T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEŞİTLİ BOZUNMUŞ GIDA ÜRÜNLERİNİN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Aygün ULUDAĞ

DANIŞMAN
Doç. Dr.Serdar AYDIN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 26.07.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Doç. Dr.Serdar Aydın
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr.Hüseyin Kurtuluş Özcan
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr.Gamze Varank
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi

.....Metin girmek için burayı tıklatın.
Üniversite
Fakülte

.....Metin girmek için burayı tıklatın.
Üniversite
Fakülte

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır..

ÖNSÖZ

Çeşitli bozunmuş gıda ürünlerinin biyogaz üretim potansiyelinin değerlendirilmesinin yapıldığı bu çalışmada, değerli bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, başım ne zaman sıkışsa muhakkak zaman ayırıp sabırla ve ilgiyle bana yardımcı olabilmek adına elinden gelinin en iyisini yapan ve bunu her zaman içtenlikle yapan tüm yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini benden esirgemeyen kıymetli danışmanım Sayın Doç. Dr. Serdar AYDIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Laboratuvar analizi sırasındaki yardımlarından ve fikirlerinden dolayı Sayın Doç. Dr. Atakan ÖNGEN hocama, her daim yardımıma koşan meslektaşım Sayın Belkıs ÇAKAR'a çok teşekkür ederim.

Dünya'ya geldiğim ilk andan itibaren benimle özveriyle ilgilenen madden ve manen destek olan kıymetli ebeveynlerim Rahime ve Bahri ULUDAĞ 'a her şey için teşekkür ederim.

Temmuz 2019 Aygün ULUDAĞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **viii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **ix**
ÖZET ..... **x**
SUMMARY ..... **xi**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **2**
2.1. GIDA ÜRETİMİ 4
2.1.1. Sürdürülebilir Gıda Tedariki 5
2.1.2. Gıda Üretiminin Çevresel Etkisi 6
2.1.3. Gıda İsrafı Ve Bozunmuş Gıdalar 6
2.1.4. Gıdaların Bozunması 8
2.1.4.1.Mikrobiyel Bozulmalar *8*
2.1.4.2. Mikrobiyel Olmayan Bozulmalar *10*
2.2. ANAEROBİK ÇÜRÜME 11
2.2.1. Biyogazın Dünyadaki Durumu 17
2.2.2. Biyogazın Türkiye'deki Durumu 18
2.3. BİYOGAZ ÜRETİM MEKANİZMASI 21
2.3.1. Biyogazın Oluşumu Ve Üretimini Etkileyen Faktörler 22
2.4. BİYOGAZ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR 25
3. MALZEME VE YÖNTEM **30**
3.1. MALZEME 30
3.2. TEORİK METAN POTANSİYELİ (BMP_{TEO}) 34
3.3. DENEYSEL METAN POTANSİYELİ (BMP_{EXP}) 34
4. BULGULAR **36**
4.1. GIDA ÜRÜNLERİNİN BİLEŞİMİ 36
4.2. GIDA ÜRÜNLERİNİN GAZ POTANSİYELİ 37
4.3. GIDA ÜRÜNLERİNİN METAN POTANSİYELİ 41

4.3.1. Teorik Biyolojik Metan Potansiyeli (BMP_{teo}) 41
4.3.2. Biyolojik Metan Potansiyeli (BMP) 42
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 44
KAYNAKLAR 46
EKLER 50
ÖZGEÇMİŞ 51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Biyokütle Enerji Çevrimi [11]……..……12
Şekil 2.2: Çeşitli Hammaddelerin Biyogaz Verimleri Ve Metan İçerikleri [9]…….....14
Şekil 2.3: Türkiye Orman Kaynaklı Biyokütle Potansiyeli [15]……..19
Şekil 3.1: Deney Mekanizmasının Genel Görüntüsü [16].....30
Şekil 3.2: Deney Kurulumuna Ait Genel Görüntüler.....31
Şekil 3.2: Deney Kurulumuna Ait Genel Görüntüler (devamı).....32
Şekil 4.1: Gıda Ürünlerinin Bileşen Değerleri.....35
Şekil 4.2: Havuç için Gaz Miktarının Değişimi.....36
Şekil 4.3: Muz için Gaz Miktarının Değişimi.....36
Şekil 4.4: Armut için Gaz Miktarının Değişimi.....36
Şekil 4.5: Elma için Gaz Miktarının Değişimi.....37
Şekil 4.6: Patates için Gaz Miktarının Değişimi.....37
Şekil 4.7: Tavuk için Gaz Miktarının Değişimi.....37
Şekil 4.8: Peynir için Gaz Miktarının Değişimi.....38
Şekil 4.9: Krema için Gaz Miktarının Değişimi.....38
Şekil 4.10: Kıyma için Gaz Miktarının Değişimi.....38
Şekil 4.11: Gıda Ürünlerinin Gaz Miktarının Karşılaştırılması.....39
Şekil 4.12: Gıda Ürünlerinin Gaz Miktarının Karşılaştırılması.....40
Şekil 4.13: Gıda Ürünlerinin Gaz Bileşiminin Karşılaştırılması.....41
Şekil 4.14. Gıda ürünlerinden elde edilen CO_2 ve CH_4 miktarının değişimi.....42

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz üretimi ve metan miktarları[12]..14

Tablo 2.2: Çeşitli organik atık fraksiyonlarına ait metan potansiyelleri [30].....15

Tablo 2.3: Katı organik substratların metan verimleri [31].....16

Tablo 2.4: Dünya da üretilen biyogaz kaynakları ve oranları [12].....17

Tablo 2.5: Metanojen bakteri türleri ve çalışma sıcaklıkları [2].....23

Tablo 2.6: Mısır silajı, domates, bezelye ve yeşil atıklar ile süt sığırı gübresinden elde edilebilecek biyogaz üretimi ve bundan üretilebilecek elektrik-ısı miktarları [9].....26

Tablo 4.1: Gıda Ürünlerinin Bileşen Değerleri.....35

Tablo 4.2: Gıda ürünleri için deneysel olarak üretilen gaz hacimleri (mL).....39

Tablo 4.3: Deneysel olarak elde edilen gazın bileşimi.....41

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

MW : Mega Watt

MTEP : Milyon Ton Eşdeğer Petrol

C : Karbon

N : Azot

O : Oksijen

CH_4 : Metan

Kısaltmalar **Açıklama**

BMP : Biyo Metan Potansiyeli

FAO : Gıda ve Tarım Örgütü

YEGM : Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEŞİTLİ BOZUNMUŞ GIDA ÜRÜNLERİNİN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Aygün ULUDAĞ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Serdar AYDIN

Günümüzün en büyük problemlerinden biri olan gıda israfının önüne geçmek için çeşitli bozunmuş gıdaların biyometan potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik yapılan bu çalışmada, bozunmuş gıdalara ait biyolojik ve teorik metan potansiyelleri değerlendirilmiştir. Biyolojik Metan Potansiyeli (BMP)'nin deneysel çalışmalar da uzun süre gerektirmesi ve çevresel faktörlerden etkilenebilmesi gibi durumlar söz konusu olduğu için Teorik BMP de hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre; havuç ve kıyma ile elde edilen gaz hacimlerinin oldukça yüksek, armut, tavuk, peynir ve patates için ise daha düşük seviyelerde üretim olduğu tespit edilmiştir.

Temmuz 2019, 60 sayfa.
Anahtar kelimeler: Bozunmuş Gıda, Yemek Atıkları, İsraf, Biyometan Potansiyeli, BMP, Anaerobik Çürüme, Biyogaz , Meyve ve Sebze Atıkları

SUMMARY

EVALUATION OF BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL FROM VARIOUS DECOMPOSED FOOD COMMODITIES

M.Sc. THESIS

Aygun ULUDAG

Istanbul University-Cerrahpasa
Institute of Graduate Studies
Department of Environmental Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Serdar AYDIN

One of today's major problem to avoid that the food waste which is made for evaluation of various degraded food bio potential in this study, and theoretical methane biological potential, the degraded food were evaluated. Theoretical BMP was also calculated because the biological methane potential (BMP) requires long time in experimental studies and can be affected by environmental factors. According to these results; it was determined that the gas volumes obtained by carrot and minced meat were quite high and for pear, chicken, cheese and potato production was lower.

July 2019, 60 pages.
Keywords: Degraded Food, Food Waste, Waste, Biomethan Potential, Anaerobic Digestion, BMP, Biogas, Vegetable and Fruit Solid Wastes

1. GİRİŞ

Biyogaz bileşiminde metan ve karbondioksit bulunan yanıcı bir gaz karışımıdır. Atık içindeki organik madde; metan, karbondioksit, hidrojen sülfür, azot, hidrojen ve amonyağa dönüşür. Biyogaz üretiminde kullanılan atıklar karbonhidrat, protein ve ham yağlar içerir ve bu oranlar atığın cinsine göre farklılık gösterir. Bu anlamda hayvansal kökenli gıdalarla bitkisel kökenli gıdaların biyogaz potansiyelinin farklılık gösterdiği literatürdeki çalışmalarca desteklenmektedir.

Bu kapsamda çalışmada kullanılmak üzere beş ana kategoride temsilci gıda ürünleri belirlenmiştir. Bu gruplar Sebzeler, Meyveler, Süt, Yumurta ve Et grubu şeklinde beş ana kategori ve alt gruplarından oluşmaktadır.

Gıda ürünlerinin biyogaz üretim potansiyelini belirlemek için yapılacak deneysel şartlar aşağıdaki gibidir: Bu çalışma için kontrol edilemeyen değişkenler göz ününe alınarak 9 adet çeşitli numune hazırlanmıştır. Ve her bir numune şişesi 1.5 L'lik olup ortama O_2 girişini engelleyecek şekilde dizayn edilmiştir. Numuneler hazırlanırken rendeleme, ezme vb. yöntemlerle şişelere konulan organikler ile belli miktarlarda karıştırılan su ve mikroorganizmaların yaşaması için sağlanan gerekli koşullar ayarlandıktan sonra 10 gün boyunca oluşan metan gazı günlük olarak da ölçülerek ve 10 günün sonunda biriken gaz İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Bölümü laboratuvarın da analiz edilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

Maslow'un ihtiyaçlar piramidinin en alt basamağını oluşturan fiziksel ihtiyaçlarından biri beslenmedir. Bir birey bu temel ihtiyacını tamamlamadan bir sonra ki adıma geçmesi mümkün değildir. Ancak hızla büyüyen nüfus ve bilinçsiz tüketicilik insanoğluna yakın bir gelecekte ciddi sıkıntılara sebep olacaktır. Dünya'nın bir kısmı bilinçsizce tüketirken bir yanda açlıkla ve yoksullukla savaşmaktadır. FAO'ya göre; 2016'da dünyadaki kronik beslenme yetersizliği yaşayan insan sayısının, 2030 yılı için tahmin edilen yaklaşık 900 milyon rakamından daha az olsa da 2015'teki 777 milyondan 815 milyona yükseldiği tahmin edilmektedir.

Yine FAO dünyada 830 milyondan fazla kişinin, yani her 9 kişiden birinin aç olduğunu ve 1,2 milyar kişinin susuzluk çektiğini bildiriyor. Her gün yaklaşık 21.000 çocuk açlıktan ölürken bu sayı bulaşıcı hastalıklardan ölen çocuk sayısından daha fazladır. Ülkemiz de ise insanlarımızın yaklaşık %22'si yetersiz besleniyor ve %9'u açlık sınırında yaşıyor. Dünyada 830 milyon aç insan varken, 2 milyar kişi aşırı kilolarıyla, 600 milyon kişi de obezite sorunlarıyla boğuşuyor. Başka bir açıdan da dünyada üretilen gıdanın 1/3'ü sofralara gelemeden çöpe atılıyor. FAO'ya göre çöpe atılan gıda miktarı 1milyar 300 milyon tondur. Bunun parasal karşılığı yaklaşık 800 milyar dolardır. Bu korkunç rakamlar aynı zaman da bize şunu ifade ediyor; çöpe atılan atık gıda miktarı veya bunun maddi finansal karşılığı, dünyada açlık çeken insanların 4 katını doyurmak için yeterlidir.

Gelişen teknoloji ile birlikte konfor alanlarından vazgeçemeyen insanların daha çok sayıda üretme ve zengin olma isteği, doğa da ki bu kaynakların sanki tükenmeyecekmiş gibi kullanılmasına sebep olurken bunların doğal sonucu olarak üretim atıkları ve tüketim atıkları tüm gezegeni, atmosferi, denizleri, nehirleri ve kara parçalarını uluslararası boyutlarda kirletmeye başlamıştır [17].

Üretilen gıdanın 3'te 1'nin çöp olmasına; gıda kaybı ve gıda israfı neden oluyor. Gıda kaybı denilen kavram daha çok üretim ve işleme aşamalarında gerçekleşirken; gıda israfı ise tüketim aşamasında kullanılamaz duruma gelen gıdaları ifade ediyor.

Dünya genelinde bakıldığında israf edilen gıda grupları için de en büyük paya meyve ve sebzeler (%44), sonrasında kök ve yumrulu bitkiler (%20) ve tahıllar (%19) almaktadır. Gıda zincirindeki en fazla kayıp ise sırasıyla tüketim (%35), üretim (%24), toplama ve depolama (%24), dağıtım (%5) vb. aşamalarında yaşanmaktadır [21].

Bu kaynaklarda yaşanan israfın önlenmesi ve yaşam kalitesinden ödün vermeden her geçen gün artan enerji açığı ve dolayısıyla oluşan enerji krizlerinin olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla gelişmiş ülkeler çeşitli atıkların geri kazanılması için çeşitli yöntemler araştırmış ve geliştirmiştir [7].

Günümüzde her evde tüketim sonucunda çeşitli, organik atıklar oluşmaktadır. Oluşan bu organik atıklar hiçbir işleme veya geri kazanıma uğramadan doğrudan çöpe gönderilmektedir. Ve doğa da veya depolama alanlarında biriken bu atıklar oldukça çok yer kaplar ve koku gibi birtakım çevre problemlerine sebep olmaktadır. Bu organik atıklar çöpe gönderilmesi yerine evde biriktirilmesiyle gaz üretiminde kullanılarak hem çevreye hem de ev bütçesine katkı sağlanabilir [2].

Biyogaz içerisindeki metan (CH_4) gazı sayesinde tükenmekte olan doğalgazın yerine rahatlıkla geçebilecek en büyük potansiyelsiyele sahip yenilenebilir enerji kaynağıdır [11].

Bu veriler ışında görülen o ki aslında bilinçsizce tüketilen gıdaların insana ve ekosisteme kazandırılması için herkesin elini taşın altına sokması gerekmektedir. Bu bağlam da sosyal sorumluluğun, çevre bilincinin yanı sıra ekonomiye de destek sağlayacak çalışmalar yapılmalıdır. Gerek sosyal medya gerekse de çeşitli eğitimlerle verilecek her türlü olumlu destek ülkemizin kalkınması bilhassa kendi kendine yetebilen bir ülke olması yolunda iyi bir ivme kazanmasını sağlayacaktır.

Yaşamın başlangıcından beri var olan bir gerçekte enerji ihtiyacımızın devamlılığıdır. İnsanlar ilk zamanlarda kendi yaşamlarını doğal ortamda sürdürürken ihtiyaçlarını da doğal kaynaklardan sağlamışlardır. Zaman içerisinde insanlar doğada varolan teknolojilerini geliştirerek çeşitli enerji kaynaklarını kullanmaya başlamışlardır. Bu kaynaklar; kömür, doğal gaz ve petroldür. Günümüzde ise nüfusun kontrolsüz artması, sanayinin gelişmesi, çarpık

kentleşme ve yaşam kalitesinin sürekli arttırma ihtiyacı insanlığın enerji ihtiyacını artırmıştır. Doğal enerji kaynaklarının hızlı ve bilinçsiz kullanılması yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenmesi riskini ortaya çıkarmıştır. Bu da hem doğal enerji kaynaklarının fiyatlarının yükselmesine hem de çevreye olan zararları neticesinde insanların alternatif enerji arayışına girmesine sebep olmuştur. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarının doğa ve insanlık için birçok avantajı bulunmaktadır. Bu enerjiler sürekli olarak tekrarlanabilir ve kaynağını sürekli olarak yenileyebilir niteliktedir. Bununla birlikte bu enerji kaynakları çevre dostu olmaları ve ekolojik dengeye katkı sağlamaları açısından birçok üstünlüğü mevcuttur [2].

Biyogaz üretimi yenilenebilir enerji statüsünde bulunmaktadır. Ülkemiz enerji üretimi açısından ürettiği enerjinin yaklaşık 3 katını tüketen bir ülkedir. Bu nedenle de dışa bağımlı bir ülkedir. Bu nedenle özellikle ülke olarak yenilenebilir statüde enerji kaynakları aramamız ve bunun yanında bu kaynaklara verilecek önemi artırmalıdır [2].

Dünya da özellikle gelişmiş ülkelerin yayımlamış olduğu belli başlı sözleşmeler ve direktifler bulunmaktadır. Bunlardan biri de Avrupa Birliğidir. Avrupa Birliği bu kapsam da yenilenebilir enerji üretim hedeflerini belirleyerek bir direktif yayınlamıştır. Söz konusu direktifte her ülke için tükettikleri enerjinin belirli oranlarda yenilenebilir enerjiden elde edilmesi istenmektedir. Direktife göre yenilenebilir enerjinin toplam enerjiye oranı 2010 yılında %12,5, 2020 yılında %20, 2050 yılında %50 olması istenmektedir [1].

Biyoenerji kaynaklarından biyogaz, diğer enerji kaynaklarına göre hem yenilenebilir olması hem de üretim sürecinde yeterince hammaddeye sahip olunması ve ekonomiye sağladığı katma değer ile biyogaza doğru yönelimi zorunlu kılmaktadır [7].

Biyogaz teknolojisi organik kökenli atıklardan hem enerji elde edilmesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkân vermektedir. Biyogaz üretimi, organik atıkların kontrollü uygun koşullarda depolanmasını sağlar [1].

2.1.GIDA ÜRETİMİ

Dünyada kontrolsüz artan nüfus için gıda üretimi ve bunun sürdürülebilirliğini sağlamak önemli bir problemdir. İnsanlar yerleşik yaşama geçmesi ve tarımsal faaliyetlere başlayıp çeşitli gıda ürünleri yetiştirmeye başladıklarından beri gıda tüketimi, beslenme ve gıda

güvenliği konuları da hızla çözüm bulunması gereken konular arasına girmiştir. Fransız sanayi devrimi ve yakın dönem de gelişen modern gıda teknolojilerindeki gelişmeler geleneksel beslenme şekillerinde ve kaynaklarında değişiklik göstermiştir. Günümüzde birçok insan günlük olarak tükettiği gıdaların kaynaklarından çok uzaktadır ve gıda üretiminde meydana gelen teknolojik gelişmeler ve beslenme biliminde gerçekleşen yakın tarihli buluşlar, giderek yükselen gıda kalitesi standartları beraberin müthiş bir çeşitliliği sağlamıştır [22].

2.1.1. Sürdürülebilir Gıda Tedariki

Dünya nüfusunun 2050 yılında bugünkü nüfustan %34 daha fazla olacağı, yani 9,1 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu büyüklükte ki bir nüfusun beslenmesi için gıda üretiminin %70 oranında arttırılması gerekmektedir. Bu amaçla, daha az toprak kullanmak ve daha fazla gıda üretilmesini sağlamak ve beraberinde getireceği su ve enerji sınırlayıcı unsurlar haline gelecektir. Bu durumların yanı sıra sürdürülebilir gıda ürünlerinin sağlığı destekleyen enerji ve besin ögelerini yeterli ve dengeli bileşimini içeren gıdalar olması gerekmektedir.

Avrupa Komisyonu da gıda üretiminin sebep olduğu çevresel etkilerin azaltabileceğini ve gıda tedarik zincirinde israfın sınırlandırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. AB, 2020 yılına gelindiğinde daha fazla sürdürülebilir gıda üretimi ve tüketime yönelik teşviklerle gıda zincirinin kaynak girdilerini %20 oranında azaltmayı amaçlamaktadır.

Sürdürülebilir gıda üretimi denilince; çevreyi kirletmeyen, yenilenemeyen enerji kaynakları ile doğal kaynakları koruyan, ekonomisi güçlü toplumlar yaratmayı amaçlayan, tüketiciler için güvenli olan ve bunların yanında gelecek nesillerin ihtiyaçlarından ödün vermeden sistemleri etkin kullanma için üretim yöntemidir.

Gıda atığı tanımı yapmak gerekirse; herhangi bir nedenle atılan ve bunun sonucunda insanlar tarafından yenilmeyen gıdalardır. Gıda atıkları literatürde genellikle önlenebilir gıda atıkları ve önlenemez gıda atıkları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Önlenebilir gıda atıkları (avoidable) çöpe atılmadan önce yenilebilir (tüketilebilir) durumda olan gıdalardır. Zorunlu (önlemez/ engellenemez) gıda atığı normal koşullarda tüketilmesi uygun olmayan mesela, kahve telvesi, yumurta kabuğu gibi gıda atıklarıdır [17, 23].

2.1.2. Gıda Üretiminin Çevresel Etkisi

Küresel gıda üretim yöntemleri, çevre üzerindeki olumsuz etkiyi en aza indirmek ve dünyanın gelecekteki gıda üretim kapasitelerini desteklemek için değiştirilmelidir. Gıda üretimi, iklim değişikliğine, kuraklığa, toprak bozulmasına ve biyolojik çeşitliliğin tahribatına neden olmaktadır. Küresel sera gazı salınımının %25'inin doğrudan tahıl üretimi, hayvancılık ve ormancılıktan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Tahıl ve hayvancılık sektörleri, tatlı su kaynaklarının %70'ini kullanmakta ve ormancılıkla birlikte yeryüzünün %60'ını kaplamaktadır. Gıda üretiminin çevresel etki düzeyi, gıdanın nerede ve nasıl üretildiğiyle, su ile toprak gibi doğal kaynakların varlığıyla ilgilidir.

Sürdürülebilir gıda üretiminin sağlanabilmesi için;

- Doğal kaynakları verimli kullanma,
- Toprak kullanımını uygun hale getirmek ve tarıma uygun arazi dönüşümünü azaltma,
- Enerji ve su kullanımı bakımından verimli olan gıda üretim alanlarını tasarlama,
- Toprağın ve su yollarının kirlenmesini önlemek için gübre ve pestisitlerin uygun kullanımı,
- Toprak, su ve enerji kaynakları ile sulak ve ormanlık alanları koruyan tarım uygulamalarıyla biyolojik çeşitliliği arttırma,
- Denizlerde ve kıyı bölgelerindeki kirliliği azaltma,
- Çevre dostu gıda ambalajlama teknikleri ve geri dönüştürülmüş ambalaj kullanma,
- Gıda israfının azaltılması ve raf ömrünün uzatılması,
- Katı atık sahasına gönderilen çöplerin azaltılmasına (örn. gıda dönüşüm tesisleri, fazla gıdanın hayır kurumlarına bağışlanması veya hayvan yemi olarak kullanılması) yönelik çalışmalar yapılmalıdır [23].

2.1.3. Gıda İsrafı Ve Bozunmuş Gıdalar

Gıda israfı (food losses), gıda üretim zincirinde kayıp ve çöpe giden tüm gıda ürünlerini kapsamaktadır. Gıda israfına; hasat sırasında, gıda paketleme ve işleme tesislerinde, ürün tedarik zincirinde yaşanan kayıplarla birlikte evlerimizde ya da restoranlarda çöpe atılan tüm gıda ürünleridir. Buna ek olarak gıda israfında diğer kayıplar parekendeciler ve tüketicilerden oluşan kayıplardır [19].

Gıda güvenliğini küresel olarak tehdit eden gıda israfı sadece gelişmekte olan ülkelerin değil aynı zaman da gelişmiş ülkelerin de büyük bir sorunudur. Avrupa ve Kuzey Amerika'da her yıl kişi başı yaklaşık 95 ila 115 kg gıda çöpe atılmaktadır.

Dünyadaki doğal kaynaklar sınırlı olduğundan, gıda üretiminde kullanılan verimli topraklar, su ve enerji kaynaklarımız da kısıtlıdır. Gıda üretim sürecinde ve gıda tedarik zinciri boyunca birçok olumsuz çevresel etkiler ortaya çıkmaktadır. Çin'den daha büyük bir alanın, hiçbir zaman yenilmeyen ve çöpe giden israf edilmiş bu gıdaları yetiştirmek için kullanıldığı ve temiz su kaynağının %25'ini israf edilen gıdaları yetiştirmek için kullanıldığı belirtilmektedir.

Bu çerçevede, israf edilen gıda ürünlerinin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları oldukça yüksektir. Başka bir örnek ise israf edilen gıda ürünlerinin küresel sera gazı emisyonlarının %8'inden sorumlu olduğu ve dünya çapında tarım yapılan alanların yaklaşık %30'unda asla tüketilmeyen gıdaların üretimi yapıldığı bildirilmektedir. Bu veriler ışığında, israf edilen gıdalar bir ülke olsaydı, Çin ve ABD'den sonra en büyük üçüncü sera gazı üreten ülke olacaktır. Sonuçta çöpe giden gıda ürünleri sınırlı ekonomik ve doğal kaynaklarımızı boşa harcamamıza sebep olurken enerji tüketiminin artmasına ve gıda fiyatlarının yükselmesine de sebep olmaktadır.

Ülkemizde durum hakkında çok net veriler olmamakla birlikte her yıl 325 bin ton gıdanın israf edildiği tahmin edilmektedir. Bu gıda israfının maliyeti ise yaklaşık 414 milyar TL 'dir. Bu verilere ilave olarak, sadece ekmek üretimindeki veriler, kişi başına günlük ortalama 333 gram ekmek üretildiğini, yılda kişi başına ortalama 121 kg ekmek tüketildiğini, üretilen toplam ekmeğin %5'in ise israf edilerek çöpe atıldığını göstermektedir [23].

FAO'nun yayımladığı rakamlara göre, dünyada her yıl insanların tüketimi için üretilen gıdaların yaklaşık %30'unun kaybolduğu veya çöpe atıldığını belirtilmiştir. Yaklaşık 1,3 milyar ton yani kişi başına 190 kg gıda her yıl çöpe atılmaktadır. Gıda atıklarının azaltılması, gıda güvenliği konuları gelecekteki 9 milyar insanın beslenme stratejisinde tanımlanmış kilit noktalardır. Dünyada 840 milyonun üzerinde insan yetersiz beslenmeden sağlığını kaybederken etik açıdan bakıldığında gıdaların çöpe atılarak israf edilmesi kabul edilemeyecek bir durumdur [17].

Toprak Mahsulleri Ofisi tarafından 2008 - 2012 yılları arasında ekmek israfı ile ilgili yaptığı çalışmada, günlük ekmek israf adedinin 4,9 milyondan 5,9 milyona çıktığını ve değerin ülke çapındaki oranının %5'ten %5,9'a yükseldiğini belirtilmiştir. İsrafta en çok adı geçen ürün olan ekmek için kamunun 2013 yılında başlattığı "Ekmeğini İsraf Etme" kampanyası israfı yüksek olan gıda ürünleri düşünüldüğünde sembolik de olsa önemli bir başlangıçtır [18].
Dünya genelinde üretilen ürünlerin tüm insalığa yetebilecek konumda olmasına rağmen adil olmayan dağıtım ve tüketimin temellerine inerek sadece üretime değil elde edilen kaynakların dengeli olmasını sağlayacak sosyal faktörlerde incelenmelidir [19].

2.1.4. Gıdaların Bozunması

Gıdanın bozulması metabolik bir süreç olup duyusal özelliklerde meydana gelen değişiklikler nedeniyle gıdanın tüketilemeyecek hale gelmesine neden olur. Yani renk, tat, koku ve yapıda meydana gelen istenmeyen değişikler gıdanın bozulduğunu gösterir. Bozuk gıda, gıda kaynaklı patojen veya toksin içermiyorsa tüketildiğinde zehirlenmeye neden olmaz. Ancak, tat, koku, görünüm ve tekstürde meydana gelen değişiklikler nedeniyle tüketilmez.
Bozunma tipleri;

- Mikrobiyal
- Kimyasal
- Fiziksel

Bozunma Nedenleri;

- Mikrobiyel bozulmalar
- Mikrobiyel olmayan bozulmalar [24].

2.1.4.1.Mikrobiyel Bozulmalar

Gıda da mikroorganizmaların çoğalması ve bu mikroorganizmalardan salgılanan enzimlerin aktivitesiyle gıdanın duyusal özelliklerinde hoşa gitmeyen değişimler oluşur. Gıdada mikrobiyel bozulma olabilmesi için öncelikle gıdanın bozulma etmeni mikroorganizmalarla temas etmesi veya bulaşması gerekir. Bozulmayı sağlayan mikroorganizmalar ya gıdanın mikroflorasında doğal olarak bulunurlar ya da işleme, hazırlama, paketleme, depolama vs. sırasında bulaşırlar. Ancak bazen gıdada herhangi bir canlı mikroorganizma hücresi olmadan da mikrobiyel kaynaklı bozulma meydana gelebilir. Isıya dirençli enzim üreten mikroorganizmalar ısıl işlem öncesi ortama enzimlerini bırakabilir. Isıl işlem sırasında

hücreler ölür fakat enzimleri aktif halde kalır. Isıl işlem sonrasında herhangi bir canlı olmadığı halde koşullar uygun ise bu enzimler gıdanın bozulmasına neden olabilir.

Gıdalardaki mikroorganizmaları etkiliyen faktörler;

- pH,
- Bağıl nem,
- Su aktivitesi,
- Depolama sıcaklığı,
- Oksijen varlığı ya da yokluğu,
- Ortamda bulunan gazlar ve konsantrasyonları,
- Biyolojik yapılar,
- Antimikrobiyel maddeler,
- Gıda içeriğini oluşturan bileşimlerdir.

Meyve ve Sebze Ürünlerinde Mikrobiyel Bozulmalar; Taze sebzelerin bozulmasında özellikle küfler etkilidir. Küflerden sonra bozulmayı etkileyen mikroorganizma grubu bakterilerdir. Sebzelerde meydana gelen bu mikrobiyel bozulmalar çürüme veya çürüklük şeklinde tanımlanır. Bozulma sırasında meydana gelen çürümeler de renk değişimi veya yapısal değişim gözlemlenebilir. Renkte meydana gelecek bir değişiklik beraberinde kötü koku ve yumuşama gibi oluşumlara da sebep olacaktır.

Taze meyvelerin içerisinde yüksek karbonhidrat (%10 veya daha fazla), düşük protein (%1 veya daha az) içerir, pH değerleri ise 4,5 ve altındadır. Bu nedenle meyve ve benzer ürünlerin bozulmasına küfler, mayalar ve aside dirençli bakteriler neden olurlar. Küflerin neden olduğu bozulmalarda, görünümde şu şekilde değişimler olur; siyah çürüme, gri çürüme, yumuşak çürüme, kahverengi çürüme vb. Elma, çilek, turunçgiller ve hurma gibi gıdalarda ise çoğunlukla mayalar bozulmaya neden olur. Üzümsü meyveler ve incirde ise asit kaynaklı bozunmalar yani laktik asit ve asetik asit bakterilerinin gelişmesi ile ekşime meydana gelir. Evlerde en çok tüketilen ekmekte ise su aktivitesi mikrobiyel gelişimi engelleyecek kadar düşüktür (Aw = 0,75-0,90). Ancak depolama sırasında meydana gelebilecek nişasta kristalizasyonu nem miktarını artarırsa bazı küfler özellikle ekmek küfü olarak adlandırılan Rhizopus stolonifer gelişebilir. Ve kırmızı ekmek küfü olarak bilinen Neurospora stophila da görülebilir. Dondurulan ve çözündürülen ekmekte ve sıcakken ambalaja konulan ekmekte nem miktarı artar bu da küf oluşumunu tetikleyebilir [24, 28].

2.1.4.2. Mikrobiyel Olmayan Bozulmalar

• **Soğuğun Etkileri:** Özellikle tropikal ve subtropikal olmak üzere bitkisel ürünlerin düşük ancak dondurucu olamayan sıcaklıklara maruz kalmaları sonucu meydana gelen fizyolojik zarardır. Görsel semptomlar üründen ürüne göre değişiklikler gösterse de genel olarak, yüzey yapısının bozulması (yüzeyde çöküntü oluşması), ıslak görünüm, zayıf renk gelişimi veya ürünün olgunlaşmaması ve yapısal bütünlüğün kaybolması soğuk zararında meydana gelen değişikliklerdir. Örneğin; Yeşil limon, greyfurt, avokado, mango: yüzeyde çöküntü olurken; Biber, patlıcan, domates: su salma, yüzey renginde kayıp ve Brokoli de ise klorofil kaybı, çiçeklerin sararması gözlenmektedir.

• **Yaşlanma:** Bitki fizyologları tarafından bitki ömrünün son aşamasında doku veya hücrelerinde bozulma şeklinde ortaya çıkan değişiklikleri tanımlamak için kullanılan ancak kesin bir tanımı olmayan bir terimdir. Yaşlanma hızı organa göre farklılık göstermekle birlikte bazı ortak noktalar bulunur. Fiziksel değişikliklerden yeşil rengin kaybı ve karotenoid ve flavonoidler gibi yeni pigmentlerin üretimi söz konusu olabilir. Yapısal olarakta yumuşama, solma ve kuruma meydana gelebilir. Ayrıca enfeksiyon ve lezyonlardaki artış da ürünün patojenlere direncinin azaldığını gösterdiğinden yaşlanmanın belirtisi olarak değerlendirilebilir.

• **Endojen Enzimlerin Neden Olduğu Bozulmalar:** Endojen enzimler gıdanın yapısında doğal olarak bulunan enzimlerdir. Bu enzimlerin aktivitesi depolama sırasında kalite kaybına ve bozulmaya yol açabilir.

• **Böcek Zararı:** Yetişme, hasat ve depolama sırasında böcekler bitkisel ürünleri istila edebilir ve onlarla beslenebilirler. Bazı durumlarda bu canlılar ürünler de direkt olarak çok büyük kayıplara yol açar. Bazen de görünümü tüketici açısından olumsuz olarak değerlendirilir ve ürün bozuk olarak nitelendirilebilir.

• **Dehidrasyon**: Gıda ürünlerinin yaş ya da kuru olarak depolanıyor olması bilhassa suyun rolünden dolayı oldukça önemlidir. Taze sebze ve meyvelerde su kaybı önlenmezse, örneğin su kaybını önlemek için uygun bir ambalaj materyali ile sarılmazsa görüntü de pörsüme veya solma meydana gelebilir. Diğer yandan ise eğer buharlaşan su varsa uygun şekilde uzaklaştırılması gerekir, aksi takdirde kondensasyon yani yoğunlaşma problemi ortaya çıkar.

• **Koku Absorbsiyonu:** Yağ içeriği yüksek ve uygun şekilde ambalajlanmayan pek çok gıda ortamdaki veya aynı ortamda bulunan diğer gıdaların kokusunu kolaylıkla absorbe edebilir.

Örneğin buzdolabında kapağı açık bırakılan süt buzdolabında bulunan uçucu bileşikler içeren gıdalardaki kokuyu absorbe eder. Bu durumda sütte normal olmayan koku oluşur [28, 29].

2.2. ANAEROBİK ÇÜRÜME

Anaerobik çürüme prosesi, oluşan düşük miktardaki çamur, yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabilen biyogaz oluşumunu ve oluşan gazın yüksek kalorifik değerli olması, az enerji tüketimi, az alan gereksinimi, düşük yatırım maliyeti gibi çeşitli avantajları bulunan bir arıtma yöntemidir. Anaerobik bu proses yöntemi düşük işletme maliyeti ve organik atıklardan sağladığı enerji geri kazanımı nedeniyle cazip bir arıtma yöntemidir [5].

Biyogaz; hayvansal ve bitkisel kökenli organik atıkların, anaerobik (havasız) fermantasyonu sonucu meydana gelen, renksiz, kokusuz, havadan hafif, havaya oranla yoğunluğu 0,83 ve oktan sayısı 110 olan, parlak mavi bir alevle yanan, kararlı bir gaz karışımıdır ve toksik değildir. Bu gaza verilen diğer isimler ise; "Bataklık Gazı", "Gübre Gazı", "Gobar Gaz" gibi isimlerdir. Oluşan bu gazın bileşimi etkileyen çeşitli etmenler vardır. Bunlar kullanılan hammaddeye ve ortam koşullarına göre değişmekle beraber %99 CH_4 içeren biyogazın (doğalgaz) ısıl değeri 37,3 MJ/m^3, metan içeriği %60-70 arasında olduğunda biyogazın ısıl değeri 19-21 MJ/m^3'dür. Düşük sıcaklıklarda (-164^oC) ve 280-350 bar basınç altında sıvılaştırılabilir ve bu sayede boru nakil hatları ile 300 – 350 m kadar uzağa taşınabilir, bileşimindeki kükürtlü bileşikler gazın çürük yumurta gibi kokmasına neden olur. Ancak gaz yanarken bu kokusunu kaybeder. Biyogaz, hidrojen hariç diğer gaz formunda bulunan enerji kaynaklarına göre daha düşük enerji içeriğine sahiptir. Havadan daha hafif olması havanın bulunduğu durumlarda gazın tabana çökelmemesini sağlayarak ani patlama ve yanma tehlikesini azaltmaktadır. Aynı zaman da tutuşma sıcaklığının yüksek olması başka bir açıdan önemli bir avantajdır. Hava içerisinde yanma hızı (0,25 m/s) düşüktür. Bunun nedeni CO_2 içermesidir. Yanması için hava içerisinde en az %5 oranında bulunması gerekmektedir. Ancak bu oran ideal bir yanmanın sağlanması için %20–30 olarak seçilmektedir. Biyogazın yanması sonucu H_2O buharı, CO_2, SO_2, NO_x, CO ve is oluşmaktadır. Biyogaz kaynakları; tarımsal biyokütle, arıtma çamuru ve çöp depolama alanlarıdır [1,2,7].

Anaerobik çürümeye ait dönüşümler ve oluşan reaksiyon sonucu oluşan son ürünler;

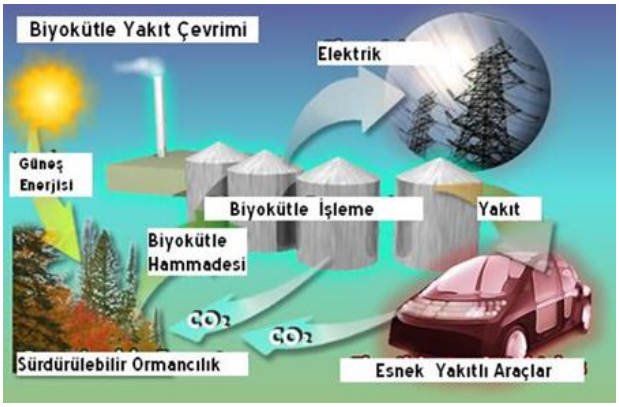
$$Organik\ Madde + H_2O \xrightarrow{anaerobik\ mikroorganizma} Biyokütle + CH_4 + CO_2 + NH_4 \quad (2.1)$$

Biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelen ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan organik madde kaynaklarıdır. Yani biyolojik yollarla üretilen her türlü maddeye biyokütle denmektedir. Bu maddeler güneşten gelen foton enerjisinin biyokimyasal çevirimlerinin sonucunda organik maddeler olarak depolamaktadırlar. Bu enerji depolanması fotosentez yoluyla olup verimi %1'in altındadır. 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.

Ana bileşenleri karbonhidrat bileşikleri olan bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağıdır. Bu karbonhidratça zengin kaynakların bazıları ise sebeze ve meyve kökenli bileşiklerdir [1,8].

Çeşitli organiklerden elde edilen bu temiz enerji, gıda artıklarının oksijensiz ortamda metan gazına dönüşümü ile mümkündür. Prosesin sonunda geriye kalan kısım ise zenginleştirilmiş gübre kaynağı olarak kullanılmaktadır [9].

Biyogaz hammadde sorunu olmayan bir prosestir. Biyogaz kazanımı için organik hammaddeler temel alınmaktadır. Bunlar hayvansal veya bitkisel olabilir. Tarımsal alanlardaki tesisler çoğunlukla hayvan dışkısını ana hammadde olarak almaktadır. Ayrıca biyogaz artırımı için hayvan gübresi yanında diğer organik hammaddelerin kullanılması gerekmektedir. Bu organik maddeler; bitkisel atıklar (İnce kıyılmış sap, saman, mısır silaj, şeker pancarı atıkları, küspe atıkları, çotanak), hayvansal atıklar (İnek, domuz, kanatlı hayvanlar gübresi, gıda sektörü atıkları (Yulaf posası, Bisküvi ve çikolata, Peynir altı suyu, Zeytinyağı değirmen suyu, Zeytin küspesi, Meyve posası, biyolojik mutfak, mezbaha atıkları) ve endüstri atıkları (arıtma çamuru, gliserin) de kullanılabilir (7).



Şekil 2.1: Biyokütle Enerji Çevrimi [11].

Biyokütle kaynakları arasında yer alan odun, hayvan ve bitki artıkları ülkemizde uzun yıllardan beri (özellikle kırsal kesimdeki konutlarda) alan ısıtma ve yemek pişirme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu geleneksel enerji kaynağı konutlardaki enerji tüketiminin %40 kadarını oluşturmaktadır [8].

Biyogazı diğer yanıcı gazlardan (doğalgaz vb.) farklı yapan sadece hayvansal veya bitkisel, yani organik hammaddelerden elde edilmesidir. Genellikle organik maddelerin %40 – 60'ı kadarı biyogaza dönüştürülebilir. Bu nedenle saflaştırılmış biyogaz enerjisi, doğalgaz enerjisinin yerini tutmaktadır [2,4].

Dünyanın çoğalan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji gereksinimini çevreye kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisi biyokütle enerjisidir. Biyokütle enerjisi çeşitli üstünlükleri ile öne çıkmaktadır. Bu üstünlükler şöyle sıralanabilir.

-Hemen hemen her yerde yetiştirilebilme,
- Üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi,
- Her ölçekte enerji üretimi için uygunluk,
- Düşük ışık şiddetlerinin yeterliliği,
- Depolanabilir olma,
- 5-35°C arasındaki sıcaklıkların yeterliliği,
- Sosyo-ekonomik gelişmelerde önemli olması,
- Çevre kirliliği oluşturmama (NO_x ve SO_2 salınımlarının çok düşük olması),
- Diğer enerji kaynaklarına göre sera etkisi oluşumuna daha az sebep olması,
- Atmosferde CO_2 dengesinin sağlanması,

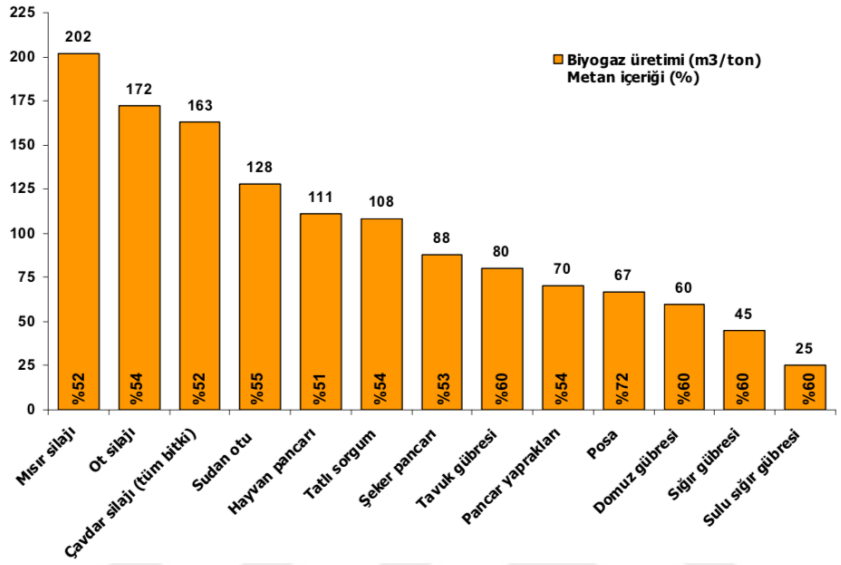
- Asit yağmurlarına yol açmaması [8],

Biyogaz üretimine uygun atıklardan bazılarından elde edilen biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarlarına bakıldığında biyogaz üretimi için kullanılacak atıkların önemini görebiliriz. Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz üretimi ve metan miktarları Tablo 2.1'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1: Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz üretimi ve metan miktarları [12].

Kaynaklar	**Biyogaz Verimi (L/kg)**	**Metan Oranı (%)**
Sığır Gübresi	90-310	65
Kanatlı Gübresi	310-620	60
Domuz Gübresi	340-550	65-70
Buğday Samanı	200-300	50-60
Çavdar Samanı	200-300	59
Arpa Samanı	290-310	59
Mısır Sapları ve Artıkları	380-460	59
Keten	360	59
Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze Atıkları	330-360	Değişken
Ziraat Atıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı Kabuğu	365	-
Dökülmüş Ağaç Yaprakları	210-290	58

Algler	420-500	63
Atık Su Çamuru	310-800	65-80



Şekil 2.2: Çeşitli Hammaddelerin Biyogaz Verimleri ve Metan İçerikleri [9].

Aşağıdaki tabloda çeşitli organik atık fraksiyonlarına ait metan potansiyeli yer almaktadır.

Tablo 2.2: Organik Atık Fraksiyonlarına ait Metan Potansiyelleri [30]

Atık Tipi	**Metan Verimi (L/Kg VS)**
Endüstryel Yemek Atıkları	360
Arıtma Çamuru	532
Patates Atığı	680
Palmiye Yağı Fabrikası Atığı	610
Yemek Atığı	396
Evsel Atık	350
Belediye Katı Atığı	200 - 530
Sebze ve Meyve Atığı	420

Mezbahane Atığı	500
Lignin Bakımından Zengin Organik Atık	200
Jatropha Yağı Tohumu Keki	422
İnek Gübresi	179
Domuz Gübresi	337
Domuz Gübresi ve Şaraphane Atıksuyu	348
Pirinç Küspesi	350
Mısır Sılajı ve Küspesi	312
Yemek Atıkları Sızıntı Suyu	294

Dünya üzerinde yer alan biyokütlenin yaklaşık %90'ının ormanlardaki gövdeler, dallar, yapraklar ve döküntü maddeleri ile yasayan hayvanlar ve mikroorganizmalardan oluştuğu ve dünya ormanlarının yıllık net biyolojik üretiminin yaklaşık 50 x 1019 ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu üretim miktarı; ziraat alanları, çayırlıklar, otlaklar, stepler, tundralar ve geri kalan vejetasyon formlarında fotosentez ile oluşan bütün birincil biyokütle miktarlarından daha fazladır [8].

Sığır gübresinden yılda 33m^3, kümes hayvanı gübresinden 78m^3 ve koyun gübresinden 58m^3 biyogaz elde edilmektedir. Kaynak olarak ülkemizde 11.369.800 adet sığır büyükbaş hayvanı mevcuttur. Bu kadar hayvandan biyogaz üretimi için elde edilecek organik madde 24.558.768 tona karşılık gelmektedir. 2010 yılı biyogaz üretim karşılığı ise 810.439.344 m^3/yıl olarak hesaplanmıştır [7].

Tablo 2.3: Katı organik substratların metan verimleri [31]

Atık Tipi	**Metan Verimi (ml CH4/g VS)**
Yonca	210
Muz Kabuğu	289
Arpa Atığı	20
Karabuğday	320
Lahana Yaprağı	309
Havuç	310
Karnabahar Yaprağı	190
Çikolata	370
Çayır	325

Balık Atığı	390
Çöp	395
Mutfak Atığı	370 - 450
Bamya	350
Çürümüş Mandalina	494
Portakal Atığı	490
Kağıt	340
Patates	390
Ayçiçeği	428 - 454

Evsel organik atıkların evsel atıksuların arıtımını iyileştireceği ve anaerobik şartlar altında metan gazı üretim verimliliğini arttıracağı düşünülmektedir [3].

1 m^3 biyogazın sağladığı ısı miktarı 4700-5700 cal'dir.
Bu değer; 0,62 litre gaz yağı, 1,46 kg odun kömürü, 3,47 kg odun, 0,43 kg bütan gazı, 12,3 kg tezek ve 4,70 kwh elektrik enerjisi eşdeğerindedir.
1m^3 biyogaza eşdeğer yakıt miktarları ise; 0,66 litre motorin, 0,75 litre benzin 0,25 m^3 propan tarafından sağlanan enerjiye eşdeğerdir [2].
Doğaları gereği biyokütle enerji kaynakları çok çeşitlidir. Deniz ve/veya karada bulunabilen bitkisel veya hayvansal biyokütle enerji kaynakları şunlardır;
- Odun (enerji ormanları, ağaç, artıkları),
- Yağlı tohum bitkileri (ayçiçek, kolza, soya, aspir, pamuk, v.b),
- Karbonhidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar, v.b),
- Elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, v.b.),
- Bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk v.b),
- Hayvansal atıklar
- Şehirsel ve endüstriyel atıklar [8].

Biyokütleden; fiziksel süreçler (boyut küçültme-kırma ve öğütme, kurutma, filtrasyon, ekstraksiyon ve biriketleme) ve dönüşüm süreçleri (biyokimyasal ve termokimyasal süreçler) ile yakıt elde edilmektedir.

2.2.1. Biyogazın Dünyadaki Durumu

Biyokütle kaynakları büyüklük bakımından, dünyada dördüncü en büyük enerji kaynağını oluşturmaktadır. Birçok gelişmiş, ülke biyoenerjiyi geleceğin temel enerji kaynağı olarak

görmektedir. Örneğin; İsveç, enerjisinin %16'sı gibi büyük bir kısmını biyokütleden elde etmektedir. Benzer şekilde Avusturya da enerjisinin %13'ünü biyokütle enerjisinden elde etmektedir [8].

Dünyadaki biyogaz tesislerinin oranının %80'i Çin'de %10'u Hindistan, Nepal ve Tayland'da bulunmaktadır. Avrupa'nın hayvan gübresi ile elde ettiği biyogaz enerjisi ve tesis sayılarına bakılacak olursa, Almanya 2,200 tesis ile en fazla üretim yapan ülke konumundadır. Bu ülkeyi 70 tesis ile İtalya takip etmektedir. Almanya'da biyogaz tesislerinin yapımı 1993 yılından itibaren artmış ve yine aynı yıldan günümüze kadar 139 tesisten 2,200 tesise kadar artmıştır [12].

Tablo 2.4: Dünya da üretilen biyogaz kaynakları ve oranları [12].

Dünya Biyogaz Kaynakları	**Üretilen Biyogaz (TEP/Yıl)**	**Kullanılabilir Biyogaz (TEP/Yıl)**
Kentsel ve Endüstriyel Katı Atık	750	60- 100
Kentsel ve Endüstriyel Atıksu	50	40-50
Tarımsal Artıklar	1000	40-50
TOPLAM	1800	140 - 300
Biyogaz / Dünya Çapında Doğalgaz Tüketimi	100%	8% - 17%

Dünyada son yüzyılda enerji tüketimi 17 kat artarken fosil yakıtlardan kaynaklanan ve atmosfere atılan CO_2, SO_2 ve NOx gibi zararlı gazlarda aynı oranda artmıştır [13].

Almanya biyogazda önemli yol almıştır. Almanya'da yapılan son bir araştırmaya göre, 11 milyon hektar olan ekim alanlarının yüzde 30'luk kısmı biyogaz hammaddesi için kullanıldığında, bunun karşılığında 400 TWh (Terrawatt) gücünde enerji elde edildiği belirlenmiştir [14].

Dünya da 2011 yılında toplam 21,4 milyar litre biyodizel üretilmiş olup en fazla biyodizel üretimi gerçekleştiren ülkeler; Almanya, ABD, Arjantin, Brezilya, Fransa'dır ve yine 2011 yılı dünya biyoetanol üretimi 86,1 milyar litre olup en fazla biyoetanol üretimi gerçekleştiren ülkeler; ABD, Brezilya, Çin, Kanada'dır [8].

2.2.2. Biyogazın Türkiye'deki Durumu

Türkiye'nin stratejik coğrafi konumu, Orta Doğu ve Hazar Denizindeki büyük petrol ve doğal gaz üreticisi alanlar ile Avrupa'daki tüketim pazarı arasında enerji köprüsü olmasını sağlamaktadır. Önemli yerli enerji kaynaklarının eksikliğine rağmen, Hazar petrollerini

Avrupa pazarına sevk eden Cebelitarık Boğazı; Bakü-Tiflis-Ceyhan (BTC) doğalgaz boru hattı; Hazar petrollerini Rusya topraklarından geçmeden taşıyan birinci uluslararası boru hattı; Kuzey Irak petrollerinin ihraç edildiği Ceyhan limanına sahip olan konumu Türkiye'yi önemli enerji transfer ülkesi haline getirmektedir. Büyüyen ekonomisi ile Türkiye, kendi bölgesinde önemli derecede enerji tüketir hale gelmiştir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yayınlanan Mavi Kitap 2013 Raporu'na göre; ülkemizin taşkömürü rezervi 1.319,4 milyon ton, linyit rezervi 11.752,2 milyon ton, petrol rezervi 44,1 milyon ton, doğal gaz rezervi 6,2 milyar m^3 olarak belirlenmiştir. 2012 yılı itibarıyla Türkiye'deki elektrik santrallerinin toplam kapasitesi 239.496,8 milyon kWh'dir. Bu kurulu gücünün %73,0'ını (174.871,7 milyon kWh) termik santraller, %24,2'sini (174.871,7 milyon kWh) hidroelektrik, %0,4'ünü (899,3 milyon kWh) jeotermal ve %2,4'ünü (5.860,8 milyon kWh) rüzgâr enerji santralleri oluşturmuştur. Toplam üretilen enerjinin %27,0'ını (65.345,9 milyon kWh) yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir [8].

Ülkemizde günde yaklaşık 65 bin ton çöp üretilmektedir. Türkiye'de çöp miktarının yaklaşık %15–20'sini geri kazanılabilir nitelikli atıklar oluşturmaktadır ve günde kişi başına bir kg evsel katı atık üretilmektedir. Üretilen evsel katı atık miktarının yaklaşık %50'sini organik atıklar, %25'ini geri dönüşebilen maddelerden ve %25'lik kısmı geri dönüşümü mümkün olmayan atıklardan oluşmaktadır [5].

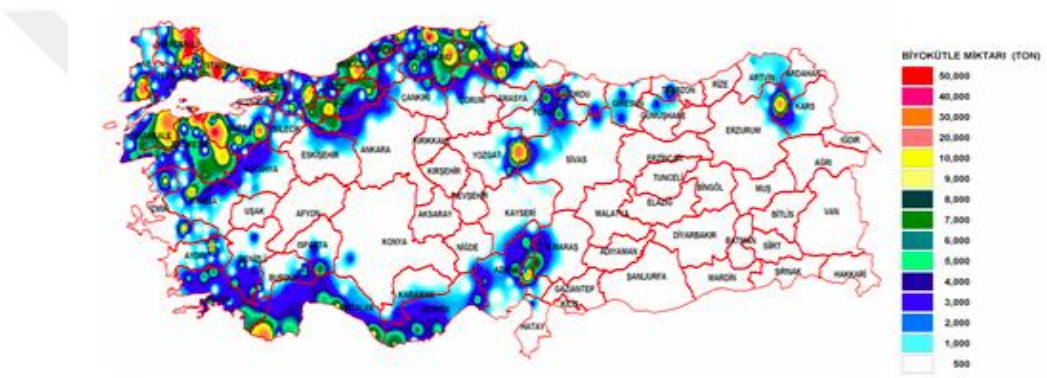
Ülkemizdeki organik atıklar genel toplam atıkların %65'ne denk gelmektedir. Bu değerlerden de anlaşılacağı gibi ülkemiz yüksek organik atık kapasitesine sahiptir. Bu atıkların değerlendirilmesi hem çevre kirliliği açısından hem de enerji ihtiyacının karşılanması açısından önem kazanmaktadır. Biyokütlelerden anaerobik fermantasyon yöntemi ile biyogaz üretiminin birçok avantajı vardır. Bu avantajlara ek olarak doğa ve bitkilerin ihtiyacı olan N ve F un geri kazanılmasını sağlar ve reaksiyon sonucunda oluşan yan ürünler organik bir gübre olarak kullanabilme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle özellikle hayvan gübresinden oluşan organik bu atıklardan oluşan gübre özellikle toprak verimini %10 artırmaktadır [2].

Türkiye'nin yıllık ortalama biyokütle üretim potansiyeli tahmini olarak 109,4 milyon ton olduğu ve yıllık olarak ülkemizdeki sadece ormanlardan elde edilen atık biyokütle (kabuk,

yaprak, yonga, dal vb.) 5-7 milyon ton olduğu belirtilmiştir. Bu da ülkemizin organik atıklar bakımından aşırı zengin olduğunun göstergesidir [2].

2014 yılında Ankara'nın Beypazarı ilçesine kurulan bir biyogaz tesisi tavuk gübresi kullanarak metan biyogaz üretmeye başlamıştır. Kurulan tesiste saatte 2,5 MW elektrik enerjisi üretilmiştir. Bu üretimin yanında ısı ve organik gübre üretildiği belirtilmiştir [2].

YEGM'in paylaştığı son verilere göre (Şekil 2.4) Türkiye'deki orman kaynaklı toplam atık miktarı 4,800,000 ton(1,5 MTEP)'dur. Ve yayınlanan verilere göre kurulabilecek gazlaştırma tesisi kapasitesi 600 MV'dir [15].



Şekil 2.3: Türkiye Orman Kaynaklı Biyokütle Potansiyeli [15].

Ülkemizde var olan biyokütle potansiyeline ilişkin ulaşılabilen istatistiksel verilerle Türkiye'nin yıllık biyokütle potansiyelinin yaklaşık 32 MTEP, toplam dönüştürülebilir biyoenerji potansiyelinin ise yaklaşık 16,92 MTEP olduğu söylenebilmektedir [8].

Türkiye'de yılda 50-65 MTEP tarımsal atık ve 11,05 MTEP hayvansal atık üretilmesine rağmen, üretilen bu atıkların sadece %60'ı enerji üretimi için kullanılabilir niteliktedir. Bu tarımsal ve hayvansal atıklardan elde edilecek enerjinin Türkiye'nin yıllık enerji tüketiminin %22-27'ine eşit olduğu bilinmektedir. Türkiye'nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen üretilebilecek biyogaz miktarının 1.5-2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir [7].

Türkiye, topraklarında yetişen zengin tarımsal potansiyeli olan gelişen bir ülkedir. İşlenmiş toprağın %70'ini birincil olarak buğday, ikincil sırada arpa ve üçüncül olarak da mısır oluşturmaktadır. Pamuk, keten, vb. gibi endüstriyel ürünler uzun zamandır yetiştirilmektedir. Soya fasulyesi Anadolu'da yetişmektedir. Meyvenin çeşitli türleri ülkenin hemen hemen her

yerinde yetişmektedir. Ülkemizde yetişebilen bunca çeşitlilik beraberinde de çeşitli tarım atıklarını oluşturmaktadır. Türkiye'de yıllık yaklaşık 26,4 milyon ton buğday sapı üretilmektedir ve bu değer yaklaşık olarak 16,4 MTEP'e eşittir. Tarımsal artıklardaki kuru kaynaklardan hesaplanmış toplam artık miktarı yaklaşık olarak 54,4 milyon tondur. Tarımsal artıkların yıllık enerji eşiti 15,5 MTEP olarak belirlenmektedir [8].

Hayvansal atıkların anaerobik fermantasyonu ürünü olan biyogaz, 1-2 milyon tonluk atığın hepsi biyogaz üretimi amaçlı kullanılabildiğinde yıllık 2,2 ve 3,9 milyar m^3 potansiyele sahiptir. Biyogaz potansiyelinin %85'i hayvansal atıklarından, geri kalanı ise çöp gazından gelmektedir. Hayvansal atık gazı potansiyelinin %50'si koyunlardan, %43'ü büyükbaş hayvanlardan, %7'si kümes hayvanlarından oluşmaktadır. Hesaplamalara göre ortalama hektar başına 80-100 ton ıslak biyokütle (25-30 ton kullanılabilir kuru biyokütle malzemesi) Orta Anadolu Bölgesi'nden elde edilebilir [8].

Ülkemizdeki biyodizel durumu incelendiğinde; 14 Eylül 2011 verilerine göre Enerji Piyasası Düzenleme Kumluna (EPDK) kayıtlı 36 firmanın biyodizel üretim lisansına sahip olduğu görülmüştür. Ancak yerli tarım ürünlerinden aktif biyodizel üretimi yapan sadece bir firma bulunmaktadır. Bu firma verimsiz tarım arazilerinde yetiştirilen aspir bitkisiyle biyodizel üretimini gerçekleştirmektedir. Çevre Bakanlığı verilerinde üç adet tesis atik yağdan biyodizel üretimi için izinli görünse de bunlardan sadece bir tanesi EPDK'dan lisanslıdır ve aktif üretim yapmaktadır. Ülkemizde yerli ham maddeyle üretilen biyodizelin motorinle harmanlanan %2'lik dilimi Özel Tüketim Vergisi (ÖTV)'nden muaf tutulmaktadır. 27.09.2011 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren EPDK Karan gereğince piyasaya akaryakıt olarak arz edilen motorin türlerinin, yerli tarım ürünlerinden üretilmiş biyodizel içeriğinin 1 Ocak 2014 tarihi itibarıyla en az %1, 1 Ocak 2015 tarihi itibarıyla en az %2, 1 Ocak 2016 tarihi itibarıyla en az %3 olması zorunluluğu getirilmiştir [8].

Türkiye de dahil birçok ülke organik atıklardan biyometan üretimini teşvik etmek amacıyla, biyogazdan üretilen elektriğin birim fiyatını yüksek tutmakta ve yatırım hibesi sağlamaktadır [3].

2.3. BİYOGAZ ÜRETİM MEKANİZMASI

Biyogaz üretimi için; organik madde, mikroorganizma, anaerobik şartların sağlanması ve ısı gereklidir. Gazın bileşimi, atığın türü sindirim süresi ve diğer çıktılar işletme şartlarına

baglıdır. Canlı türüne göre değişmekle birlikte günlük üretilecek gübre miktarı, gübredeki su içeriği, biyolojik işlem sonucu oluşan biyogaz miktarı ve reaktöre besleme yapılırken musluk suyu ile seyreltilmesi gerekmektedir [7].

Anaerobik çürütme, organik maddelerin havasız ortamda ayrışması sırasında gerçekleşen çok sayıda zincirleme reaksiyonlardan oluşan biyolojik bir prosestir. Bu prosesin ilk adımında polisakkarit, karbonhidrat, protein, lipid gibi polimerik yapıdaki kompleks organik maddeler hücre dışı enzimler tarafından daha küçük boyutta ve hücre zarından geçebilecek şekildeki çözünebilir ürünlere dönüştürülmektedir. Nispeten basit ve çözünebilir yapıdaki bu bileşikler fermentasyon veya anaerobik oksidasyonla kısa zincirli yağ asitleri, alkoller, karbondioksit, hidrojen ve amonyağa dönüştürülmektedir. Asetat dışındaki kısa zincirli yağ asitleri ise asetat, hidrojen ve karbondioksite dönüştürülmektedir. Prosesin son safhasında asetatın parçalanması veya H_2 ile CO_2'nin sentezi yoluyla CH_4 üretimi gerçekleştirilmektedir [3].

2.3.1. Biyogazın Oluşumu Ve Üretimini Etkileyen Faktörler

Havasız arıtma proseslerinde kompleks organik bileşiklerin metan gazına dönüştürülmesinde çeşitli tür ve özellikte mikroorganizma grupları yer almaktadır. Bu kompleks organiklerin havasız ayrıştırılması hidroliz, asit üretimi, asetat üretimi ve metan üretimi olmak üzere dört aşamada gerçekleşmektedir [3].

Hidroliz: Bu aşama da katı veya çözünmüş halde olan yağ, polisakkarit, protein ve nükleik asit gibi kompleks organik maddeler daha basit yapıya dönüştürülür [3].

Asit üretimi: İkinci kademede ise asetojenik bakteriler birinci kademe hidroliz ürünlerini asetik, bütirik, izobütirik, valerik ve izovalerik asit gibi ikiden daha fazla karbonlu yağ asitlerine dönüştürürler. Başka bir deyişle yüksek yoğunluklu maddeler daha düşük yoğunluklu organik maddelere dönüşür. Bu ilk adım pH, sıcaklık ve mikroorganizma bekletme süresi ile doğrudan ilişki içerisindedir. Bu aşama da fermantasyon ve hidroliz evresindeki uzun zincirli organik moleküller acidogenic bakteriler tarafından fermente edilip parçalanarak organik asitlere dönüştürülür ve işlem sırasında hidrojen ve karbon dioksit gazları açığa çıkar. Organik atıkların büyük bölümü, bu başlangıç aşaması sırasında suda çözünür hale gelir [3,4,7].

Asetat Üretimi: Bir diğer adım ise asetat üretimidir. Bu adım da uçucu yağ asitleri ve uzun zincirli yağ asitleri bu reaksiyonlarda elektron verici olarak görev yaparlar. Bu reaksiyonların elektron alıcısı hidrojendir. Reaksiyonların termodinamik olarak ürünler yönünde

ilerleyebilmesi için ortamdaki hidrojen konsantrasyonunun düşük olması gerekmektedir. Asetik asit bakterileri sadece H_2 kullanan mikroorganizmalar ile birlikte yaşarlar. Yani metan bakterileri kendi ihtiyaç duydukları hidrojeni alır iken, acetogenic bakterileri olumsuz etkileyen bir maddeyi de ortamdan uzaklaştırmış olur [3,7].

Metan Üretimi: Ve son adım olan metan üretim adımında ise diğer iki adımda oluşan ürünleri metan bakterileri aracılıyla metan gazına dönüştürülür. Oluşan metanın yaklaşık %30'u H_2 ve CO_2'den, %70'i ise asetik asidin parçalanmasından oluşmaktadır. Anaerobik fermantasyonun son aşamasında metan oluşturan bakteri grupları CO_2 ve H_2O kullanarak metan ve su açığa çıkarır iken öteki grup metan bakterileri ise ikinci aşamada çıkan asedik asidi kullanarak metan ve CO_2 oluşturur. Asetattan metan oluşumu ise, fermantasyon reaksiyonları sonucu astetatın metil grubundan metanın, karboksil grubundan da karbondioksidin oluşması ile gerçekleşmektedir. Metan gazının oluşumu yavaş gerçekleşir bu aşama da ve genellikle anaerobik çürümede hız sınırlayıcı aşamadır [3,4,7].

Biyogaz üretimini etkileyen faktörler ise; ortamın sıcaklığı, hammaddenin cinsi ve miktarı, ortamın asitliği (pH), partikül büyüklüğü, fermantasyon süresi, karbon azot oranı (C/N), vb.'dir. Sıcaklık önemli bir faktör olması nedeniyle yapılan çalışmalar şunu göstermiştir; sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerdeki tesislerin başarısının daha yüksek olduğudur. Metan oluşturan bakteriler bu ani sıcaklık değişimlerinden ciddi oran da etkilenir [7].

Sıcaklık: Biyogaz üretiminde sıcaklığın en verimli olduğu değer 30-39^{0}C'dir. Isınmanın mümkün olmadığı yerlerde bu sistemler için ciddi sıkıntılar doğabilir. Sıcaklığın 10^{0}C'nin altına düşmesi durumunda biyogaz üretiminin durduğu bilinmektedir. Bu yüzden; optimum sıcaklığın korunmadığı olası durumlar da biyogaz veriminde azalmalar görülecektir [2].

Tablo 2.5: Metanojen bakteri türleri ve çalışma sıcaklıkları [2].

Bakteri türleri	**Optimum aktivite (^{0}C)**
Sakrofilik	5-25
Mezofilik	25-38
Termofilik	50-60

İşletme sıcaklıkları, enzimlerin ve koenzimlerin aktivitelerini, mikroorganizmaların metabolizma ve büyüme hızlarını ve dolayısıyla biyogaz üretim düzeylerini etkilemektedir [4].

C/N: Organik maddeler havalı ve havasız ortamlarda çalışan bakteriler tarafından bozunmaya uğrarlar. Anaerobik bakterilerin en önemli besin maddeleri C ve N'tur. Mikroorganizma karbonu enerji kaynağı olarak kullanırken azotu yeni hücrelerin oluşturulmasında yapı malzemesi olarak değerlendirir. C/N oranları buğday sapında 87/1, mısır sapında 53/1, hayvan dışkısında 29/1 iken ideal oran 30/1'dir [7].

Biyogaz üretiminde önemli olan noktalardan birisi fermentasyon da biyolojik bakterilerin üremesini ve çalışmasını engelleyecek maddelerin (dezenfekte ve sterilizasyon) önlenmesi gerekmektedir. Fermenterde fazla amonyum konsantrasyonuda metan verimini düşürmektedir. Bu yüzden tavuk ve domuz gübresini sulandırmak veya nitrojen içeriği az olan maddeler ile karıştırılmalıdır [7].

pH: Biyogaz üretimi için en uygun pH değeri 6,8 ila 7 arasında olmalıdır. Biyogaz oluşumu aşamasında yani anaerobik fermantasyon işlemi sırasında pH değeri 7 ile 7,5 arasında değişir. pH değerinin 6,7'nin altına düşmesi durumunda ise metanojen bakteriler üzerinde toksik etki yapar. Bu da biyogaz verimini etkileyeceği için istenmeyen bir durumdur. Anaerobik fermantasyon sırasında asit oluşturucu bakterilerin artması pH'ın düşmesine sebep olmaktadır. Bu tür proseslerde reaktöre organik yükleme kesilerek asit oluşumunun düşmesi sağlanmaktadır. pH'ın kararlı hale gelebilmesi için sönmüş kireç kullanılabilir [2].

Organik Yükleme Hızı : Organik yükleme hızı m^3 basına biyoreaktöre beslenen organik madde miktarıdır. Organik yüklenme hızı hesaplanarak optimum değerde sabitlenmelidir ki aksi halde pH yükselerek biyogaz üretimi durabilmektedir. Mezofilik şartlarda organik yüklenme hızı sığır gübresi için 2,5 – 3,5 kg UM/m^3.gün (uçucu madde/metreküp. gün) olarak, besin maddeli organik beslemeler için 5,0-7,0 kg UM/m^3.gün, domuz gübresi için ise 3,0-3,5 kg UM/m^3.gün olmalıdır [2].

Toksisite: Biyoreaktöre beslenen tavuk ve büyükbaş hayvan gübrelerin bazılarında antibiyotikler bulunmaktadır. Bu antibiyotikler biyogaz üretimini sağlayan biyoreaktör için olumsuz etki yapmaktadır. Aynı şekilde substrat olarak kullanılan organik maddenin içerisinde bulunan ağır metaller, mineraller, deterjanlar vb. olması istenmeyen diğer maddeler de biyogaz oluşumunu olumsuz etkilemektedir [2].

Katı Madde Oranı: Biyoreaktörde ki substratın optimum biyogaz oluşumu için tesis içi gübre-su karışımının katı madde oranının %7-9 olması gerekmektedir. Katı madde oranları; sığır gübresinde %15-20 civarında, tavuk gübresinde %30 ve koyun gübresinde de %40

civarındadır. Uygun katı madde oranı belirli hesaplamalar doğrultusunda suyla seyretilerek hesaplanabilir [2].

Karıştırma Hızı: Biyogaz üretiminde ayrıca karıştırma hızı ve substratın tanecik boyutu da etki etmektedir. Tanecik boyutuyla biyogaz üretim hızı ters orantılıdır. Karıştırma hızı ile biyogaz üretimi ile doğru orantılıdır. Karıştırma aynı zamanda alt kısımlarda oluşan biyogazın yukarı çıkmasını ve daha iyi bir bakteri aktivitesi sağlar [2].

2.4.BİYOGAZ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2017 yılında Ankara da yapılan bir BMP çalışmasında toplam atıksu arıtma tesisi atıkları, tarımsal atıklar, mutfak atıkları ve toplam hayvan atıkları dikkate alınarak yapılmıştır. Bu çalışma da elde edilen bilgiler doğrultusunda elde edilen toplam biyogaz miktarı 991.441 m^3/ Gün'dür. Bu değer de toplam 1.397.930 TL/Gün değerine karşılık gelmektedir. Ankara'nın günlük elektrik tüketimi 211.496 MWh olarak belirtilmiş olup hesaplanan organik atıkların günlük elektrik enerji kazancı ise 4.658 MWh değerindedir. Bu da yaklaşık olarak Ankara'nın günlük enerji ihtiyacının %21,66'sını karşılamaktadır [2].

Başka bir çalışma da mutfak atıkları ayrı ayrı toplanıp mutfak öğütücünden geçirilen bazı mutfak atıklarının karakterizasyonundan oluşan karışım ile atıksu arıtma tesisine ait suyun karıştırılması ile elde edilen BMP testinin sonuçları incelendiğinde %3'lük ve %7'lik atıksu karışımları ile yapılan çalışmalarda inhibisyon etkisi saptanmıştır. Diğer yandan %5'lik atıksu karışımı ile elde edilen sonuçlar metanojenik yol izinde herhangi bir inhibisyonun gerçekleşmediği fakat 0,5, 1 ve 1,5 aşı/substrat oranları için substrat inhibisyonunun gerçekleştiği tespit edilmiştir. Aşı/substrat =3 oranında çalışıldığında ise sisteme beslenen substratın sorunsuz olarak biyometana dönüşümünün sağlandığı gözlenmiştir [3]

Yemek atıklarından mezofilik ve termofilik şartlarda metan gazı üretim düzeylerinin araştırılması ile alakalı bir çalışma da ise, üniversite yemekhanesinden toplanan yemek atıkları sıcaklık kontrolünün sağlanması için 37^0C ve 50^0C'lik etüvlere yerleştirilmiştir. Sıcaklık dışında C/N oranı, katı madde oranı ve pH gibi özelliklerin her iki reaktörde de aynı olması sağlanmıştır. 60 günlük sürede toplam metan üretim düzeyleri mezofilik ve termofilik koşullarda yaklaşık olarak eşit olduğu tespit edilmiştir. Mezofilik koşullarda toplam metan üretimi 314 lt/kg UKM, termofilik koşullarda ise 317 lt/kg UKM olarak gerçekleşmiştir. Mezofilik ve termofilik koşullarda yemek atıklarının metana dönüşüm oranları yaklaşık aynı

olsa da bu dönüşümün hızı farklıdır. Dönüşüm hızlarını değerlendirmek için toplam metan üretiminin %50'lik ve %75'lik kısımlarının kaçar günde gerçekleştiği belirlenmiştir. Mezofilik koşullarda, metan üretiminin %50'lik kısmı ilk 27 günde ve %75'lik kısmı ise ilk 38 günde gerçekleşmiştir. Buna karşılık termofilik koşullarda metan gazı üretiminin %50'lik kısmı ilk 18 günde ve %75'lik kısmı ise ilk 24 günde gerçeklemiştir. Bu durum, sıcaklığın nihai olarak elde edilecek metan gazı miktarı açısından önemli bir etkiye sahip olmadığını göstermiştir. Ancak termofilik koşullarda mezofilik koşullara göre metan üretim hızının yaklaşık iki kat fazla olduğu bulunmuştur [4].

Yemekhane ve hayvan atıklarından biyoenerji geri kazanımı ile alakalı başka bir çalışma da ise; çalışma ikiye ayrılarak öncelikle hayvan ve yemekhane atığı karışımlarının farklı işletme koşullarında metan ve hidrojen geri kazanımını sağlayacak anaerobik koşullarda arıtımı incelenerek, bir yandan sistem performansının ortaya koyarken diğer yandan ise; farklı aşı /substrat (1:2, 1, 3:2, 2, 3) ve farklı büyükbaş hayvan-yemekhane atığı karışım (100:100, 75: 25, 50: 50, 25: 100, 0: 100) oranları kullanılıp, sistemin performansı incelenmiş ve en uygun karışım ve aşı/substrat oranı saptanmıştır [5].

Elazığ'da 2004 yılında yapılın bir biyogaz potansiyeli belirleme çalışmasın da ise, Elazığ iline ait büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayıları ilçe bazlı olarak tespit edildikten sonra yine bölgeye ait tarımdan elde edilebilecek potansiyel belirlenmiştir. Bu çalışmadaki veriler doğrultusunda sadece hayvansal gübreden elde edilecek yıllık kazancın yaklaşık 4,5 trilyon olduğu belirtilmiştir. Hayvanlardan elde edilen biyogazın potansiyeli ile üretilebilecek elektriğin 74 milyar değerinde olduğu belirtilmiştir [6].

Bursa ili Merkez ve Karacabey ilçe sınırları içerisinde yapılan başka bir çalışma da yöre de bulunan bir süt sığırcılığı işletmesine ait gübre, mısır silajı ve yeşil artıklar ile iki gıda firmasının organik atıklarından domates ve bezelye posalarının biyogaza dönüştürülme potansiyeli değerlendirmiş ve olası bir tesis kurulumu durumunda elde edilebilecek değerlerleri Almanya'daki bir tesis ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma da elde edilen metan üretim oranları aşağıdaki Tablo 2.5'teki gibidir.

Tablo 2.6: Mısır silajı, domates, bezelye ve yeşil atıklar ile süt sığırı gübresinden elde edilebilecek biyogaz üretimi ve bundan üretilebilecek elektrik-ısı miktarları (9).

Materyal	Posa miktarı (t)	Biyogaz üretim miktarı (m^3/ton)	Biyogaz üretimi (m^3)	Elektrik üretimi x1.75 (kWh)	Isı üretimi x1.68 (kWh)
Mısır slajı	10000	190	1900000	3325000	3192000
Domates atığı	10000	94	940000	1645000	1579200
Bezelye atığı	10000	82	820000	1435000	1377600
Yeşil atıklar	10000	150	1500000	2625000	2520000
Sığır gübresi (2000)	64000	25	1600000	2800000	2688000
Toplam	104000		6760000	11830000	11356800

Bu beş farklı kaynaktan elde edilebilecek toplam 104 bin ton tarımsal ve hayvansal atıktan ortalama 6,76 milyon m^3 biyogaz ve bundan da 11,83 milyon kWh elektrik ve 11,36 milyon kWh ısı üretimi gerçekleştirebilecek bir potansiyel elde edilebilmektedir [9].

Yemek atıkları kullanılarak yapılan farklı bir çalışmada farklı sıcaklıklarda oluşan biyogaz miktarları arasındaki farklılıklar gözlenmiştir. 15^{o}C, 25^{o}C, 35^{o}C, 45^{o}C, 55^{o}C ve 65^{o}C sıcaklıklardaki metan oluşum yüzdeleri sırasıyla %47,5, %62,2, %70,0, %72,7, %56,1 ve %45,9 olarak tespit edilmiştir. Başka bir ifadeyle, mezofilik koşullarda biyogaz üretim düzeyleri daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmada atıkların çözünme oranlarının da mezofilik koşullarda termofilik koşullara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Biyogaz üretiminin sıcaklık dışında farklı parametrelerce de etkileniyor olması ve kullanılan atıkların özellikleri çalışma sonuçlarının birbirleriyle kıyaslanmasını zorlaştırmaktadır [10].

İnek gübresi ve yağlı yiyecek atıkları ile yapılan bir BMP çalışmasında amaç yalnızca metan üretimi olmamış aynı zaman da reaktörlerde metan ile birlikte biriken diğer gazların ölçülmesi hedeflenmiştir. Reaktörlerin ilkine inek gübresi ve yağlı atık, ikinci reaktöre yağlı atık ve çamur karışımı konulmuştur. Reaktörler 60 gün boyunca gözlemlenmiştir. 60 günün sonunda en fazla toplam metan gazı birikimi 11,25 L ile inek gübresi ve yağlı atık reaktöründe ölçülmüştür. Yağlı atık ve çamur karışımının olduğu karışımdan ise toplam metan birikimi 7,06 L ölçülmüştür [16].

Katkı maddesi kullanılarak biyogaz üretim hızı ve metan içeriğinin iyileştirilmesine yönelik yapılan bir çalışma da katkı maddesi olarak inek gübresi, ipek böceği larvası ve sığır idrarı kullanılarak bir biyogaz çürütücü reaktör tasarımı yapılmıştır. Bu çürütücü reaktör tasarlanırken 800°C'ye kadar dayanabilecek fiber takviyeli plastik kompozit bir malzemeden yapılmıştır. Buradaki amaç plastik olan diğer reaktörlerin içerilerinde bulunan mikroorganizmalar tarafından zarara uğramasının önüne geçecek yeni bir tasarım yapmak ve bu tasarım ile elde edilen verimin hesaplanmasıdır. Bu reaktörde gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda elde edilen biyolojik gazın kalorifik değeri, inek gübresi, ipek böceği larvası ve sığır idrarı 3: 2: 1 oranında karıştırıldığında sırasıyla %33 ve %8,3 oranında artmıştır [20].

Yapılan başka bir çalışma da ise karışık yemek atıkları ile protein bakımından zengin mantar püresi kekinden oluşan enzimatik bir hidroliz çalışması uygulanmıştır. Üretilen mantar keki ile ön arıtıma tabi tutulan yemek atıklarından elde edilen biyometan verimi ve üretim oranının, ön arıtım yapılmayanlardan sırasıyla 2,3 ve 3,5 kat daha yüksek olduğu bulunduğu ortaya çıkmıştır [25].

Hindistan da yapılan sebze ve meyve atıklarıyla yapılan bu araştırmanın amacı, birçok meyve ve sebze atığı fraksiyonunun BMP'sini belirlemek ve çeşitli meyve ve sebze atıklarının metan dönüşüm oranını ve oranını karşılaştırmak içindir. Bu atıklar hintlilerin evlerinde en yaygın bulunan atıklardan seçilmiştir. Bunlar; mango, muz, narenciye, çeşitli meyve ve sebze atıkları olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan atık gıdaların BMP'si metana dönüşme dereceleri ve oranları hakkında geniş bir veritabanı sunmuştur. Tespitle şu şekildedir aynı bitkilerin farklı kısımlarının metan verimi ve kinetiği farklıdır. Analiz edilen tüm gıda atıklarından elde edilen grafiklere göre metan üretim veriminin %90'ından fazlası 40 – 50 gün arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu oran 0,3 l g^{-1} VS'den daha yüksek olduğu ve bunun da ticari metan üretimi için mükemmel olduğunu göstermektedir [26].

Hayvan gübresinin ve çeşitli substratlar üzerindeki durumu analiz edildiğinde, BMP üretim kinetiği ve verimi çeşitlilik göstermesine rağmen substrat içeriği karbonhidrat ve yağda en yüksek iken, lignoselülozik vb. içeriklerde en az olduğu gözlemlenmiştir. Hayvan gübresinin substrat içeriği birlikte analizi yapıldığında BMP oranının daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Teorik ve deneysel sonuçlar ise %90 oranında benzerlik göstermesine rağmen araştırılmaya devam edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

[27].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1.MALZEME

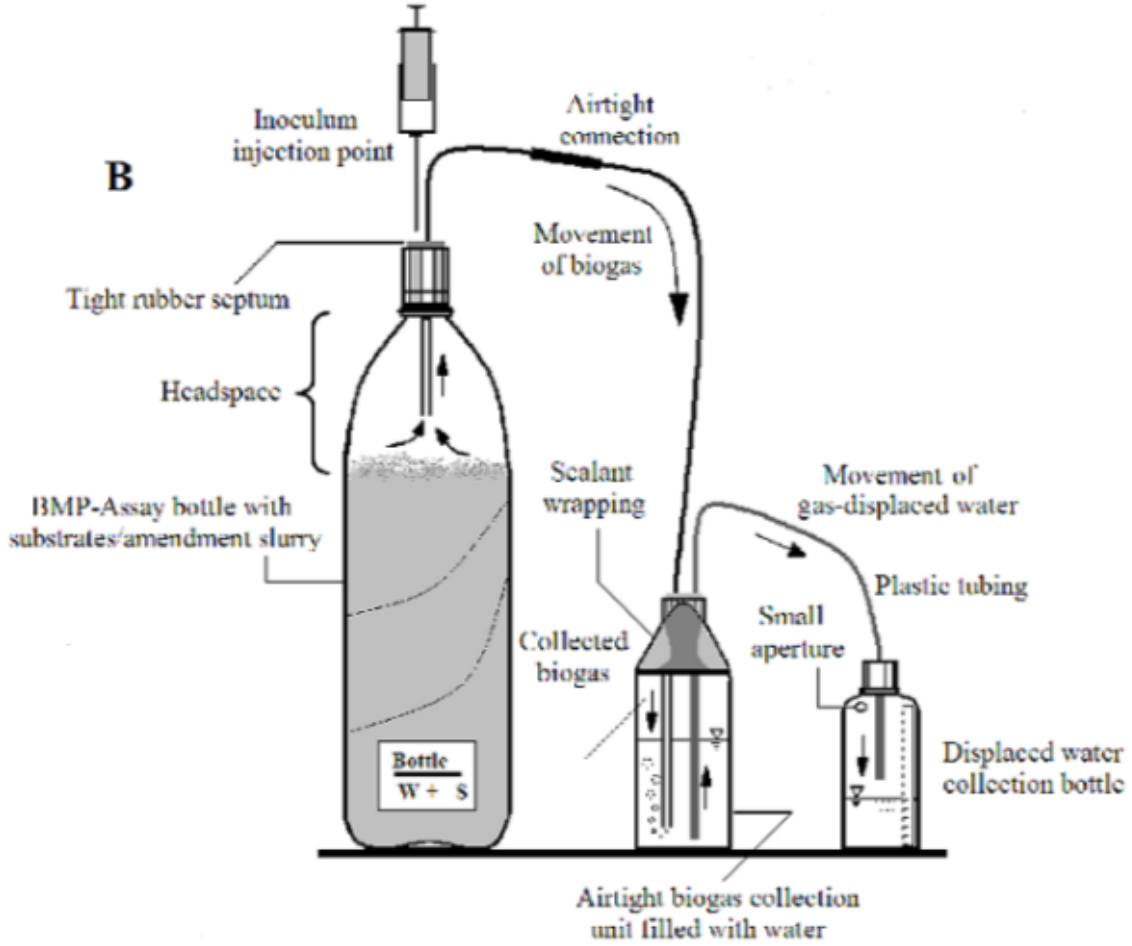
Yapılan bu çalışmamızda da tek kademli anaerobik bir sistem kurulmuştur.

Bu sistemin genel özelliklerinden kabaca bahsetmek gerekirse; tüm biyokimyasal reaksiyonlar eş zamanlı olarak tek bir reaktörün içerisinde gerçekleşmektedirler. Organik katı atıkların kıvamı, tam karışımlı bir reaktörde arıtılabilmeleri için yoğunlaştırılmış çamur kıvamına (rendeleme, ezme, vb. yöntemlerle) getirilmiştir.
Sistemin kurulması için;
- 27 adet 1,5L plastik şişe,
- 12 adet vana,
- Her bir gıda örneğinden 100g (Patates, Havuç, Krema, Kırmızı Et, Tavuk, Armut, Muz, Elma),
- Halkalı Kağıt Fabrikasına ait kazan altı suyu (aşı),
- Plastik Boru,
- Hassas Terazi,
- Termometre kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, literatür de karışım halde tespiti yapılan gıda atıklarının spesifik olarak BMP'lerinin tespit edilmesine yönelik bir çalışmadır.

Bunun için 100g alınan gıda ürünü, 100g aşı ile birlikte 1,5L'lik şişelere alındı. Ardından bu karışıma 1,5L'yi tamamen dolduracak şekilde safsu ile doldurulmuştur. Bu şişe reaktör görevi yapmaktadır. Ardından başka bir 1,5L'lik şişenin tamamını dolduracak şekilde plastik borular ve vanalar vasıtasıyla şişeler olarak bağlandı. Ve son olarak en sona yine plastik bir boru ile 1,5L'lik boş bir şişeye bağlandı. Burada ki amaç cihaz aracılığı ile ölçülen BMP'nin yanı sıra günlük olarak üretilen gazın hacimsel oranlarını da takip etmektir. Çalışma sırasında oda sıcaklığı ortalama 35°C'dir. Bu şekilde kurulan deney düzenekleri 10 gün boyunca gözlemledi. 10 günün sonunda İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Çevre Mühendisliği

Anabilim Dalı Bölümü laboratuarında bulunan ABB marka AO2020 modelindeki gaz analiz cihazı ile birliktirilen gazların içerisinde yer alan CO,CO_2,H_2,CH_4,O_2 değerleri ölçüldü.



Şekil 3.1: Deney Mekanizmasının Genel Görüntüsü [16].



Şekil 3.2: Deney Kurulumuna Ait Genel Görüntüler



Şekil 3.2: Deney Kurulumuna Ait Genel Görüntüler (Devamı)

3.2.TEORİK METAN POTANSİYELİ (BMP_{TEO})

Teorik metan potansiyeli, spesifik organik substratların metan üretiminin tahmin edilmesi amacıyla yaygın olarak kulanılmaktadır. Sıklıkla sistemdeki birim organik madde için, standart sıcaklık ve basınç şartlarında, mL CH_4 üretimi olarak kullanılmakla birlikte giderilen organik madde başına üretilen metan olarak da tanımlanmaktadır.

Genellikle BMPteo , atığın veya maddenin bilinen atomik veya organik fraksiyon bileşimleri dikkate alınarak hesaplanabilmektedir.

• Deneysel elemental analiz ile belirlenen $C_aH_bO_cN_dS_e$ ampirik formülü ile dizayn edilebilmektedir. Buswell denklemi kullanılarak organik maddenin metan ve karbondioksite toplam stokiyometrik dönüşümünün varsayılmasıyla metan verimi hesaplanabilmektedir.

$$B_{0-ThAtC} = \frac{[(a/2)+(b/8)-(c/4)]}{(12a+b+16c)} \quad (3.1)$$

• Bununla birlikte, proteinlerin içerisinden amonyak ve H_2S açığa çıkmaktadır ve Boyle Eşitliği kullanılarak hesaplanabilir.

$$B_{0-ThAtC} = \frac{[(a/2)\ +(b/8)\ -(c/4)-(3d/8)-(e/4)]}{(12a+b+16c+14d+32e)} * 22400 \quad (3.2)$$

• Organik fraksiyon bileşimi (lipitler, proteinler ve karbonhidratlar) biliniyorsa, aşağıdaki genel denklem kullanılarak metan verimi tahmin edilebilir:

$$B_{0-ThOFC} = 415 * \%\text{Karbonhidrat} + 496 * \%\text{Protein} + 1014 * \%\text{Yağ} \quad (3.3)$$

burada farklı fraksiyonlar, organik maddenin analitik kompozisyon ölçümleriyle belirlenmelidir. Bu denklemdeki katsayılar, karbonhidratlar ($C_6H_{10}O_5$), proteinler ($C_5H_7O_2N$) ve lipitler ($C_{57}H_{104}O_6$) için ortalama formülleri temsil eden model bileşiklerin stokiyometrik dönüşümünden elde edilir.

3.3.DENEYSEL METAN POTANSİYELİ (BMP_{EXP})

BMP testinin en büyük dezavantajı, testlerin süresi ve kısa vadeli sonuçlar sağlamadığı gerçeğidir. Bir BMP testi yapmak için gereken zaman nedeniyle, daha önce önerilen yöntemlerden herhangi biriyle metan veriminin tahmin edilip edilmeyeceği daha iyi olacaktır. Bununla birlikte, organik maddelerin gerçek metan potansiyelini doğru bir şekilde kontrol etmek için deneysel deneyler gereklidir.

BMP değeri, örneklerin standart sıcaklık ve basınç koşullarında net metan üretimi ile hesaplanmaktadır. Ayrıca BMP değeri, tam ayrışma süresinde nihai metan verimi veya maksimum değer olarak tanımlanabilmektedir. Anaerobik sistemlerine sıkça uygulanan basit ve kullanışlı bir model olan birinci dereceden kinetik modelin farklı biçimlerinden birinin uygulanmasıyla hesaplanabilir. Bununla birlikte, bu model maksimum biyolojik aktivite ve sistemdeki hata koşullarını öngörmemektedir.

Bu denklem;

$$dS/dt = - k * S \quad (3.4)$$

burada k, birinci derece kinetik sabiti (zaman-1), t ayrışma süresi ve S biyolojik olarak bozunabilir madde konsantrasyonunu ifade etmektedir. S ölçülmesi zor bir parametre olduğu için, gaz ölçümü kullanılarak model elde edilmesi tercih edilir, ki bu tespit edilmesi daha kolaydır:

$$B = Bo * [1 - \exp^{(-k * t)}] \quad (3.5)$$

Burada B kümülatif metan üretimi (mL CH_4 / g VS), B_0 substratın maksimum veya toplam metan üretimi (mL CH_4 / g VS), k, birinci derece kinetik sabiti (zaman^{-1}), t ayrışma süresidir.

Deneysel metan verimlerinin sonuçları, tek fazlı veya çift fazlı eğrilere uyabilmektedir. Bu sistemlerden ilki tercih edilmektedir çünkü yalnızca anaerobik ayrışma sırasında ara bileşiklerin birikimi göz ardı edilebilir olduğunda metan üretimi hidroliz oranı ile ilişkili olabilir. Model genellikle biyobozunmanın kapsamını ve oranını belirlemek için kullanılır.

4. BULGULAR

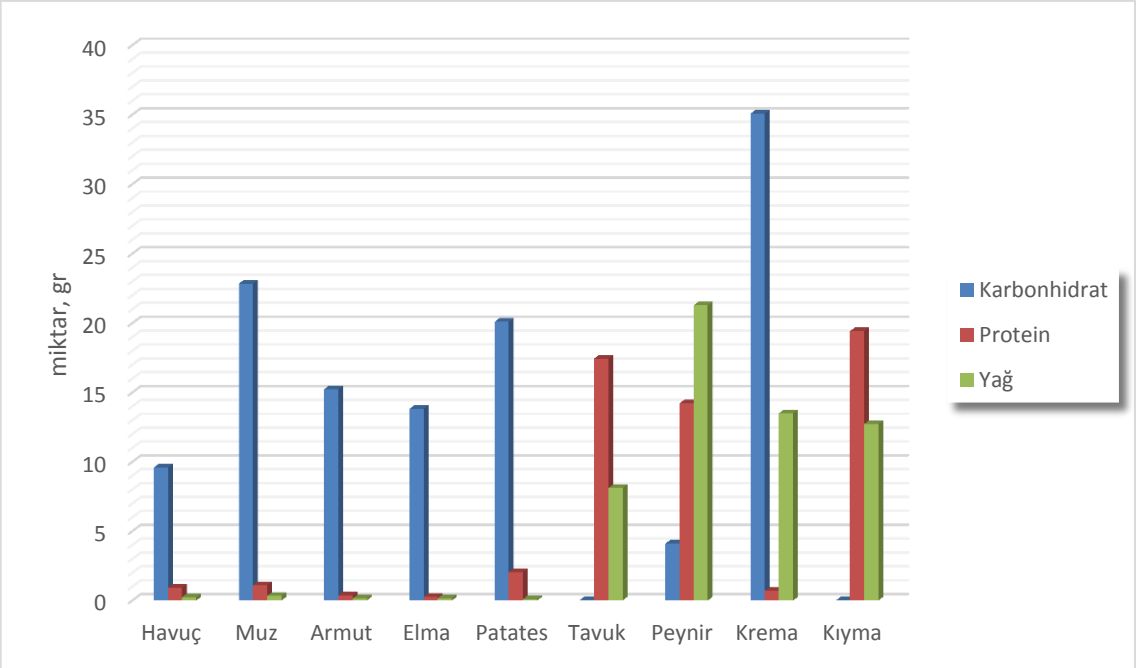
4.1.GIDA ÜRÜNLERİNİN BİLEŞİMİ

Çeşitli Bozunmuş Gıda Ürünlerinin Biyogaz Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi' başlıklı tez çalışmamızda, eşit miktarlarda (100 gr) hazırlanarak aşı çamuru ile sabit sıcaklıkta ayrışmaya bırakılan örneklere ait gaz oluşumu belirlenmiştir. Gıda ürünleri olarak Armut, Muz, Havuç, Patates, Elma ile Tavuk, Kıyma, Peynir ve Krema kullanılmıştır.

Gıda ürünlerine ait bileşen değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Gıda Ürünlerinin Bileşen Değerleri

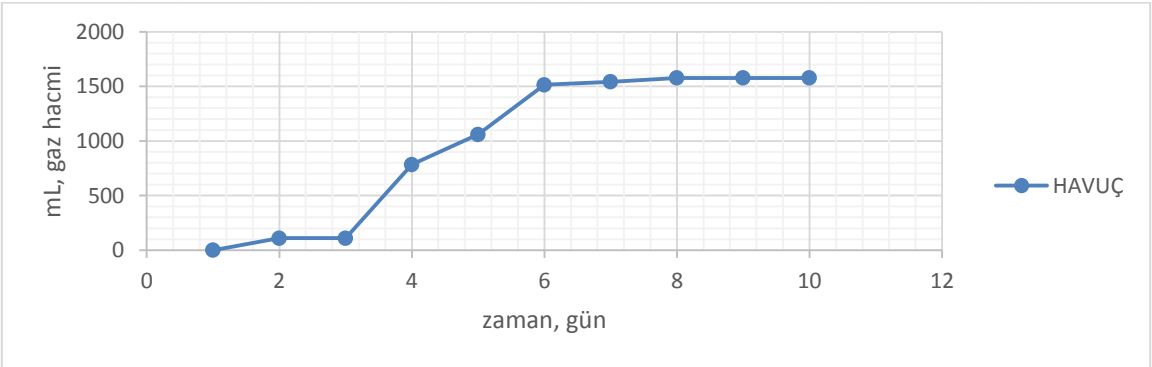
Gıda	Karbonhidrat, gr	Protein, gr	Yağ, gr
Havuç	9,58	0,93	0,24
Muz	22,84	1,09	0,33
Armut	15,23	0,36	0,14
Elma	13,81	0,26	0,17
Patates	20,1	2,05	0,1
Tavuk	0,04	17,44	8,1
Peynir	4,09	14,21	21,28
Krema	35,07	0,69	13,5
Kıyma	0	19,42	12,73



Şekil 4.1: Gıda Ürünlerinin Bileşen Değerleri

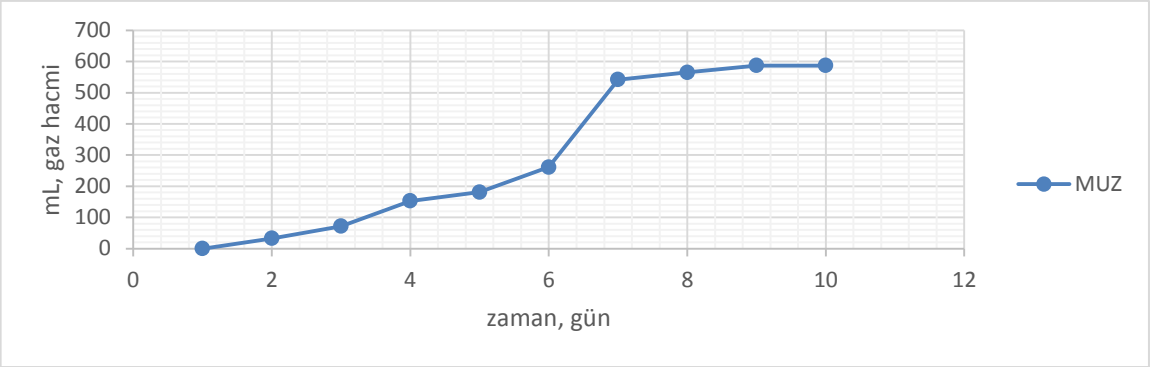
4.2.GIDA ÜRÜNLERİNİN GAZ POTANSİYELİ

Farklı bileşenlere sahip gıda ürünlerinin deneysel olarak inkübasyon süresince oluşan gaz miktarları belirlenmiştir. Şekil 4.2-3-4-5-6-7-8-9-10'da gıda ürünlerinden elde edilen gaz miktarı verilmiştir.



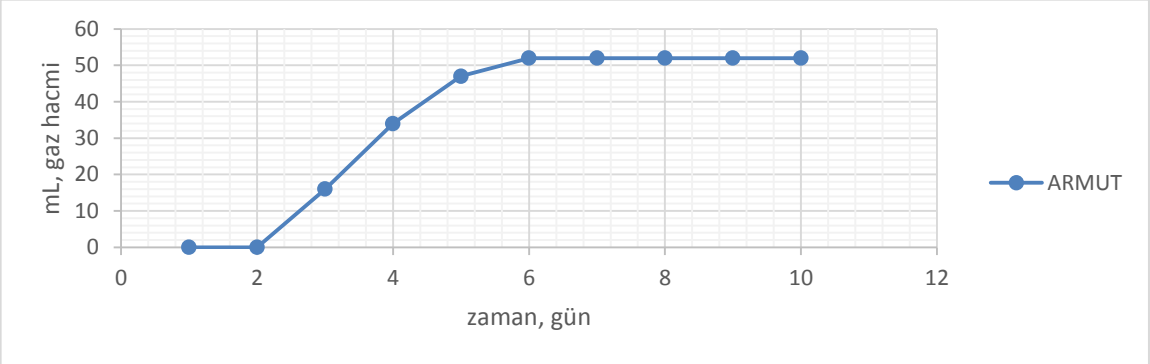
Şekil 4.2: Havuç için Gaz Miktarının Değişimi

Havuç için, deneyin 2. Gününden itibaren artış gösteren gaz hacmi, 10 günlük sürenin sonunda 1577 mL'de dengeye ulaşmıştır.



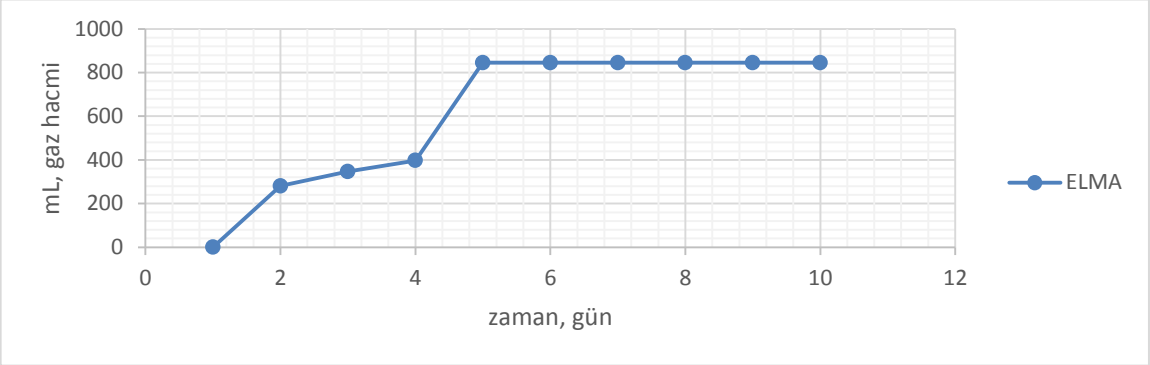
Şekil 4.3: Muz için Gaz Miktarının Değişimi

Muz için, deneyin 2. Gününden itibaren artış gösteren gaz hacmi, 10 günlük sürenin sonunda 587 mL'de dengeye ulaşmıştır.



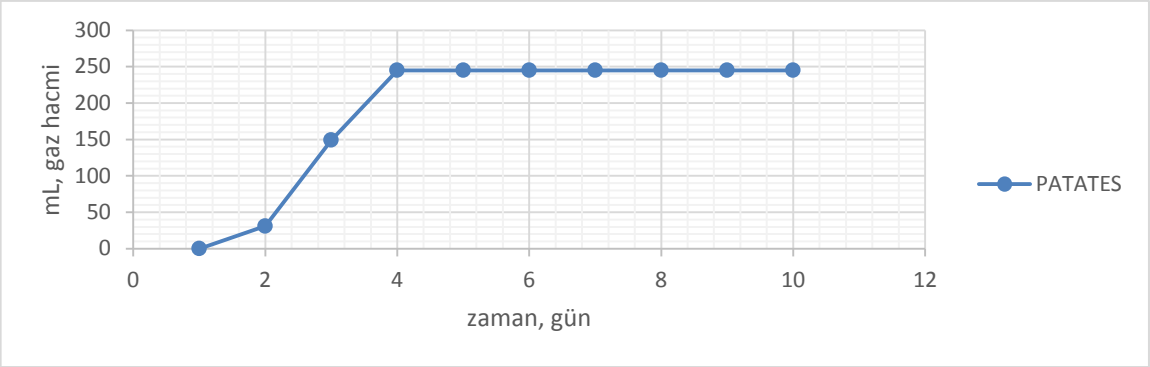
Şekil 4.4: Armut için Gaz Miktarının Değişimi

Armut için, deneyin 3. Gününden itibaren artış gösteren gaz hacmi, 10 günlük sürenin sonunda sadece 52 mL ye ulaşmıştır.



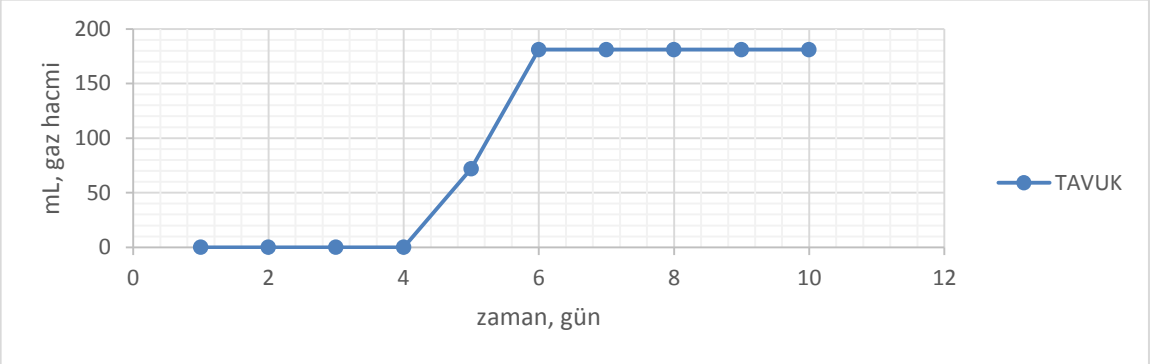
Şekil 4.5: Elma için Gaz Miktarının Değişimi

Elma için ise deneyin 2. gününden itibaren hızla artış gösteren gaz hacmi, 10 günlük sürenin sonunda 845 mL'de dengeye ulaşmıştır.



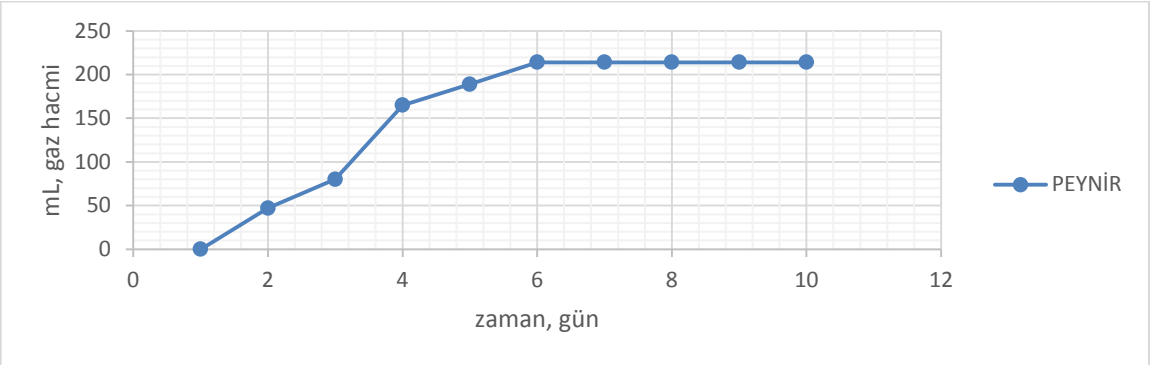
Şekil 4.6: Patates için Gaz Miktarının Değişimi

Patates için, deneyin 2. gününden itibaren artış gösteren gaz hacmi, 10 günlük sürenin sonunda sadece 245 mL ye ulaşmıştır.



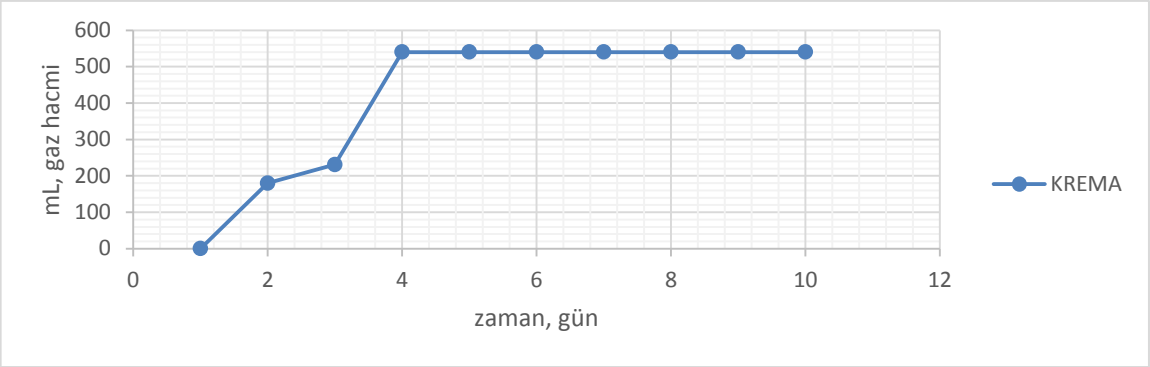
Şekil 4.7: Tavuk için Gaz Miktarının Değişimi

Patatese benzer olarak düşük gaz hacmine sahip Tavuk için, deneyin 5. gününden itibaren artış gösteren gaz hacmi, 10 günlük sürenin sonunda sadece 181 mL ye ulaşmıştır.



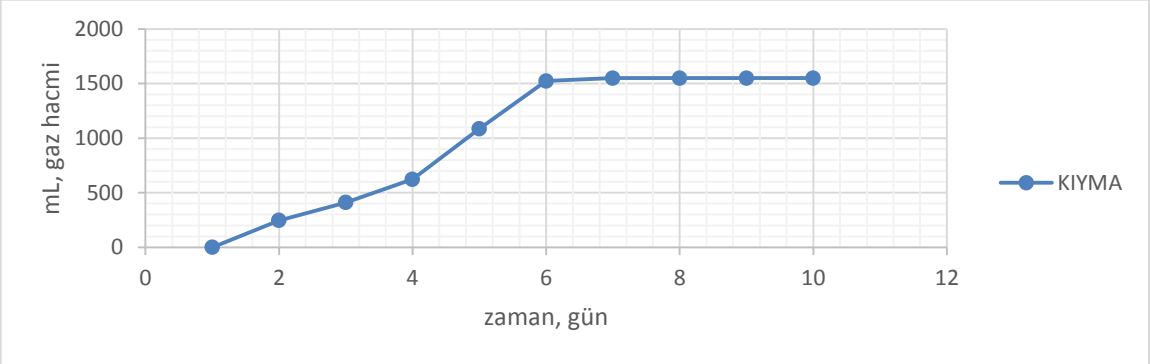
Şekil 4.8: Peynir için Gaz Miktarının Değişimi

Peynir için, deneyin 2. gününden itibaren artış gösteren gaz hacmi, 6 günlük sürenin sonunda 214 mL'de dengeye ulaşmıştır.



Şekil 4.9: Krema için Gaz Miktarının Değişimi

Krema için, deneyin 2. gününden itibaren artış gösteren gaz hacmi, 10 günlük sürenin sonunda 540 mL ye ulaşmıştır ve 4. günden itibaren değişim göstermemiştir.



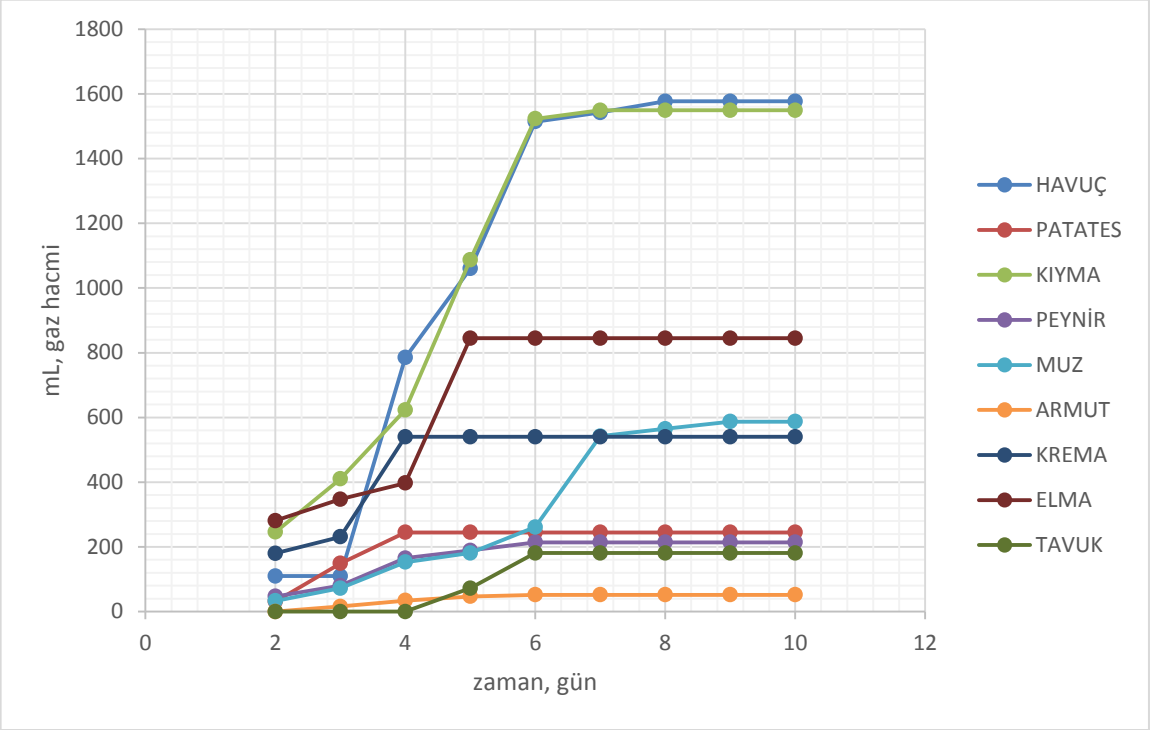
Şekil 4.10: Kıyma için Gaz Miktarının Değişimi

Kıyma için elde edilen gaz miktarı, diğer tüm örneklerden daha yüksek ve havuca benzer olarak 10. günün sonunda 1549 mL'ye ulaşmıştır. Tüm ürünlerin deneysel çalışmalarda belirlenen gaz hacimleri karşılaştırmalı olarak Tablo 4.2 ve Şekil 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.2: Gıda ürünleri için deneysel olarak üretilen gaz hacimleri (mL)

Gün	***Havuç***	***Patates***	***Kıyma***	***Peynir***	***Muz***	***Armut***	***Krema***	***Elma***	***Tavuk***
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	110	31	246	47	33	0	180	281	0
3	110	149	410	80	72	16	231	347	0
4	785	245	623	165	153	34	540	397	0
5	1060	245	1087	189	181	47	540	845	72
6	1514	245	1523	214	261	52	540	845	181
7	1542	245	1549	214	542	52	540	845	181
8	1577	245	1549	214	565	52	540	845	181
9	1577	245	1549	214	587	52	540	845	181

10	1577	245	1549	214	587	52	540	845	181



Şekil 4.11: Gıda Ürünlerinin Gaz Miktarının Karşılaştırılması

Gıda ürünlerinden havuç ve kıyma ile elde edilen gaz hacimlerinin oldukça yüksek, armut, tavuk, peynir ve patates için düşük seviyelerde olduğu görülmüştür.

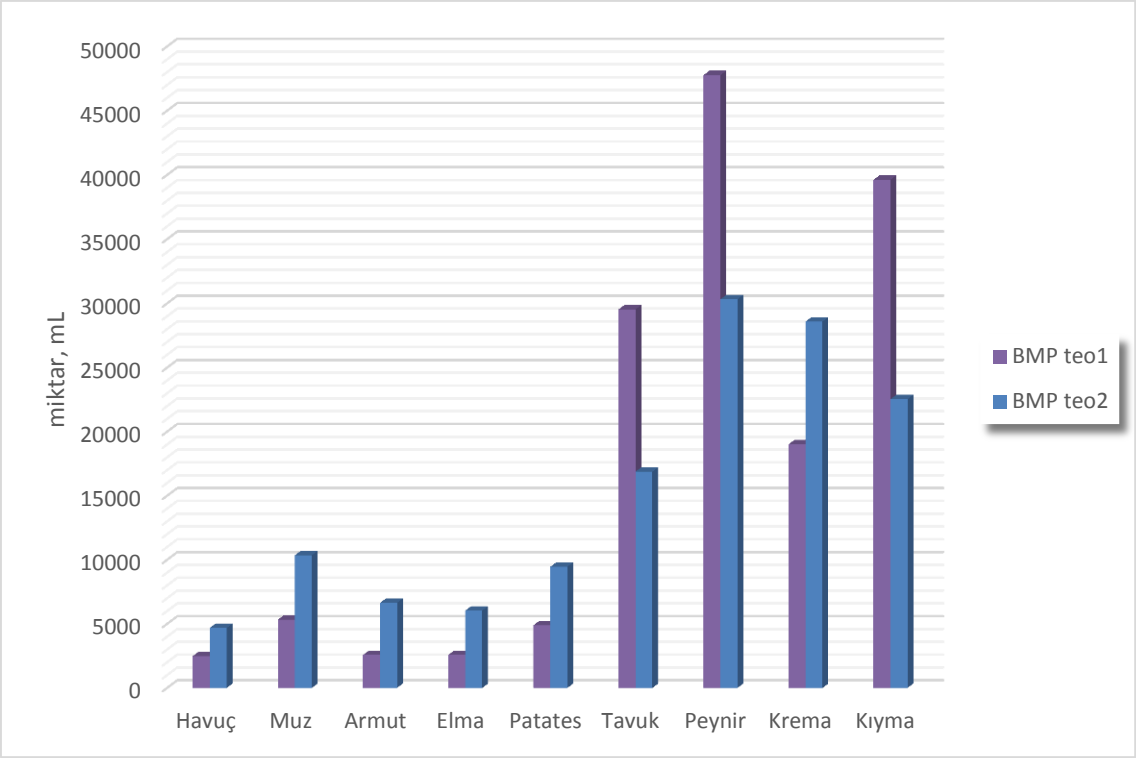
4.3.GIDA ÜRÜNLERİNİN METAN POTANSİYELİ

4.3.1. Teorik Biyolojik Metan Potansiyeli (BMP_{teo})

Gıdaların biyolojik metan potansiyelinin deneysel olarak belirlenmesi, uzun süre gerektirmesi ve deneysel hatalara açık olması nedeniyle, zorluklar taşımaktadır. Bu nedenle teorik biyolojik metan potansiyeli hesaplanması için farklı denklem ve yaklaşımlar önerilmiştir.

Çalışmamızda, deneysel olarak belirlediğimiz biyolojik metan potansiyeli değerleri ile karşılaştırmak amacıyla teorik biyolojik metan potansiyeli değerleri hesaplanmıştır.

$$BMP_{teo} = 415 * \% \text{ Karbonhidrat} + 496 * \% \text{ Protein} + 1014 * \% \text{ Yağ}$$



Şekil 4.12: Gıda Ürünlerinin Gaz Miktarının Karşılaştırılması

Gıda ürünlerinin karbonhidrat, protein ve yağ değerleri dikkate alınarak hesaplanan BMP değerleri Şekil 4.12'de verilmiştir.

4.3.2. Biyolojik Metan Potansiyeli (BMP)

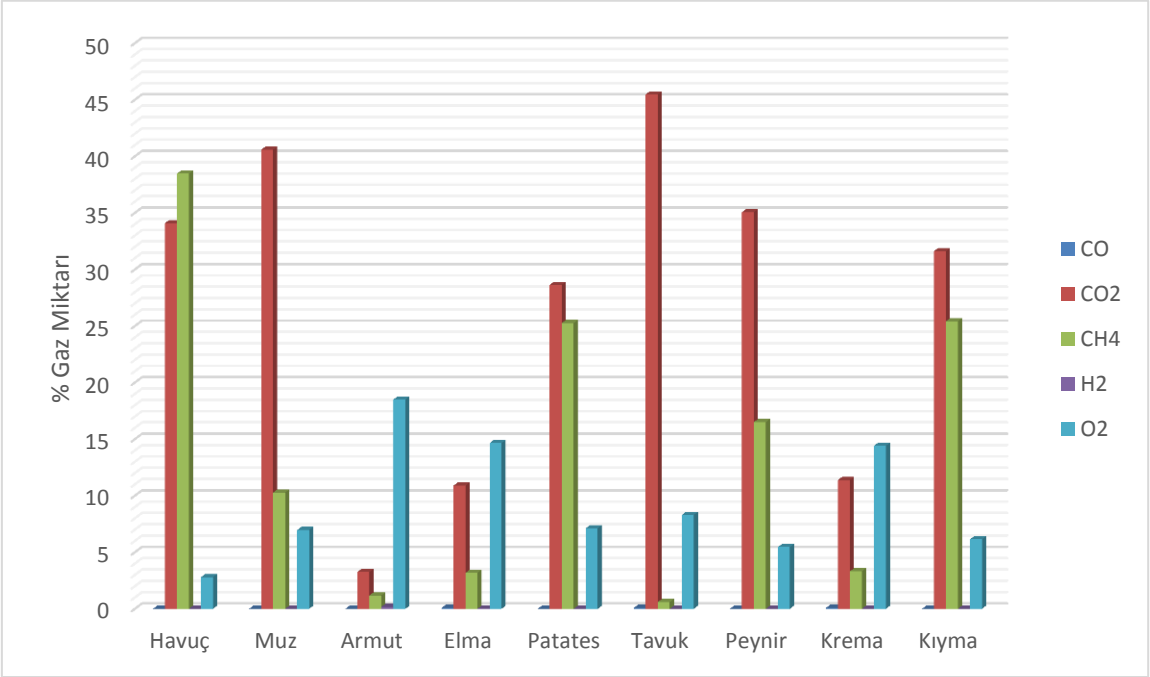
Gıdaların biyolojik metan potansiyelinin deneysel olarak belirlenmesi amacıyla hazırlanan ve aşı çamuru ile birlikte bekletilen örneklerden elde edilen gazların analizi yapılarak Tablo 4.3 ve Şekil 4.13'de verilmiştir.

Gıda ürünlerinin gaz bileşiminin, yoğunlukla CO_2 ve CH_4 gazlarından oluştuğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, gıda ürünlerinden elde edilen CO_2 ve CH_4 miktarının değişimi, Şekil 4.14'de ayrıca verilmiştir.

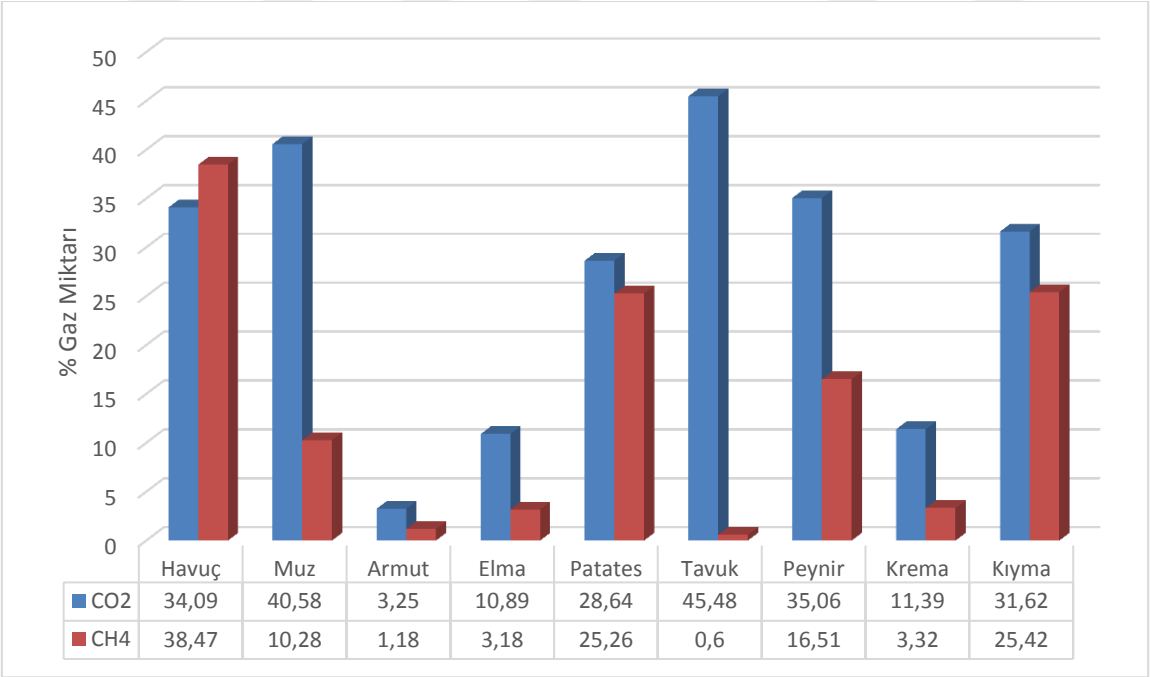
Tablo 4.3: Deneysel olarak elde edilen gazın bileşimi

	CO	**CO_2**	**CH_4**	**H_2**	**O_2**
Havuç	0	34,09	38,5	0	2,8
Muz	0	40,58	10,3	0	6,97
Armut	0	3,25	1,18	0,17	18,5
Elma	0,08	10,89	3,18	0,01	14,65
Patates	0	28,64	25,3	0	7,12
Tavuk	0,08	45,48	0,6	0	8,3

Peynir	0	35,06	16,5	0	5,46
Krema	0,08	11,39	3,32	0	14,41
Kıyma	0	31,62	25,4	0	6,15



Şekil 4.13: Gıda Ürünlerinin Gaz Bileşiminin Karşılaştırılması



Şekil 4.14: Gıda Ürünlerinden Elde Edilen CO_2 ve CH_4 Miktarının Değişimi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çeşitli Gıdaların Biyokimyasal Metan Potansiyelinin belirlendiği deneysel çalışmalarda, gıdaların bileşenleri de dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Kıyma ve Havuç için belirlenen Biyokimyasal Metan Potansiyeli değerleri diğer gıda ürünlerinden oldukça yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte, Elma, Muz ve Armut gibi meyvelerin karbonhidrat değerleri düşük olduğundan, Biyokimyasal Metan Potansiyeli değerleri de düşük bulunmuştur.

Çalışmamızın başlangıç aşamasında, gıdaların biyolojik metan potansiyelinin deneysel olarak belirlenmesi, uzun süre gerektirmesi ve deneysel hatalara açık olması nedeniyle, zorluklar taşımaktadır. Bu nedenle teorik biyolojik metan potansiyeli hesaplanması için farklı denklem ve yaklaşımlar önerilmiştir.

Farklı bileşenlere sahip gıda ürünlerinin deneysel olarak inkübasyon süresince oluşan gaz miktarları da belirlenmiştir.

Havuç için, deneyin 2. Gününden itibaren artış gösteren gaz hacmi, 10 günlük sürenin sonunda 1577 mL'de dengeye ulaşmıştır. Muz için, deneyin 2. Gününden itibaren artış gösteren gaz hacmi, 10 günlük sürenin sonunda 587 mL'de dengeye ulaşmıştır. Armut için, deneyin 3. Gününden itibaren artış gösteren gaz hacmi, 10 günlük sürenin sonunda sadece 52 mL ye ulaşmıştır. Elma için ise deneyin 2. gününden itibaren hızla artış gösteren gaz hacmi, 10 günlük sürenin sonunda 845 mL'de dengeye ulaşmıştır.

Patates için, deneyin 2. gününden itibaren artış gösteren gaz hacmi, 10 günlük sürenin sonunda sadece 245 mL ye ulaşmıştır. Patatese benzer olarak düşük gaz hacmine sahip Tavuk için, deneyin 5. gününden itibaren artış gösteren gaz hacmi, 10 günlük sürenin sonunda sadece 181 mL ye ulaşmıştır.

Peynir için, deneyin 2. gününden itibaren artış gösteren gaz hacmi, 6 günlük sürenin sonunda 214 mL'de dengeye ulaşmıştır. Krema için, deneyin 2. gününden itibaren artış gösteren gaz hacmi, 10 günlük sürenin sonunda 540 mL ye ulaşmıştır ve 4. günden itibaren değişim göstermemiştir. Kıyma için elde edilen gaz miktarı, diğer tüm örneklerden daha yüksek ve havuca benzer olarak 10. günün sonunda 1549 mL'ye ulaşmıştır.

Gıda ürünlerinden havuç ve kıyma ile elde edilen gaz hacimlerinin oldukça yüksek, armut, tavuk, peynir ve patates için düşük seviyelerde olduğu görülmüştür.

Ayrıca literatür de karışık gıda atıklarından yapılan genel BMP çalışmalarına bakıldığında elde edilen sonuçlar farklılık göstermesine rağmen spesifik olarak çalışılan ürünlere oranla daha çok biyometan verimi elde edildiği görünmektedir. Bununla birlikte ileri de yapılacak çalışmalar da hem spesifik olarak çalışılacak gıda atıkları ile hem de deneysel olarak hazırlanacak olan bir karışık gıda atığında çalışılarak karşılaştırılabilinir.

KAYNAKLAR

[1]. Gül, A.,2014, *Sebze ve Meyve Atıklarının Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[2]. Şenol, H., Elibol, E.A., Açıkel Ü., Şenol M., 2017, Biyogaz Üretimi İçin Ankara'nın Başlıca Organik Atık Kaynakları, *BEU Journal of Science*, 6(2), 15-28.

[3]. Yılmaz, F., 2012, *Kentsel Atıksuların Öğütülmüş Mutfak Atıkları İle Birlikte Arıtımı Ve Yenilenebilir Enerji Kazanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[4]. Garan, S., Çelik Dadaşer, F., 2018, Yemek Atıklarından Mezofilik ve Termofilik Şartlarda Metan Gazı Üretim Düzeylerinin Araştırılması, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2):428-432.

[5]. Kasarcı, A.O., 2012, *Yemekhane Ve Hayvan Atıklarından Bioenerji Geri Kazanımı*, Yüksel Lisans Tezi, Fen bilimleri Enstitüsü.

[6]. Akbulut, A., Dikici, A., 2004, Elazığ İlinin Biyogaz Potansiyeli ve Maliyet Analizi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 36-41.

[7]. Korkmaz, Y., Aykanat, S., Çil, A., 2012, Organik Atıklardan Biyogaz Ve Enerji Üretimi, *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi*, 1, 489-497.

[8]. Kapluhan, E., 2014, Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki Ve Türkiye'deki Kullanım Durumu, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 30, 97-125.

[9]. Ulusoy, Y., Ünal H., Alibaş, K., 2009, Bursa İli Karacabey İlçesinde Örnek Bir Biyogaz Tesisinin Kurulabilirliği İçin Tarımsal ve Gıda Artıklarının Enerji Potansiyeli, *25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi,* 01-03 Ekim 2009, Isparta, 109-115.

[10]. Komemoto, K., Lim, Y., Nagao, NY., Niwa, C., Toda, T., 2009, Effect of Temperature on VFA's and Biogas Production in Anaerobic Solubilization of Food Waste, *Elsevier*, 29(11), 2950-2955.

[11].http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_cevrim_tekno.aspx, [Ziyaret Tarihi: Nisan, 2019]

[12]. http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx, [Ziyaret Tarihi: Nisan, 2019]

[13].http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_enerjisi_adv.aspx, [Ziyaret Tarihi: Nisan, 2019]

[14].http://www.tarimsal.com/makaleler/Turkiye_Atiklardan_Enerji_uretimi_ve_biyogaz.htm , [Ziyaret Tarihi: Nisan, 2019]

[15]. http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/tur_or_kay_biyo_pot.aspx, [Ziyaret Tarihi: Nisan, 2019]

[16]. Diabate, S., 2016, *Anaerobic Co-Digestion Of Cow Manure And Oily Waste*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[17]. Kılınç Şahin, S., Bekar, A., 2018, Küresel Bir Sorun "Gıda Atıkları": Otel İşletmelerindeki Boyutları, *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 6(4), 1039-1061.

[18]. Özçiçek Dölekoğlu C., Gün S., Giray H., 2014, Yoksulluk ve Gıda İsrafı Sarmalı, *11. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi,* 3-5 Eylül 2014, Samsun, 1, 172-18.

[19]. Artık, N., Şireli, T., Türkyılmaz, M., Gıda İsrafı, *Açlık Sorunu ve Sürdürülebilir Gıda Projeksiyonları*, Ankara, 111-125.

[20]. Narendra, N., Krishnamurty, N., Sagar, M.B., Gopi, S., 2015, Investigations on improving the biogas production rate and methane content by the use of additives, *International conference on materials and manufacturing technology*, Kasım 2015, Bangalore, Mcgraw Hill Education ISBN(13): 978-93-85880-75-9, 17-224.

[21]. Karagözlü, N., *Dünya Gıda Gününde Sıfır Açlık,* http://gidamuh.cbu.edu.tr/db_images/site_114/file/Dünya%20Gıda%20Günü-Nural%20Karagözlü.pdf, [Ziyaret Tarihi: Mayıs, 2019]

[22]. Özgür, E.M., Nüfus Dinamikleri, Çevre ve Sürdürülebilirlik, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 2017, Ankara, 15 (1), 1- 26.

[23].https://www.eufic.org/tr/food-production/article/food-production-3-3-a-sustainable-food-supply [Ziyaret Tarihi: Nisan, 2019]

[24]. https://www.foodelphi.com/tag/gidalarda-bozulma-tipleri/ [Ziyaret Tarihi: Mayıs, 2019]

[25]. Kiran, E. U., Trzcinski, A. P.,Liu, Y.,Enhancing the hydrolysis and methane production potential of mixed food waste by an effective enzymatic pretreatment, 2015, *Elsevier*, 183, 47-52.

[26]. Gunaseelan, V. N., Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks, Coimbatore, 2004, *Elsevier*, Biomass and Bioenergy, 26, 389–399.

[27]. Rodrigo, A. L., Largus,T. A., Norman, R. S., Biochemical methane potential and biodegradability of complex organic substrates, Newyork, 2011, *Elsevier*, Bioresource Technology, 102, 2255–2264.

[28].http://docs.neu.edu.tr/staff/serdar.susever/8Sebze%20ve%20meyvelerin%20bozulmas_1.89.pdf [Ziyaret Tarihi: Mayıs, 2019]

[29].https://slidex.tips/download/gidalarda-bozulma-tpler-ve-nedenler [Ziyaret Tarihi: Mayıs, 2019]

[30]. Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., Dawson, L.,The anaerobic digestion of solid organic waste, 2011, *Elsevier*, Waste Management, 31, 1737–1744

[31]. Raposo, F., De la Rubia, M. A., Fernandez Cegri, V., Borja, R., Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: An overview relating to methane yields and experimental procedures, 2011, *Elsevier*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 861–877

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Aygün ULUDAĞ
Doğum Yeri	Kırcali
Doğum Tarihi	09.04.1988
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	554 716 9046
E-Posta Adresi	uludagaygun@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Bartın Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Çevre Mühendisliği

Makale ve Bildiriler