.938 | 0.007** |
| | Hata | 6 | 0.002 | 0.000 | | |
| | Genel | 9 | 4.140 | | | |

öd: önemli değil, * $P<0.005$, ** $P<0.01$

3 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarından, üç tekerrürlü olarak yürütülen denemeden elde edilen biyogaz üretimi, en yüksek karışık meyve-sebze atıklarında, en düşük ise elme atıklarında oluşmuştur (Çizelge 4.6). Yapılan istatistiksel karşılaştırma sonucunda 3 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarının biyogaz üretim değerleri $P<0.01$ ’e göre önemli iken metan üretim değerleri önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.7).

Yapılan istatistiksel karşılaştırma sonucunda, 1 mm ve 3 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarının boyutsal olarak metan ve biyogaz üretim değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık gözlenmemektedir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. 1 mm ve 3 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarının boyutsal olarak metan ve biyogaz üretimlerinin varyans analiz tablosu

| Metan/Biyogaz | Varyasyon kaynağı | SD | KT | KO | F değeri | Olasılık |
|---------------|-------------------|----|----------|----------|----------|----------|
| Metan | Ürünler | 1 | 0.000055 | 0.00005 | 0.050 | 0.827 |
| | Hata | 14 | 0.002 | 0.000 | | |
| | Genel | 18 | 2.119 | | | |
| Biyogaz | Ürünler | 1 | 0.000084 | 0.000085 | 0.327 | 0.576 |
| | Hata | 14 | 0.004 | 0.000 | | |
| | Genel | 18 | | | | |

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sebze ve meyve atıklarının biyogaz üretim potansiyelinin deneysel olarak belirlenmesine yönelik yapılan bu araştırmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1 mm boyutundaki numunelerde; kuru madde oranı en yüksek marul atıklarında (%90), en düşük ise elma atıklarında (% 81.1), organik kuru madde oranları ise en yüksek elma atıklarında (% 96), en düşük ise marul atıklarında (% 70) ölçülmüştür.
- 3 mm boyutundaki numunelerde; kuru madde oranı en yüksek karışık sebze ve meyve atıklarında (% 85), en düşük ise elma atıklarında (% 81), organik kuru madde oranları ise en yüksek elma atıklarında (% 96), en düşük ise karışık sebze ve meyve atıklarında (% 87) ölçülmüştür.
- Ele alınan tüm sebze-meyve atıklarının kümülatif metan üretimlerinde; 1-15. günlerde doğrusal olarak giderek hızlı bir artış olmakta, 15-35 günleri arasında artış hızı giderek azalmakta ve 35. günde maksimum değerlere ulaşmaktadır.
- En yüksek kümülatif özgül metan üretim değeri, domates atıklarında (0.37 Nm³/kg OKM) en düşük kümülatif özgül metan üretim değeri ise marul atıklarında (0.34 Nm³/kg OKM) oluşmuştur.
- 1 mm boyutundaki atıkların metan oranları %50-54 arasında, 3 mm boyutundaki atıkların metan oranları ise %48-52 arasında bulunmuştur.
- 1 mm boyutundaki atıkların kümülatif özgül biyogaz üretimleri 0.536-0.726 Nm³/kg OKM, 3 mm boyutundaki atıkların kümülatif özgül biyogaz üretimleri ise 0.637-0.726 Nm³/kg OKM arasında bulunmuş ve bu değerler yapılan çalışmalar arasında önemli bir yer tutmaktadır.
- Yapılan istatistiksel karşılaştırma sonucunda, 1 mm ve 3 mm boyutundaki sebze-meyve atıklarının boyutsal olarak metan ve biyogaz üretim değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık gözlenmemiştir.
- HBT (Hohenheim Batch Testing) yöntemi, organik maddelerin metan ve biyogaz potansiyelini belirlemek için yararlı ve pratik bir yöntemdir.

Elde edilen bulgular ve değerlendirmeler sonucunda konuya ilişkin aşağıdaki öneriler sıralanabilir:

- Sebze ve meyve atıklarının biyogaz üretim potansiyelleri yüksek düzeyde bulunmaktadır. Bu nedenle biyogaz tesisleri için önemli materyaller olduğu söylenebilir.
- Sebze ve meyve atıklarının yüksek düzeyde olduğu ülkemizde biyogaz tesislerin kurulması ile önemli miktarda enerji kazanımı söz konusu olabilecektir.
- Söz konusu atıkların biyogaz amaçlı kullanılması durumunda ortaya çıkacak yeni atıkların tarımda organik gübre amaçlı kullanımını sağlayabilir.
- Atıklardan kontrolsüz koşullarda depolanması nedeni ile atmosfere salınacak olan sera gazları (metan ve karbondioksit) biyogaz prosesinin uygulamaya girmesiyle önlenmiş olacaktır.
- Atıkların bertaraf edilmesi sonucunda havadaki koku yoğunluğu azalacak ve çevresel sorun da azaltılabilecektir.
- Türkiye’de organik madde atıkları potansiyelinin bulunması nedeniyle bu atıklardan elde edilebilecek enerjinin kullanım oranlarını belirlemek ve çevresel etkileri konusunda yapılacak çalışmalar veri tabanını güçlendirecektir.
- Gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan fakat ülkemizde henüz çok kullanılmayan havasız çürütme prosesinin sebze ve meyve atıklarının değerlendirilmesinde kullanılabilir.
- Organik atıklar biyogaz tesislerinde işlenerek ulusal kaynaklı ve çevre dostu enerji üretilebilir.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., 2003. Alternatif Enerji Kaynakları. Atlas yayın dağıtım, Temmuz,İstanbul.
- Acaroglu, M., 2007. Renewable Energy Sources (Turkish). 2nd ed. Nobel Yayınevi, ISBN 978-605-395-047-9, 609, Ankara.
- Akova, İ., 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Nobel Yayın No: 1294, 224s, Ankara.
- Anonim, 1983. Türkiye Çevre Sorunları Vakfı. Türkiye'nin Çevre Sorunları. Ankara, Ağustos.
- Anonim, 2006. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Türkiye Çevre Vakfı, Yayın No: 175, 368s, Ankara.
- Anonim, 2012. Technical Documentation. Vorwerk Thermomix Tm 31. User Manuel. Mixer, Vorwerk International Strecker & Co., Switzerland.
- Anonim, 2014. Biyogaz Teknik Gezi Raporu. Kuzey Doğu Kalkınma Ajansı, 12-15 Ağustos.
- AOAC.,1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.US.
- Appels, A., Lauwers, J., Degreve, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K.,Impe, V. J., Dewil, R., 2011. Anaerobic Digestion İn Global Bio-Energy Production: Potential And Research Chllenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(9):4295-4301.
- Ardıç, İ., Taner, F., 2013. Biyokütleden Biyogaz Üretimi. Anaerobik Arıtımın Temelleri <http://www.biyogazder.org.tr/makaleler/mak11.pdf> (Eriřim:20.01.2016).
- Arkutman, F., 2003. "Atıksu Arıtımı ve Arıtma Teknikleri", Bilim ve Teknik, 428:42- 52.
- Avcıoğlu, A., 2011. Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler- Biyoyakıtlar. Nobel Yayınları, Yayın no: 4, 492s, Ankara.
- Bayrakçeken, H., 2007. Biyogaz Üretim Sistemi Tasarımı ve Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Berlian, S., Sukandar, B., Sena, D., 2013. Biogas Recovery from Anaerobic Digestion Process of Mixed Fruit-Vegetable Wastes. Energy procedia, 32:176-182.
- Bouallagui, H., Ben Cheikh, R., Marouani, L., Hamdi, M., 2003. Mesophilic Biogas Production From Fruit And Vegetable Waste İn Tubular Digester, Bioresour. Technol., 86, 85-90.
- Bouallagui, H., Torrijos, M., Godon, J. J., Moletta, R., Ben Cheikh, R., Touhami, Y., Delgenes, J. P., Hamdi, M., 2004. Microbial Monitoring By Molecular Tools Of A Two-Phase Anaerobic Bioreactor Treating Fruit And Vegetable Wastes, Biotechnology Letters, 26(10):857-862.

- Bouallagui, H., Lahdheb, H., Romdan, E. B., Rachdi, B., Hamdi, M., 2009. Improvement Of Fruit And Vegetable Waste Anaerobic Digestion Performance And Stability With Co-Substrates Addition. *Journal of Environmental Management*, 90(5): 1844-1849.
- Deniz, Y., 1987. Türkiye’de Biyogaz Potansiyeli ve Biyogazın Sağlayacağı Yararlar. T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, 38-40, Ankara.
- Deublein, D., Steinhauser, A., 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resources*, p.1-450.
- Doğan, B., 2008. İzmir İli Bornova İlçesi Marketleri Sebze -Meyve Atıklarının Hayvan Yemi Olarak Potansiyeli. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, 1 -43.
- Dönmez, S., 1981. Biyogaz reaktörlerinin mikrobiyolojisi. Uluslararası Biyogaz Semineri, 191-201.
- Dudley, D.J., Guentzel, M.N., Ibarra, M.J., Moore, B.E., Sagik, B.P., 1980. Enumeration of Potentially Pathogenic Bacteria from Sewage Sludges. *Appl. Environ. Microbiology* 39 (1), 118–126.
- El-Mashad, M. H., Zhang, R., 2010. Biogas Production From Co -Digestion Of Dairy Manure And Food Waste. *Bioresource Technology* ,101,4021-4028.
- Ekinci, M.S., 2007. “Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretimi için En Uygun Koşulların Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 38-48, Ankara.
- Environmental Protection Agency., 2002. *Managing Manure with Biogas Recovery Systems Improved Performance at Competitive Costs United States*.
- Erdin, E. 13-15 Nisan 1994. Kırsal Alanlarda Oluşan Organik Atıklar ve Bunlardan Biyogaz Üretimi. Enerji ve Çevre Sempozyumu Mersin Üniversitesi.
- Eryaşar, A., 2007 .Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi Ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, 7,33, İzmir.
- Fanchi, J. R., 2011. *Energy in the 21st Century*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5 Toh Tuck Link, Singapore 596224.
- Gökçay, C., Demirer, G. N., Ergüder, T.H., Uzal, N.V., Tezel, U., 2002. Anaerobik arıtım teorik altyapı ve uygulamalar eğitim semineri notları, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 1-9, Ankara.

- Gül, A., 2014. Sebze ve Meyve Atıklarının Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı.
- Hagenkamp, F., Ohl, S., Hartung, E., 2015. Effects on the Biogas and Methane Production of Cattle Manure Treatment with Urease Inhibitor. *Journal of Biomass and Bioenergy* 75, 75-82.
- Heffrich, D., and Oechsner, H., 2003. Comparison of Different Laboratory Techniques for the Digestion of Biomass, *Landtechnik*, 9, 27-30.
- Hutnan, M., Spalkova V., Bodik I., Kolesarova N., Lazor M., 2009. Biogas Production from Maize and Maize Silage. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19, 323-329.
- Isci, A., Demirel G., 2007. Biogas Production Potential from Cotton Wastes. *Journal of Renewable Energy*, 32 (2007), 750-757.
- Kapluhan, E., 2014. Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (30):97-25.
- Karataş, A., 2006. "Tavuk Gübresinin Anaerobik Parçalanması İçin Uygun Koşulların Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1,32-34.
- Kobyay, M., 1992. Sığır Gübresinden Biyogaz Üretimi Ve Erzurum Koşulları İçin Bir Biyogaz Tesis Tasarımı, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Koçar, G., Eryaşar, A., Ersöz, Ö., Durmuş, A., 2010. Biyogaz Teknolojileri, Ege Üniversitesi Basımevi, 39,66,115-131,75.
- Korkmaz, Y., Aykanat, S., Çil, A., 2012. Organik Atıklardan Biyogaz Ve Enerji Üretimi. *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi*, 1-9.
- Lane, A., 1984. Laboratory Scale Anaerobic Digestion of Fruit and Vegetable Solid Waste. *Biomass*, 5:245-59.
- Larsen, H.E., 1995 . Bakteriologiske Risici ved Anvendelse af Husdyrgeodning og Affald. *Rev. DanskVet. Tidsskrift*. 78 (15), 763–766 (in Danish, with English summary).
- Lin, J., Zuo, J., Gan, L., Li, P., Liu, F., Wang, K., Chen, L., Gan, H., 2011. Effects Of Mixture Ratio On Anaerobic Co-Digestion With Fruit And Vegetable Waste And Food Waste Of China. *Journal of Environmental Sciences*, 23(8):1403-1408.
- McKendry, P., 2002. Energy Production From Biomass (Part 1): Overview Of Biomass, *Bioresource Technology*, 83,37–46.

- Mittweg, G., Oechsner, H., Hahn, V., Lemmer, A., Hanisch, A., 2012. Repeatability of a Laboratory Batch Method to Determine The Specific Biogas and Methane Yields. *Journal of Engineering Life Science*, 3,270-278.
- Mtz.-Vituria A., Mata-Alvarez J. and Cecchi F. 1995. Two-phase Continuous Anaerobic Digestion of Fruit and Vegetable Wastes, *Resources. Conservation and Recycling*, 13, 257-267.
- Mujtaba, A., 2010. Calculating the Production of Bio-gas Through Vegetables and Fruits during Anaerobic Digestion at Ambient Temperature and Analysis of the Samples for the Production of Fertilizer. Department of Earth & Environmental Sciences, Bahria University, Islamabad.
- Onursal, E., Ekinci, K., Oechsner, H., 2011. Biogas Production of Rose Oil Processing Wastes and Quail Manure in Turkey: Assessment by Hohenheim Batch Test. Suleyman Demirel University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery, Isparta-Turkey.
- Öztuncay, M. K., 2009. Türkiye’de Biyogaz Enerjisinin Kullanılabilirliği ve Ekonomikliği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programı, 62.
- Öztürk, H. H., 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı. Teknik Yayınevi, 367s, Ankara.
- Qiao, W., Yan, X., Ye, J., Sun, Y., Wang, W., Zhang, Z., 2011. Evaluation Of Biogas Production From Different Biomass Wastes With/Without Hydrothermal Pretreatment, *Renewable Energy*, 36, 3313-3318.
- Patil, V., Deshmukh, H., 2015. Anaerobic digestion of Vegetable waste for Biogas generation: A Review. *International Research Journal of Environment Sciences*. Vol. 4(6), 80-83, June (2015).
- Pedendeci, A., Çığgım, A., Karışlı, H., 2014. Çukurova Bölgesinde Oluşan Tarımsal ve Hayvansal Atıklardan Biyogaz Yoluyla Enerji Üretimi. Endüstriyel Simbiyoz Konferansı, 19-20 Şubat, Ankara.
- Prema, V., Sumithra, S., Krishna, N., 1992. Anaerobic of Fruit and Vegetable Processing Wastes for Biogas Production. *Bioresource Technology*, 40:43-8.
- Sabuncu, Ö. C., 2010. Biyogaz Üretiminin Teknik, Ekonomik Ve Çevresel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.

- Sayın, U., Erdoğan, D., 2011. Atık Yönetiminde Biyometanizasyon Teknolojisi, Çevre Ve Orman Bakanlığı Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı -ICCI, İstanbul.
- Sadi, M., 2010. Design and Building of Biogas Digester for Organic Materials Gained From Solid waste, Master of Degree, Clean Energy and Conservation Strategy Engineering, Faculty of Graduate Studies, AnNajah National University,49.
- Sözer, S., Yıldız, O., 2012. Methane Production from Tomates Wastes via Co-Fermentation. International Conference of Agricultural Engineering, Valencia-Spain.
- Turkenburg, W.C., 2000. World Energy Assessment: Energy And The Challenge of Sustainability. Renewable Energy Technologies-Chapter 7.
- Ulusoy, Y., Ulukardeşler, H., Ünal H., Alibaş K., 2009. Analysis of biogas production in Turkey utilising three different materials and two scenarios. Uludağ University, Vocational School of Technical Sciences, Agricultural Machinery Program, Turkey.
- Üçgül, İ., Akgül, G., 2010. Biyokütle Teknolojisi.Yekarum Dergi, 1(1):3-11.
- Üçok, S., Aybek, A., Güzel M., Yılmaz S.E., 2016. Kırmızı Biberin İşlenmesi Aşamasında Oluşan Atıkların Biyogaz Üretim Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. International Conference on Natural Science and Engineering March 19-20, 2016, Kilis.
- VDI-Richtlinie, 4630 "Vergarung organischer Stoffe". VDI- Gesellschaft Energietechnik, Dusseldorf, 2006, ICS 13.030.30; 27.190, p. 59.
- VDI 4630, 2006. Fermentation of organic material, Characterisation of Substrate, Collection of Material Data, Fermentation Tests, VDI Gesellschaft Energietechnik.
- Yorgun, S., Şensöz, S., Şölener, M., 1998. Biyokütle Enerji Potansiyeli ve Değerlendirme Çalışmaları. Enerji Dergisi, 44-47.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Serdar ÜÇOK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Çorum 21.06.1989
Medeni Hali : Bekar
e-posta : sucok@ksu.edu.tr

Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi | Mezuniyet Yılı |
|---------------|--|-----------------------|
| Yüksek Lisans | KSU/ Fen Bil. Ens. Biyosistem Mühendisliği ABD | 2016 |
| Lisans | Çukurova Üniversitesi / Matematik Bölümü | 2012 |
| Lise | Çorum Atatürk Lisesi | 2007 |

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Aybek, A., Üçok, S., İspir, M. A., Bilgili, M. E., 2015. Türkiye’de Kullanılabilir Hayvansal Gübre ve Tahıl Sap Atıklarının Biyogaz ve Enerji Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritalarının Oluşturulması. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 12 (03): 109-120
- Aybek, A., Üçok, S., Bilgili, M. E., İspir, M. A., 2015. Kahramanmaraş İlinde Bazı Tarımsal Atıkların Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritalarının Oluşturulması. Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 29(02): 25-37
- Üçok, S., Aybek, A., Güzel M., Yılmaz S.E., 2016. Kırmızı Biberin İşlenmesi Aşamasında Oluşan Atıkların Biyogaz Üretim Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE’16), March 19-20, 2016, Kilis.

Hobiler: Futbol, fitness, tenis