

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELMA POSASINDAN BİYOGAZ VE METAN ÜRETİMİNE
TERMAL ÖN ARITIMIN ETKİSİ**

**Tezi Hazırlayan
Fatma VARİNLİ**

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Merve OĞUZ**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ağustos 2010
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELMA POSASINDAN BİYOGAZ VE METAN ÜRETİMİNE
TERMAL ÖN ARITIMIN ETKİSİ**

**Tezi Hazırlayan
Fatma VARİNLİ**

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Merve OĞUZ**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
Tarafından FBY-10-3096 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Ağustos 2010
KAYSERİ**

KABUL VE ONAY

Yrd. Doç. Dr. Merve OĞUZ danışmanlığında Fatma VARİNLİ tarafından hazırlanan "Elma Posasından Biyogaz ve Metan Üretimine Termal Ön Arıtımın Etkisi" adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

24.08.2019

JÜRİ:

Başkanı Doç. Dr. Yalçın Şekil YILMAZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Merve OĞUZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Özgür ÇİZKİ

ONAY:

Bu teze bakan, Fatma Varinli tarafından 34 sayfa ve 2 adet ek ile hazırlanan bu çalışmaya,

Erciyes Üniversitesi



Prof. Dr. Nazmiye KARASLI

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bana yardımcı olup, desteğini esirgemeyen, zamanını ayıran, görüşlerimi dikkate alan tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Merve OĞUZ'a,

Verdiği bilgi ve emeklerinden dolayı, çalışmam boyunca karşılaştığım problemlere çözüm bulan ve yol gösteren Aalborg Üniversitesi öğretim üyesi Doç. Dr. Tjalfe G. POULSEN'e,

Laboratuvar çalışmalarım boyunca yardımlarından dolayı Aalborg Üniversitesi labotatuvar sorumlusu Helle Blendstrup'a,

Hayatımın her devresinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme,
Ayrıca iş arkadaşlarıma ve bölümümüz öğretim üyelerine,

En içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Fatma VARİNLİ

ELMA POSASINDAN BİYOGAZ VE METAN ÜRETİMİNE TERMAL ÖN ARITIMIN ETKİSİ

Fatma VARİNLİ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2010

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Merve OĞUZ

ÖZET

Dünya'daki nüfus artışına paralel olarak enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtlardan enerji üretimi gerek çevresel etkileri gerekse fosil kaynaklı yakıt rezervlerinin azalması sebebiyle modern toplumu yeni enerji kaynakları araştırmaya yöneltmektedir. Yeni ve yenilenebilir enerji teknolojileri uygulamaları dünya üzerinde yaygın hale gelmektedir. Biyokütle enerjisi bunun için etkili ve verimli bir çözümdür. Biyolojik olarak ayrışabilen materyallerin anaerobik reaksiyonlar sonucunda yanabilir metan gazı içeren biyogaza dönüştürülmesi bu konudaki enerji üretim yöntemlerinden biridir. Bu çalışmada, elma posasından maksimum biyogaz üretilmesi için optimum termal ön arıtım sıcaklığı belirlenmiş ve termal ön arıtım sıcaklığının fonksiyonu olarak metan üretim potansiyeli değerlendirilmiştir. Termal ön arıtım 25°C, 50°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 150°C ve 170°C olmak üzere on bir değişik sıcaklıkta uygulanmıştır. Bütün örnekler biyogaz ve metan üretimi yönünden ön arıtım yapılmamış örneklerle mukayese edilmişlerdir. Bu çalışma kapsamında 42 gün boyunca işletilen reaktörlerde ölçümler yapılmış ve periyodik aralıklarla alınan gaz numunelerinin biyogaz içeriği gaz kromatografi vasıtasıyla belirlenmiştir. En yüksek biyogaz üretimi 150°C sıcaklıkta ve en düşük gaz üretimi de 110°C sıcaklıkla ön arıtım uygulanan örneklerden elde edilmiştir. Termal ön arıtım uygulanmış bütün numuneler, termal ön arıtım uygulanmayan numuneden daha fazla gaz üretimi sergilemiştir. Çürütme prosesinden elde edilen biyogazın maksimum metan içeriği %50 civarındadır. Yapılan deneysel çalışmalar, termal ön arıtımın elma posasından biyogaz ve metan üretimini olumlu etkilediğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Elma posası, biyogaz üretimi, metan, termal ön arıtım.

**THE EFFECT OF THE THERMAL PRE-TREATMENT ON BIOGAS AND
METHANE PRODUCTION FROM APPLE PULP**

Fatma VARINLI

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, August 2010

Thesis Supervisor: Assist.Prof.Dr. Merve OGUZ

ABSTRACT

Because of the population growth, World's energy demand increase day by day. Energy production from fossil originated sources due to their environmental impact and reduction has lead the modern community to search for new energy sources. Production of biogas which includes flammable methane gas from biodegradable organic materials is one of the ways to produce energy. New and renewable energy technologies have become common worldwide and therefore, the biomass energy has become more attractive and an effective solution. In this study, identification of the optimal pretreatment temperature for dewatered apple pulp for maximum biogas production and assessment of the methane production potential as a function of pretreatment temperature were evaluated. The thermal pre-treatment applied for eleven different temperatures (25°C, 50°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 150°C and 170°C). All samples were compared with the untreated sample. The measurements were taken the duration of 42 days. The biogas composition analysis was carried out using a gas chromatography. The highest biogas production was observed for the sample pretreated at 150°C. The lowest biogas production was observed at 110°C. All of the treated samples showed higher biogas production than the untreated sample. The maximum methane composition in the biogas was observed to be around 50% throughout the entire digestion period. All pretreated samples have demonstrated high biogas production compared to the untreated one. According to the experimental studies, the thermal pre-treatment positively affects the biogas production from the apple pulp.

Keywords: Apple pulp, biogas production, methane, thermal pretreatment.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
1. BÖLÜM	
GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. BÖLÜM	
GENEL BİLGİLER	4
2.1. Biyogaz üretimi ve üretim optimizasyonu	4
2.2. Literatürde elma posası	5
2.3. Anaerobik Arıtım	7
2.3.1. Proses Mikrobiyolojisi	9
2.3.2. CO ₂ 'den CH ₄ üretiminin biyokimyası.....	15
2.3.3. Metil Bileşiklerinden ve Asetattan Metan Üretimi	16
2.4. Anaerobik çürütmenin avantajları	18
2.5. Anaerobik çürütmenin dezavantajları.....	18
2.6. Anaerobik Arıtmanın Verimini Etkileyen Çevresel Faktörler	19
2.7. Parametreler ve Proses Optimizasyonu	19
2.7.1. Besinler.....	19
2.7.2. pH	20
2.7.3. Sıcaklık.....	20
2.7.4. Toksisite	21
2.7.5. C/N Oranı	22
3. BÖLÜM	
MATERYAL VE METOD	24
3.1. Kullanılan Materyal.....	24
3.2. Ön-arıtma.....	25

3.2.1.	Termal ön-arıtım.....	25
3.3.	Kuru madde ve uçucu katı madde (Vs) içeriği.....	26
3.4.	Biyogaz Üretimi	27
4. BÖLÜM		
	BULGULAR.....	29
4.1.	Biyogaz üretimi	29
4.2.	Termal ön arıtım	29
4.3.	Elma posasının biyogaz potansiyeli	30
4.4.	Biyogaz Kompozisyonu	30
4.5.	Metan üretimi	31
5.BÖLÜM		
	TARTIŞMA	34
	KAYNAKLAR	36
	EKLER	40
	ÖZGEÇMİŞ	44

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Danimarka'daki biyogaz tesisleri ve üretim miktarları	3
Tablo 2.1.	Elma posasının fiziksel ve kimyasal içeriği	6
Tablo 2.2.	Bazı bakteri türleri ve besin kaynakları	15
Tablo 2.3.	Anaerobik biyo indirgenme işleminin gerçekleşebileceği toksik materyal konsantrasyonları	23
Tablo 2.4.	Anaerobik mikroorganizmalar için optimum koşullar	23
Tablo 4.1.	Deney sonunda elde edilen kümülatif biyogaz üretim değerleri	29
Tablo 4.2.	Deney süresi sonunda elde edilen metan kümülatif üretim değerleri	31

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Anaerobik biyoteknolojinin atık arıtımındaki yeri	9
Şekil 2.2. Biyogaz üretiminin üç adımı	10
Şekil 2.3. Kompleks organik maddelerin çözünmüş organik bileşiklere dönüşümü	12
Şekil 2.4. Anaerobik arıtımda metan üretim yolu	14
Şekil 2.5. CO ₂ 'den metan üretim yolu	16
Şekil 2.6. Asetil CoA reaksiyonunun metan üreten bakteriler tarafından metanolün büyümesindeki rolü	17
Şekil 3.1. Elma posası	25
Şekil 3.2. (a) Monte edilmiş basınçlı reaktör, (b) Sökülmüş basınçlı reaktör.....	26
Şekil 3.3. (a) 55°C'de saklanan şişeler, (b) Biyogaz ölçümü.....	27
Şekil 4.1. Termal ön arıtım uygulanmış ve ön arıtım uygulanmamış örnekler için biyogaz üretimi	30
Şekil 4.2. Deney süresince metan yüzdelerindeki değişimler.....	31
Şekil 4.3. Her bir elma posası örneği için kümülatif metan üretimi.	32
Şekil 4.4. Aşı çamuru için kümülatif ve günlük biyogaz üretim miktarı	33

1. BÖLÜM

GİRİŞ ve AMAÇ

Hızlı sanayileşme ve nüfus artışı tüm dünyada enerji ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Enerji ihtiyacının artması ile birlikte fosil kökenli yakıtların azalması, yenilenebilir enerji kaynaklarından yakıt üretimi için çaba sarf edilmesi gereğini ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan araştırmalar daha da önem kazanmaktadır.

Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları rüzgâr, hidro, dalga, jeotermal enerji ve biyokütle olup bu enerji kaynakları dünyada birincil enerji tüketiminin yaklaşık %14'üne, bunlardan sadece biyokütle ise yaklaşık olarak % 10'una katkı sağlamaktadır[1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyogaz, organik madde içeren ve bakterilerle ayrışabilen biyokütlenin anaerobik sindirimi ile üretilen gazdır. Biyogazın içeriğindeki metan yanıcı bir gazdır. Bu nedenle oluşan metanın yakılmasıyla yenilenebilir formda enerji elde edilir.

Son yıllarda, yüksek su içerikli atıkların anaerobik arıtılabilirliği yüksek performans, düşük maliyet, enerji çıkışı gibi avantajlarından dolayı artış göstermiştir. Özellikle, endüstriyel ve evsel atıksuların, hayvan gübresi ve katı atıkların arıtımında anaerobik arıtım uygulamaları yaygın hale gelmiştir[1].

Yaygın olarak kullanılan diğer atık ve atıksu yöntemleri, anaerobik arıtma yöntemiyle karşılaştırıldığında anaerobik arıtım daha az enerji ve besin kaynağı gerektirir. Ayrıca

anaerobik sistemlerde düşük işletme maliyeti ile ısı ve elektrik enerjisi için kullanılabilir formda metan gazı elde etme imkânı sağlanmaktadır.

Anaerobik arıtmadan elde edilen metan gazı buhar üretimi için biyogaz olarak kazanlarda, elektrik üretimi için gaz motorlarında yakılabilir veya araç yakıtı olarak direk kullanılabilir.

Organik maddelerin çürümesi sonucunda metan oluştuğu 18. yüzyıldan beri bilinmektedir. 19. yüzyılın ortalarında ise bu ayrışma esnasında bakterilerin rol oynadığı ortaya konulmuştur. Biyogazın gelişimi 1881 yılı başlarında gerçekleşmiştir. Biyogaz teknolojisinin gelişimine katkıda bulunan ve ilk uygulamalarının yapıldığı ülkelerden biri Danimarka'dır. Merkezi biyogaz tesisleri kavramı ise Danimarka'da 1987'den beri geliştirilmiştir. Şu anda Danimarka'da 20'den fazla biyogaz tesisi bulunmakta ve biyogaz üretimi yılda 2,4 PJ'dür. Danimarka düşük nüfusa sahip olması gibi nedenlerden dolayı biyogaz tesislerinin teknolojik gelişmelere uyum sağlaması ile birlikte tesis sayısı 1998'den günümüze değişim göstermemiştir. Danimarka'daki biyogaz tesisleri ve üretim miktarları Tablo 1.1' de gösterilmiştir. Tesislerin biyogaz dönüştürme kapasiteleri günde 25 ila 500 ton arasında değişir. Tesislerin çoğunda hayvansal gübre veya arıtma çamuru hatta farklı tipteki endüstriyel katı atıkları karıştırılabilir [2].

Üretilen biyogaz miktarı günde yaklaşık 1.000 m^3 ve 15.000 m^3 değerleri arasında tesis boyutuna ve materyal girişine bağlı olarak değişir. Danimarka'da yaklaşık %80 gübre, çamur ağırlıklı, %20 organik içerikli mezbaha atıkları, ayrıca gıda endüstrisi ve belediye atık çamurları ile ön çürütme yapılır [3].

Tablo 1.1. Danimarka'daki biyogaz tesisleri ve üretim miktarları [2].

Biyogaz tesis çeşitleri	Tesis Sayısı	Elektrik üretimi TWh/yıl	Enerji Üretimi PJ
Atıksu arıtma tesisleri	64	0,18	0,680
Deponi sahaları	10	0,17	0,622
Endüstriyel atıksu arıtma tesisleri	5	0,04	0,150
Merkezi biyogaz tesisleri, ön çürütme	20	0,26	0,941
Çiftlik ölçekli tesisleri	20	0,01	0,032
Toplam:	119	0,66	2,425

Türkiye'deki anaerobik biyoteknoloji uygulamaları ise ilk kez 1980'li yılların başında ortaya çıkmıştır. İşletmeye alınmış yaklaşık 48 tesis olduğu bilinmekte ve bu tesislerin büyük bir kısmını da gıda sektörü oluşturmaktadır [4]. Gıda sektöründeki anaerobik uygulamaları çöp sızıntı suyu arıtması, kimya, selüloz, kâğıt ve tekstil takip etmektedir. Ancak ülkemizde mevcut maddi imkânsızlıklar ve diğer olumsuz faktörlerden dolayı gereken önem verilememektedir. Anaerobik proses uygulamalarından biri olan biyogaz üretimi, ilk yatırım maliyetini karşılayan ve pahalı olmayan sistem olması nedeniyle önemle üzerinde durulması gereken temiz enerji kaynaklarından biridir. Bu nedenle 2004 yılında önceliğin tavuk çiftliklerinde olmak üzere diğer büyükbaş ve küçükbaş hayvan çiftliklerinin de bu konuya önem verecekleri öngörülmektedir. 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı kapsamında 2005 yılında 15 GWh fiili biyogaz üretimi öngörülmüştür. Yapılan çeşitli değerlendirmelerde Türkiye biyogaz potansiyeli 2.5-4.0 Milyar m³ (Yaklaşık 25 Milyon kWh) olarak belirtilmektedir [5].

Türkiye'deki nüfus yoğunluğu ve endüstriyel gelişme dikkate alındığında, oluşan atıkların ekosisteme zararlı etkilerini en aza indirerek alternatif temiz enerji kaynaklarını elde etme gereği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, elma posasından maksimum biyogaz üretimi için optimum ön arıtım sıcaklığını belirlemek ve termal ön arıtımın fonksiyonu olarak metan üretim potansiyelini belirlemektir. Bu çalışmada öncelikle farklı sıcaklıklarda ön arıtım yapılmış ve elma posası daha sonra metan ağırlıklı olarak biyogaz üretmek için anaerobik arıtıma tabi tutulmuştur.

2.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

2.1. Biyogaz üretimi ve üretim optimizasyonu

Biyogaz, karbondioksit (CO_2) ve yanıcı bir gaz olan metanın (CH_4) organik maddelerle anaerobik ortamda reaksiyona girmesiyle oluşan bir gazdır. Biyogaz, hacimsel olarak %55-70 CH_4 , %27-44 CO_2 , %1-2 azot (N_2) ve atıksudaki kükürt derişimine bağı olarak hidrojen sülfür (H_2S) içerir. Biyokütle üretiminin en genel kategorileri; sebze ve meyve atıkları, hayvan gübresi, çamur, gıda endüstrisinden kaynaklanan çürütülebilir organik atıklar, evsel atıkların organik fraksiyonları, gıda kalıntıları ve atık çamur şeklinde sıralanabilir [6].

Biyogaz, atık depolama, arıtma çamuru ve biyo-atık çürütücüleri gibi farklı ortamlarda üretilmektedir. Özellikle yüksek su içerikli organik katı atıkların enerjiye dönüştürülmesinde anaerobik arıtım etkili bir prosestir. Anaerobik arıtma ile besi atığındaki karbonükleik maddenin biyogaza dönüştürülmesiyle çıkışta oluşan çürütülmüş çamur, tarımsal alanlarda gübre olarak kullanım için uygun formdadır [7].

Son zamanlarda, anaerobik arıtım yöntemiyle meyve ve sebze atıklarından biyogaz eldesi gündeme gelmiştir [8]. Bu çalışmada ise bunlara örnek teşkil eden elma posası atıkları kullanılmıştır. Elma şarabı üretimi prosesinden oluşan elma posası atıkları üreticiler tarafından genellikle yem ve gübre olarak kullanılmaktadır. Bu oluşan atık madde oldukça düşük protein ve yüksek miktarda şeker içeriğı ile zayıf hayvan yemi ekidir. Bazı şarap üreticileri gübre olarak elde edilen bu atıkların yenilenebilir enerji eldesinde yeniden kullanımı için elma posasının diğ er şirketlere satış olanaklarını keşfetmişlerdir [8]. Elma şarabı kullanımı son yıllarda Avrupa çapında çok yaygın hale

gelmiştir. Batı ülkelerinden İngiltere, Fransa ve Kuzey İspanya’da elma şarabı ilgi odağı haline gelmiştir. Bununla paralel olarak Avrupa’da elma kültürünün ve elma şarabının kullanımının yaygın olması elma şarabı üretimini artırmıştır [9]. Üretim artışına bağlı olarak mikrobiyal kolay indirgenme eğiliminde olan elma atıklarının bertarafı giderek artan bir problem haline gelmektedir, bu sebeple daha fazla üretim sınırlanmaktadır [9]. Elma posasının anaerobik arıtımı kolayca indirgenebilen atıklar olması sebebiyle anaerobik prosesin uygulaması avantajlıdır.

Türkiye’de ise elma şarabı üretimi yapılmamaktadır. Ancak Türkiye’nin değişik yerlerinde faaliyet gösteren meyve suyu fabrikalarından önemli miktarlarda elma posalarının atık olarak geri kaldığı bilinmektedir. Faaliyet gösteren bu tesislerden yaklaşık 100 bin ton elma posası atığı olduğu bildirilmektedir [10]. Oluşan bu elma posası atıkları pektin üretimi dışında zayıf bir hayvan yemi eki olmasına rağmen hayvan beslemede kullanılmaktadır.

2.2. Literatürde elma posası

Elma, insanlığın bilinen ve yaygın olarak dünyanın ılıman bölgelerinde yetiştirilen en eski meyvedir. Meyve suyu konsantresi, reçel, jöle, şarap, elma şarabı, vermut vb. pek çok ürünler elmadan elde edilir. Ancak bu üretim sırasında bir miktar atık olarak oluşan elma posası eğimli alanlarda kontrol edilmesi zor olan ve bundan dolayı çevresel problemlere yol açan meyve suyu ekstraksiyonunun yan ürünlerinden biridir. Bu tip besince zengin atıklar nehre deşarj edildiklerinde problemlere yol açarlar. Eğer doğru şekilde kontrol edilmezlerse, biyolojik olarak indirgenebilen zengin besin ve organik madde kaynakları ekosistemi etkiler ve kötü kokuya neden olurlar. Bu nedenle, etkin ve ekonomik çevre kirliliğini önlemek ve kâr elde etmek için elma posasının değerlendirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır [11]. Elma posasının fermantasyonu ile sitrik asit, etanol, pigment, mantar toprağı, basit hücre proteinleri gibi birçok ürün elde edilmiştir [12]. Tablo 2.1’de elma posasının fiziksel ve kimyasal içeriğı gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Elma posasının fiziksel ve kimyasal içeriği [12].

Kompozisyon	Albuquerque (2003)	Hang ve Woodams (1987)	Jin vd. (2002)	Joshi ve Shandu (1996)	Villas - Boas ve Esposito (2000)
Nem (%)	79.2	75.6		3.97	80
Protein (%)	3.7	5.1	4.7	5.8	4.1
Lipidler (%)	ö.a.	4.2	4.2	3.9	ö.a.
Fiberler (%)	38.2	4.3-10.5	ö.a.	14.7	40.3
Kül (%)	3.5	2.8	1.5	1.82	2.0
Karbohidratlar (%)	59.8	9.5-22	83.8	48	ö.a.
İndirgenen şekerler (%)	10.8	5.7	ö.a.	ö.a.	15
Pektin (%)	7.7	1.5-2.5	ö.a.	ö.a.	5.5
Ph	4.0	ö.a.	ö.a.	4.2	ö.a.
Titre edilebilir Asidite (%)	0.13	ö.a.	ö.a.	2.6	ö.a.
Su aktivitesi	0.973	ö.a.	ö.a.	ö.a.	ö.a.

ö.a., ölçüm aralığının altında.

Meyve atıklarının anaerobik çürütülmesindeki bakterilerin strese girmesine veya inhibisyonuna sebep olan ana sınırlayıcı faktör, bu atıkların hızlı asidifikasyonun reaktördeki pH'ı ve büyük miktardaki uçucu yağ asidi üretimidir. Meyve endüstrisi atıklarının anaerobik çürütülmesi sonucunda oluşan organik kalıntı düşük protein ve yüksek şeker içeriği nedeniyle zayıf bir hayvan yemi ekidir [13].

Bu çalışmada ele alınan anaerobik çürütme prosesiyle biyogaz eldesi konusuyla benzerlik gösteren çalışmalar incelenmiştir. Örneğin, Coalla ve arkadaşları (2009), mezbaaha atıklarını ana substrat kaynağı ve elma hamurunu yan substrat kaynağı olarak kullanmışlar, pH=8 ve mezofilik koşullarda gramda 100 ml biyogaz elde etmişlerdir. CH₄ ve H₂S değerlerini sırasıyla %80 ve 400 ppm bulmuşlar ve kullanılan materyalin biyogaz üretiminde etkili bir hammadde olduğu sonucuna varmışlardır [14].

Visvanat ve arkadaşları (1992), yaptıkları çalışmada farklı meyve atıklarında ortalama biyogaz üretiminin 0.6 m³/kgVS ve metan içeriğinin %51-53 olduğunu bulmuşlardır. Maksimum biyogaz üretimini deneyin ilk 12 günü boyunca gözlemlemişlerdir. Oluşan organik atıkların ıslak olması koku problemiyle beraber ciddi çevresel ve ekonomik sorunları da beraberinde getirmektedir. Çeşitli işlemler için kullanılan enerjinin bir

miktarını biyogaza dönüştürmek ve elde edilen enerjinin tesis işletimi için uygun olacağı kanısına varmışlardır [15].

Literatür incelendiğinde hayvan atık ve kalıntılarından anaerobik arıtma yöntemiyle yenilenebilir enerji elde edilmesi üzerine çok sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir[16, 17, 18]. Ancak, tarım ve gıda sektörü atıklarının anaerobik arıtımı üzerine çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır [19, 20, 21, 22]. Ayrıca bazı çalışmalarda substrat kaynağı (hayvansal ve tarımsal atıkları) olarak birden fazla atık biyogaz eldesi için kullanılmıştır [23, 24, 25, 26, 27, 28]. Ayrıca anaerobik arıtma prosesiyle enerji eldesi üzerine bitki atıkları da çeşitli çalışmalarda materyal olarak kullanılmıştır [29, 30, 31].

Konserve ve meyve suyu endüstrisinden kaynaklanan atıklar organik içerikleri sebebiyle anaerobik çürütme işlemi ile biyogaz üretimine elverişlidir. Elma atıklarından enerji eldesi için hammadde biyogaz üretimi için kullanılmıştır. Dünyada elma üretimi son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Elma posası elma ekstraksiyon işlemi sonucunda kalan katı materyaldir. Elma posası yüksek su içeriğinin yanı sıra ana olarak selüloz hemiselüloz ve lignin gibi çözünemeyen karbonhidratlar içermektedir. Elma posasında glikoz gibi basit şekerler, fruktoz ve sakaroz gibi mineraller, proteinler ve polifenoller bulunur. Selüloz kimyasal ön arıtım olmadan anaerobik koşullar altında enzimatik olarak glikoza hidrolize olamaz [9].

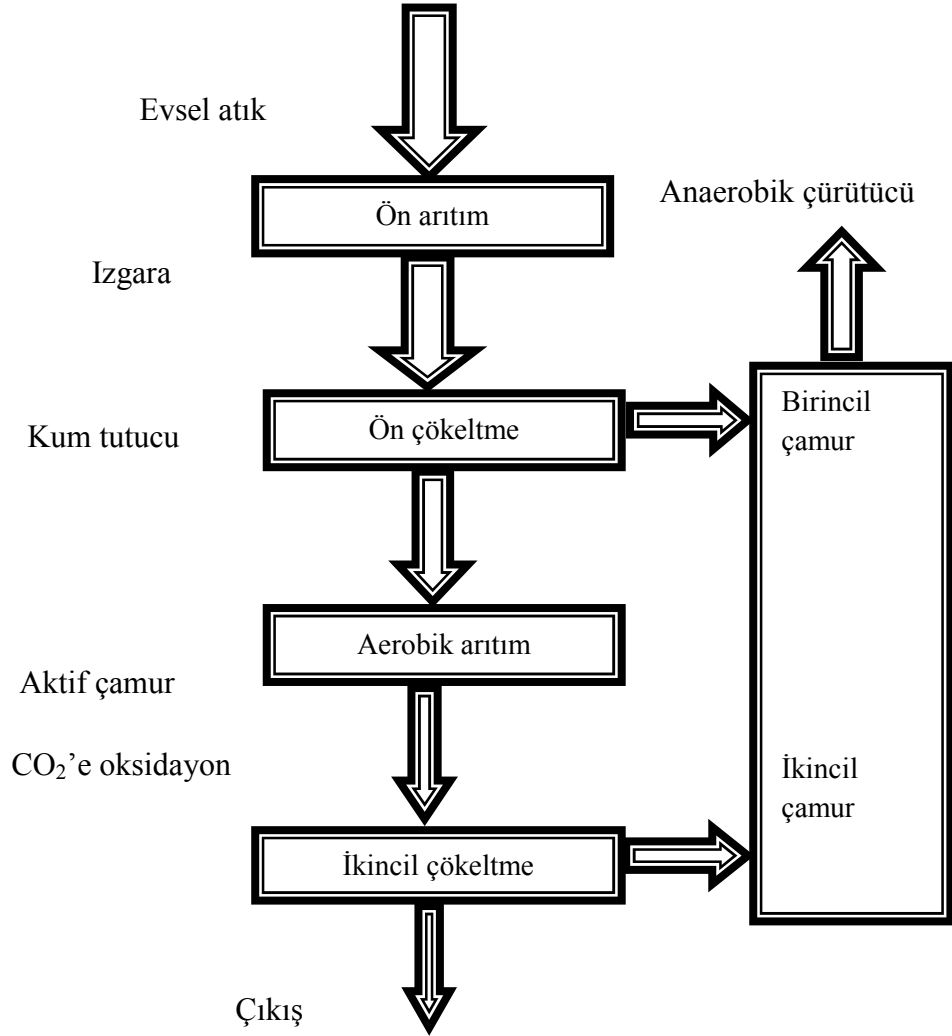
Elma posasının enerji olarak geri kazanımı için iki temel biyolojik fermentasyon süreçleri uygulanabilir: etanol alkol üretimi ve anaerobik çürütme ile biyogaz elde edilebilir [9].

2.3. Anaerobik Arıtım

Anaerobik arıtım veya metan üretimi moleküler oksijenin yokluğunda organik maddelerin biyolojik faaliyetler vasıtasıyla metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2)'e dönüştürülmesi işlemidir [32]. Septik tanklar, çamur çürütücüler, endüstriyel atıksuların arıtımı, evsel atıksuların arıtımı, tehlikeli atık yönetimi, evsel katı atıkların yönetimi ve tarımsal atık yönetimi alanlarında birçok uygulaması mevcuttur [33].

Prosesin CH_4 üretmesi sebebiyle anaerobik arıtma, yenilenebilir enerji eldesinde bu proses yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca üretilen yanabilir gaz fosil türevli yakıtların alternatifi olarak düşünülebilir [34]. Anaerobik arıtım sonrası oluşabilen besince yüksek çürütülmüş materyal gübre olarak kullanılabilir. Çürütme prosesi karbonhidratlar gibi çözünmemiş materyallerin bakteri kullanımına uygun hale gelebilmesi için hidroliz prosesi ile başlar. Asit üreten bakteriler şekerler ve aminoasitleri CO_2 , hidrojen amonyak ve organik asitlere dönüştürürler. Asit üreten bakteriler üretilen organik asitleri ek amonyak hidrojen ve CO_2 ile birlikte asetik aside dönüştürürler. Son olarak metan üreten bakteriler bu ürünleri CO_2 ve CH_4 'e dönüştürürler [32].

Anaerobik arıtma dünyada evsel atıksuların arıtımında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi anaerobik arıtma bütün atık arıtımında önemli rol oynamaktadır.



Şekil 2.1. Anaerobik biyoteknolojinin atık arıtımındaki yeri [32].

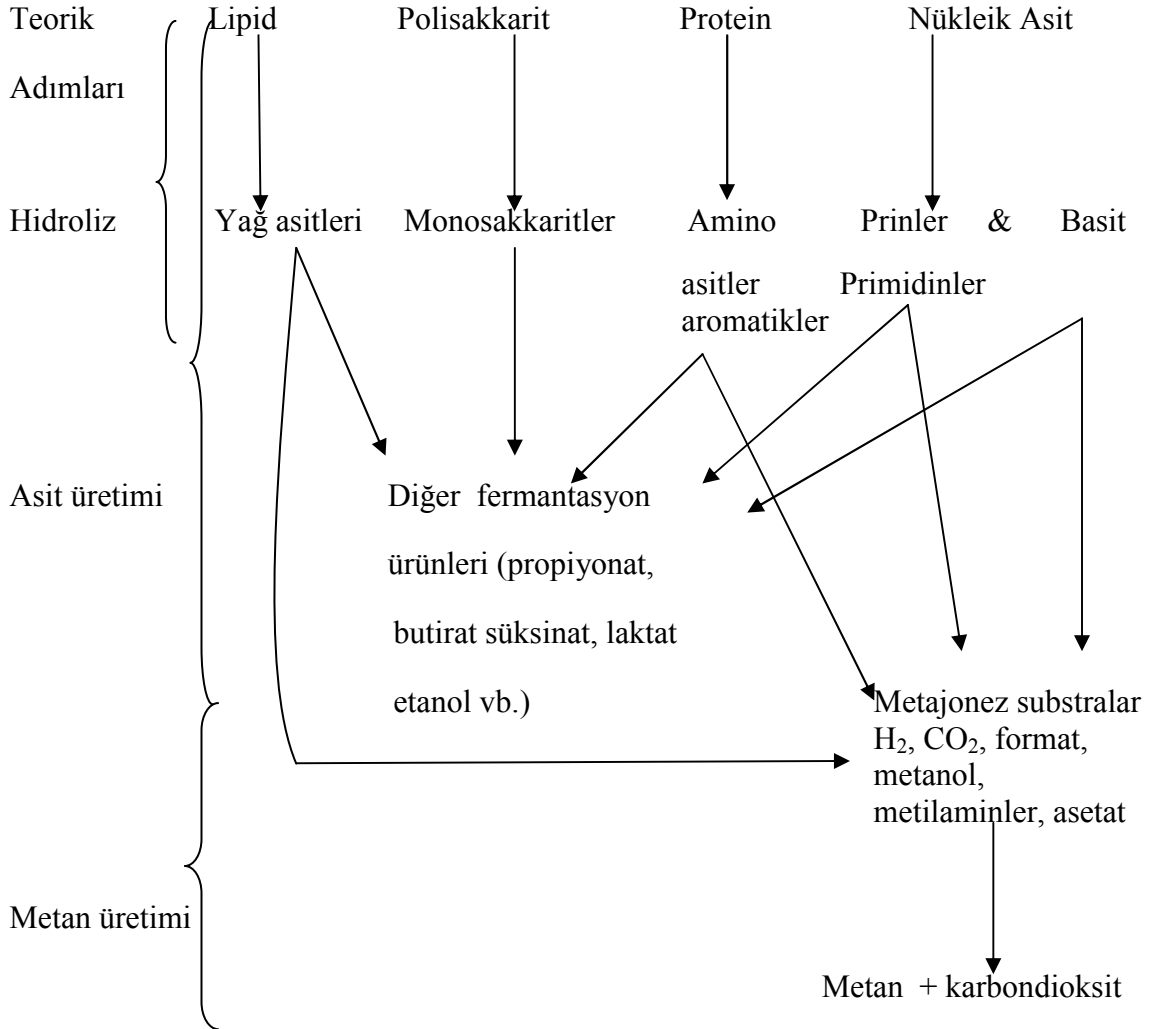
2.3.1. Proses Mikrobiyolojisi

Arıtma tesislerinde organik maddelerin dönüşümleri üç adımda gerçekleşir (Şekil 2.2). Prosesteki ilk adım yüksek molekül kütleline sahip içeriklerin enerji ve hücrel karbon kaynağı olarak kullanımının enzim yoluyla dönüşümüdür (hidroliz). İkinci adım olan asit üretimi orta seviyedeki materyallerin basit ürünlere dönüştürülmesi, üçüncü adımda ise asit üreten bakterilerin asetat ve H₂ ile CH₄ ve CO₂ son ürünlere dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir [33].

Atıkların anaerobik çürütülmesinde, birçok bakteri türü birlikte çalışarak organik maddelerin stabil son ürünlere dönüşmesini sağlar. Bir grup bakteri organik polimer ve yağların; yağ asitleri, monosakkaritler, ve yağlar gibi basit yapı taşlarına dönüşmesinden sorumludur [35]. Anaerobik çürütme işleminde etkin olan bakteri türleri,

1. Fermantasyon bakterileri
2. Hidrojen üreten asit bakterileri
3. Hidrojen tüketen asit bakterileri
4. CO₂ indirgeyen metan bakterileri
5. Asetik asit kullanan metan bakterileri

şeklinde sıralanabilir. Bu bakteri türlerinin faaliyet gösterdiği aşamalar Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



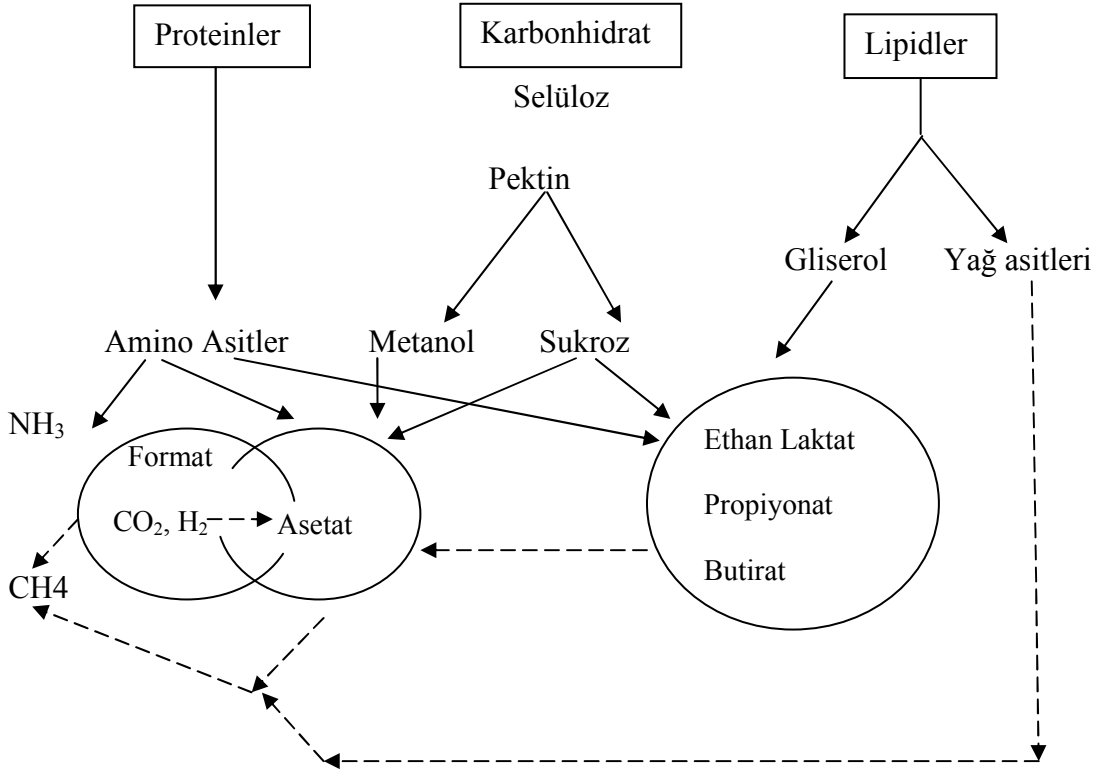
Şekil 2.2. Biyogaz üretiminin üç adımı [36].

Biyogaz üretiminin üç aşaması ayrıntılı olarak aşağıda anlatılmıştır.

a) Hidroliz

Çözünmüş büyük çaptaki organik moleküllerin hücre duvarından geçebilmeleri için boyutlarının küçülmesi gerekir. Çözünme ve boyut küçülmesi işlemleri genellikle hidrolitiktir ve işlemler bakteriler tarafından üretilen hücre dışı enzimler tarafından katalizlenirler. Hidrolitik mikroorganizmalar proteinler yağlar ve nişasta gibi büyük molekül yapıdaki materyalleri enzim salgılayarak parçalarlar ve aminoasitler, yağ

asitleri ve şekerler (monomerler) gibi enerji ve hücresel karbon kaynaklarına dönüştürürler [35].



Şekil 2.3. Kompleks organik maddelerin çözünmüş organik bileşiklere dönüşümü [37].

Bu adımda, kompleks organik materyaller, temel çözünmüş organik bileşiklere dönüşürler. Arıtılan atığın karakteristiğine bağlı olarak her anaerobik arıtma sisteminde hidroliz fazı olmayabilir.

Evsel atıksu kaynaklı biyolojik çamurlar, kâğıt endüstrisi atıksuları, gıda endüstrisi ve ilaç endüstrisi gibi örneklerde hidroliz adımı en önemli adımdır [37]. Hidroliz evresi genellikle birçok yönden anaerobik arıtımın başarı oranını kontrol altında tutar. Hidroliz aşamasında, ham materyaller asit üreten ve metan üreten bakterilerin kullanımı için dönüştürülürler bundan dolayı hidroliz çürüme işleminin en önemli basamağıdır. Ek olarak kompleks besinlerin çürütüldüğü işlemlerde hidroliz fazı daha fazla zamana ihtiyaç duyar. Bu sebeple kompleks materyallerin çürütülmesi işleminde hidroliz fazı hız sınırlayıcı faz olarak kabul edilebilir [32].

b) Asit Üretimi

Asit üretimi fazı hidroliz evresinde oluşturulan bakteriyel ürünlerin yağ asitleri, alkoller, CO₂ ve H₂ gibi düşük molekül ağırlığına sahip materyallere dönüştürülmesini kapsar. Üretilen ana yağ asitleri formik ve propiyonik asittir, bu asitler asit üreten bakteriler tarafından asetik aside dönüştürülürler. Aşağıda glikozun asetik aside dönüştürüldüğü kimyasal reaksiyon verilmiştir. Asit üretimi çeşitli pH ve sıcaklık aralıklarında gerçekleşebilir [32]. Ek olarak bu fazda H₂S ve NH₃ gibi ürünler de üretilebilir.

c) Metan Üretimi

Asetik asidin CH₄'e dönüştürülmesiyle CH₄ üretim fazında atık stabilizasyonu işlemi gerçekleştirilir. Bu fazda CO₂ de üretilmektedir, üretilen CO₂ ya gaz olarak ortamdan uzaklaşır ya da bikarbonat alkalinitesine dönüşür [32].

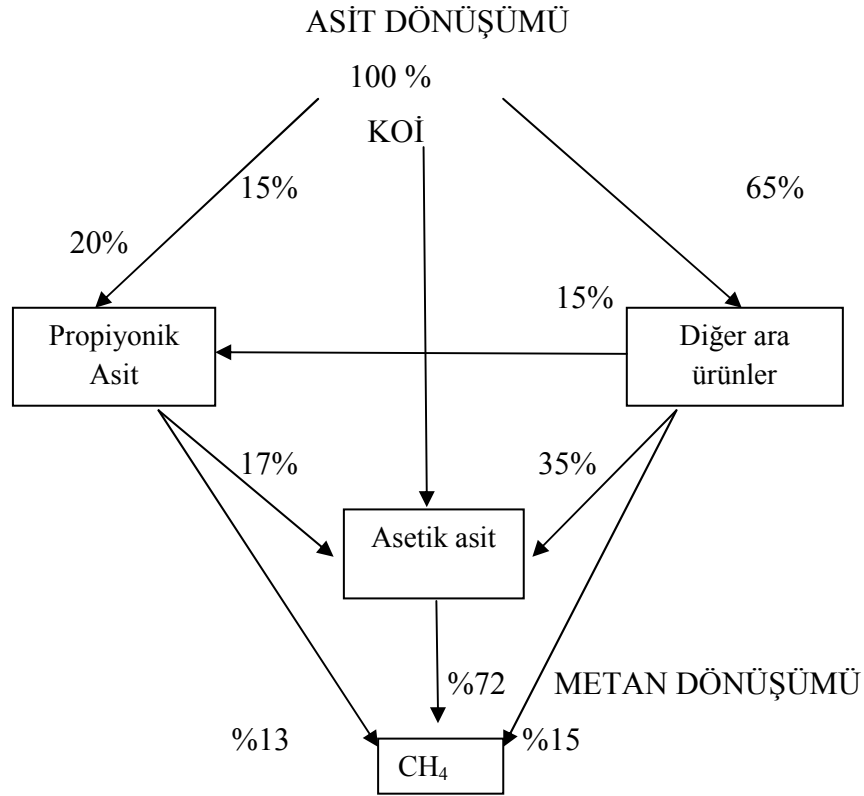
Asit üretiminin ürünlerinden olan asetik asit ve H₂ Archeea ailesinden metan üreten bakteriler tarafından metan üretimi için kullanılırlar. Bu bakteriler asetik asidi aşağıdaki kimyasal reaksiyonda görüldüğü üzere CH₄ ve CO₂'ye parçalarlar.



Hidrojen tüketen bakteriler aşağıdaki kimyasal reaksiyonda olduğu gibi CO₂ indirgeyerek metan ve su oluştururlar.



Ayrıca, formik asit ve metanol bu reaksiyonların ara ürünleridir ve metan üreten bakteriler bunları enerji kaynağı olarak kullanırlar. Anaerobik arıtmadaki metan üretim şeması Şekil 2.4. de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Anaerobik arıtmada metan üretim yolu [37].

d) Anaerobik Bakteri

Hidrolitik ve fermentatif bakteriler fakültatif ve zorunlu anaerobik türler olmak üzere birçok gruptan oluşmaktadır. En önemli hidrolitik ve fermentatif reaksiyonlar Bacreioes, Clostridia ve Bifiobacteria gibi zorunlu anaerobik bakteriler tarafından gerçekleştirilir, fakat baskın türün ortaya çıkmasına en büyük etkiyi besi maddesinin özelliği belirler. Elektron alıcı olarak H_2 'nin rolü, asit üretiminin ana ürünü olarak asetik asit üretim temeli olmaktadır [32].

Uzun zincir yapıdaki yağ asitlerinin, uçucu yağ asitlerinin ve karbonhidratların asetik asit ve H_2 'ye dönüşümünde rol oynayan reaksiyonlar, standart koşullar altında termodinamik olarak elverişsizdirler, pozitif standart serbest enerjiye sahiptirler. H_2 üreten bakteriler zorunlu olarak H_2 kullanan metan üreten bakteriler ile bağlıdır. Sadece metan üreten bakterilerin sürekli olarak üretilen H_2 'yi kullanıp metan üreterek ortamdan uzaklaştırdığı durumda, H_2 'nin kısmı basıncı asetik asit üretimine izin verecek düzeyde olur, fakat anaerobik biyokimyasal operasyonlarda H_2 'nin kısmı basıncının düşük

tutulmasında H_2 şekillendiren bakteriler küçük rol oynar. Anaerobik çürüme prosesinde yağ asitlerini oksitleyen Syntrophomonas ve Syntrophobacter gibi propiyonat oksitleyen birçok bakteri türü tanımlanmıştır [32].

Tablo 2.2. Bazı bakteri türleri ve besin kaynakları

Mikroorganizmalar	Besin Kaynakları
Methanobacterium	$H_2 + CO_2$, format
Methanobrevibacter ruminantium	$H_2 + CO_2$, format
Methanosarcina	$H_2 + CO_2$, format, metanol, metilaminler, asetat
Methanothrix soehgenii	asetat

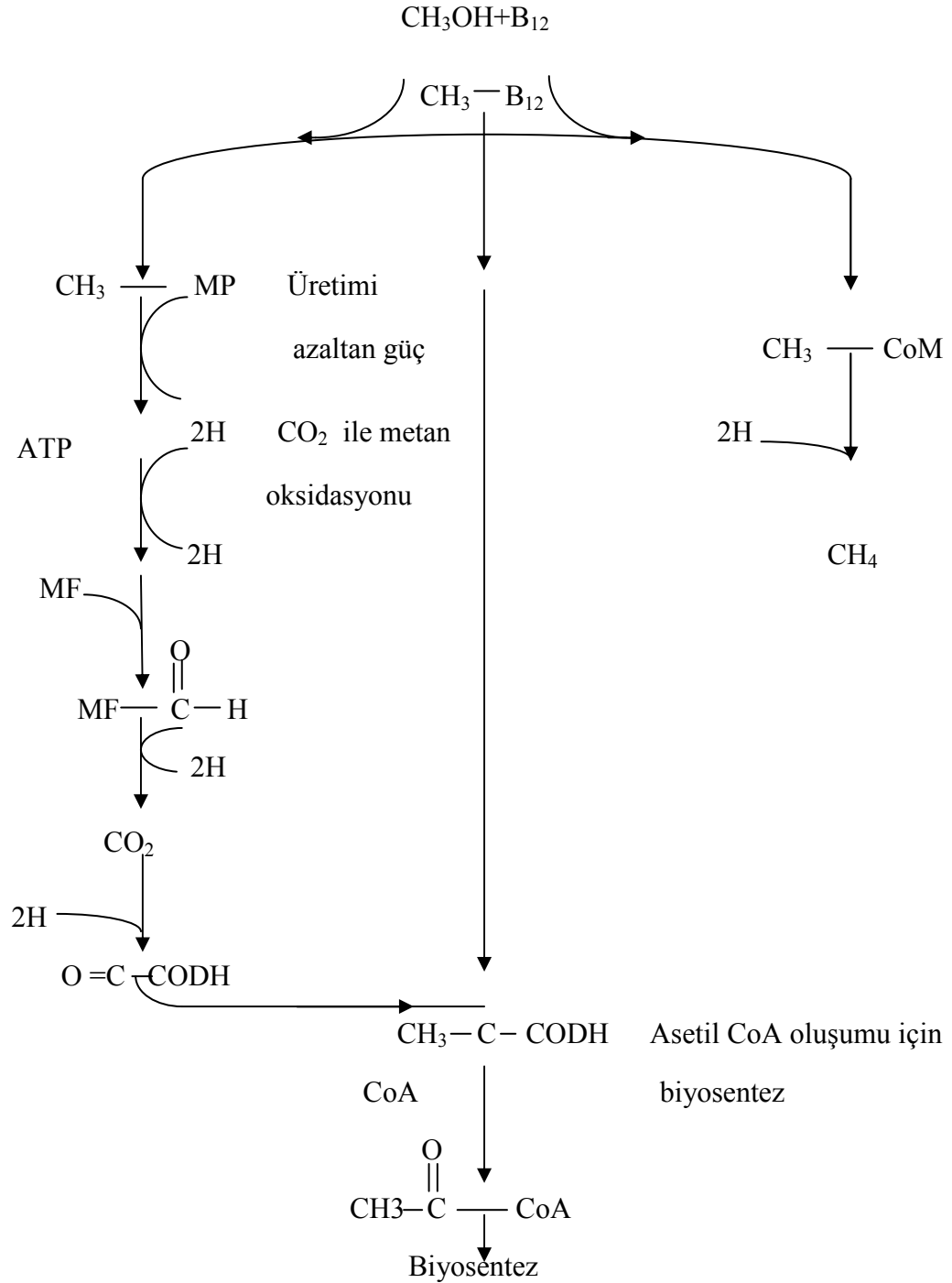
2.3.2. CO_2 'den CH_4 üretiminin biyokimyası

CO_2 'den CH_4 üretimi genel olarak H_2 üretimine bağlıdır. Fakat metan üretimi için format, karbon monoksit ve hatta elemental Fe elektron vericisi olarak görev yapar. CO_2 'den metan üretimi prosesinde karbondioksit birçok ara ürüne dönüştükten sonra metan'a dönüşür.

CO_2 indirgenmesi Şekil 2.5.'de görülmektedir. CO_2 metanofuran tarafından formil seviyesine kadar indirgenir. Formil grup tetrahidrometanopterin olarak Metanafuran'a iletilir ardından dehidrate olarak metilen ve metil seviyesi iki faza ayrılır [32].

Metil grup metanopterininden coenzim M.'metil-koenzim m dönüştürülür. Bu F430 ve HS-http ve reaksiyon ürünlerinin metanın metil redüktaz sistemi içinde indirgenmesidir. Ek olarak metan CoM ve http (Com-S-S-http) nin disülfididir. Serbest CoM ve HS-http hidrojenin indirgemesi ile rejenere olurlar.

grubun metanol ve CO kombinasyonunun ve asetat vermek için metil grubun karbon monoksit vasıtasıyla dehidrojenaz olurlar [32].



Şekil 2.6. Asetil CoA reaksiyonunun metan üreten bakteriler tarafından metanolün büyümesindeki rolü [35].

2.4. Anaerobik çürütmenin avantajları

Biyogaz üretimi için anaerobik çürütme prosesinin pratikte uygun olarak uygulanabilmesi için birçok avantajı vardır [32]:

- Son ürün olarak biyogaz gibi kullanılabilir bir ürün ortaya çıkmalıdır.
- Üretilen biyogaz elektrik üretimi ısı üretimi uygulamalarda kullanılabilir.
- Bakteriyel biyokütledeki küçük artışlarla yüksek organik madde redüksiyonu elde edilebilir.
- Çevresel bir yöntemle organik endüstriyel atıkların ve evsel atıkların arıtılabildiği bir sistemdir, sonucunda oluşan çamur iyi kalite gübre olarak alanlarda kullanılabilir.
- Kullanılan ekipmanlar yönünden göreceli olarak daha ucuz bir teknolojidir.
- Dışkı kokularından oluşabilecek rahatsızlıkları giderir
- Biyogaz tesisleri teknolojik olarak güvenlidirler ve teknolojileri önemli ölçüde gelişmiştir.

2.5. Anaerobik çürütmenin dezavantajları

Biyogaz teknolojisini kullanmanın ana dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [38]:

- Metan bakterileri çok yavaş üremekte ve çevresel koşullardan çabuk etkilenmektedirler.
- Bakterilerin yavaş büyüme hızlarından dolayı işletmeye alma periyotları görece olarak uzun sürmektedir.
- Kırılmaya sızdırmaya ve korozyona dayanıklı şekilde imal edilmesi gereken çürütme tanklarının inşaa maliyetleri yüksektir.
- Özellikle büyük ölçekli biyogaz tesislerinde çürütölmek istenen biyokütlenin taşınması bir mali etki yapmaktadır, bu etki enerji üretim maliyetini direkt olarak etkilemektedir.
- Doğalgaza göre düşük ısıtma kapasitesi ve korozyif özellikleri biyogazın boru hatlarına pompalanmasına engel teşkil etmektedir.
- Biyogazın maliyet azaltma potansiyeli düşüktür.

2.6. Anaerobik Arıtmanın Verimini Etkileyen Çevresel Faktörler

Anaerobik arıtmada rolü olan mikroorganizmalar çevresel etkenlerden fazlaca etkilenmektedirler, bu sebeple bu faktörler mikroorganizmaların optimum yaşama koşullarını sağlamalıdır.

Sistem verimini kayda değer seviyede etkileyen çevresel faktörler besin miktarı, pH, sıcaklık, C/N oranı ve toksisite olarak sıralanabilir [38].

2.7. Parametreler ve Proses Optimizasyonu

Mikrobiyolojik metan üretimini kapsayan metabolik aktiviteler aşağıdaki faktörlere bağlıdır [38].

- Besinler
- pH
- Sıcaklık
- Toksisite
- C/N oranı

2.7.1. Besinler

Besin maddeleri anaerobik mikroorganizmaların mikrobiyal gelişimi için gereklidir. Mikroorganizmaların gelişimi için karbon, azot, fosfor ve mikro elementler en önemli besin maddeleridir. Besinler ve iz metaller doğrudan atık stabilizasyonu ile ilgili değildir ama hücre yapısı için uygun materyal olmaları sebebiyle yeni hücre sentezi için gerekli materyallerdir [39].

Besin ihtiyacı arıtılacak olan organik maddenin kompozisyonuna ve çamur yaşına bağlıdır. Anaerobik mikroorganizmalar iz organik besinlerin yanı sıra azot ve fosforun demir, sülfür, kalsiyum, magnezyum, sodyum, kobalt ve nikel gibi inorganik besin maddelerine de ihtiyaç duyarlar. Buna rağmen aşırı konsantrasyonlardaki besi maddesi miktarı genellikle inhibisyona sebep olmaktadır. Bu sebeple her bir duruma göre testler ve dikkatli analizler besin çeşidinin ve ihtiyaç miktarının belirlenmesi için yürütülmelidir [39].

2.7.2. pH

Metan üretim bakterilerini etkileyen çevresel koşullardan biri de pH seviyesidir. Uygun şekilde anaerobik çürütme sistemi işletmesi için pH seviyesinin 6-8 arasında tutulması gereklidir. Fakat metan bakterileri pH seviyesinin 6'nın altına düştüğü durumlarda dahi bütün biyolojik faaliyetlerini kaybetmezler [39].

Anaerobik arıtmada, tamponlama kapasitesi genellikle alkalinite ile ölçülmektedir ve dominant alkalinite türü bikarbonat alkalinitesidir. Yeterli alkalinite seviyesini sağlamak sistemin pH seviyelerinin 6'nın altına düşmesini engeller [39].

Eğer alkalinite seviyesi 500 mg/L'nin altına düşerse, üretilen gazın ortalama %38'i CO₂ içerebilir, pH seviyesi 6'nın altına düşerse sistem birçok yönden çeşitli derecelerde inhibisyona uğrayabilir.

Sitemdeki pH düşmeye başlarsa bu problemin çözümü için iki yaklaşım denenebilir. İlk olarak beslenen organik madde kesilmelidir. Bu sebeple artan metanojenik bakteri konsantrasyonu ile birlikte yağ asitlerinin konsantrasyonu düşürülebilir. pH kabul edilebilir seviyelere geldikten sonra (ör. 6.8) beslemeye yerinde devam edilir. İkinci yaklaşımda ise tamponlama kapasitesi ile pH'yı yükseltmek için sisteme kireç, NaOH ve NaHCO₃ eklenebilir [40].

2.7.3. Sıcaklık

Anaerobik prosesler biyolojik faktörlerin etkilenmesine bağlı olarak sıcaklıktan yüksek seviyede etkilenir. Aynı zamanda metan üretimi de reaktör sıcaklığıyla yakından ilişkilidir. Anlaşılmıştır ki; metan üretimi 0 ila 60°C sıcaklık aralığında gerçekleşebilmektedir [41].

Diğer arıtma metotlarındaki gibi, anaerobik sistemlerde de iki sıcaklık aralığında çalışılmaktadır bunlar termofilik (50 – 70°C) ve mezofilik (25 – 40°C) şartlardır. Fakat bazı bakteriler 18 – 25°C sıcaklık aralığına sahip psikrofilik koşullarda da çalışabilmektedir, fakat bu sıcaklık aralığındaki bakteri büyüme hızı diğerlerine göre oldukça yavaştır.

Yukarıdaki sebeplere bağılı olarak anaerobik sistemler çevre ısısından daha sıcak reaktör sıcaklıklarında işletilirler, yüksek sıcaklıklı sistemlerin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Organik materyallerin indirgenme oranı ve derecesi yükselir.
- Çamur hacmi düşer.
- Patojenik mikroorganizmaları giderim oranı artar.
- Çamurun susuzlaştırılma karakteristiğı olumlu şekilde değışir.

Kirlilik giderme oranı ve çürüme oranı sıcaklık artışıyla ilişkilidir. Bu sebeple termofilik bakterilerin kirlilik gideme oranı mezofilik bakterilerin giderme oranından yüksektir, fakat termofilik sistemler organik yükleme oranı, amonyak konsantrasyonu, pH ve organik asit konsantrasyonu değışimlerine karşı daha hassastır [41].

2.7.4. Toksisite

Diğer biyolojik sistemlerde olduğı gibi anaerobik arıtmada toksik materyaller biyolojik inhibisyona sebep olurlar. Metan üreten bakteriler anaerobik arıtmada toksisiteye karşı en hassas grubu oluştururlar, fakat birçok toksik materyallere belirli oranlara kadar dayanıklıdırlar ve bunlara karşı aklime olma yetenekleri mevcuttur[41].

Birçok atık içeriğı çürütme sistemi için toksiktir, 200-1000 mg/L konsantrasyon aralığındaki amonyak sisteme pozitif yönde etki ederken konsantrasyonun 3000 mg/L'yi geçmesi inhibisyon etkisi yapmaktadır. Benzer olarak birçok katyon (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum vb.) düşük konsantrasyonlarda sisteme olumlu etki yaparken konsantrasyonların artması durumunda inhibisyon görülebilmektedir. Katyonik toksisite rakip bir diğer katyonun sisteme eklenmesi ile engellenebilir, örn. Sodyum'a bağılı toksisite görülmesi durumunda sisteme potasyum veya kalsiyum eklenmesiyle inhibisyon engellenebilir.

Ağır metaller ve çözünmüş organikler de sisteme toksik etki yapabilir. 0.1-10 mg/L düzeyindeki düşük ağır metal konsantrasyonu ve yüksek seviyelerdeki uçucu yağ asitleri konsantrasyonlar inhibisyon yapabilir.

Organik koşullardaki sülfat (SO_4^{-2}) iyonu anaerobik şartlarda sülfür (S^{-2})'e indirgenir. Bu hidrojen sülfid bileşiklerinin hidrojen ile reaksiyonun sonucudur. Hidrojen sülfid

düşük etkiye sahip toksik bir materyaldir bu sebeple üretilen bir materyal olarak toksisite yönünden büyük öneme sahiptir. Bazı materyallerin anaerobik reaksiyonlardaki inhibisyon konsantrasyonları Tablo 2.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Anaerobik biyo indirgenme işleminin gerçekleşebileceği toksik materyal konsantrasyonları [42].

Madde	Zararlı konsantrasyon (mg/l)
NH_4^+ , NH_3	1500-2000*
Çözünmüş H_2S , HS^- , S^{2-}	100-150
Sodyum (Na^{+1})	3.500-5.500
Potasyum (K^{+1})	2.500-4.500
Kalsiyum (Ca^{+2})	2.500-4.500
CN^-	0,5-1
Magnezyum (Mg^{+2})	1.000-1.500
SO_3^{-2}	200
Bakır (Cu^{+2})	100
Krom (Cr^{+3})	200
(Cr^{+6})	3
Nikel (Ni^{+2})	200-500
Zn^{+2}	1
Sülfat (SO_4^{-2})	5.000
Sodyum klörür ve genel tuzlar (NaCl)	40.000
Nitrat (N olarak)	0.05
Manganez (Mn^{+2})	>1.500

(*özellikle $\text{pH} > 7.5$ ve çözünmüş olduklarında zararlı)

2.7.5. C/N Oranı

Anaerobik bakterilerin besin ihtiyacı hücre yapısındaki fark nedeniyle aerobik bakterilerin besin ihtiyacından farklıdır. Anaerobik bakterilerin C ve N ihtiyacı aerobik bakterilerin ihtiyacın %20'si kadardır. Genel olarak C/N/P oranı aerobik sistemlerde 100/20-5/5-1 civarındayken anaerobik sistemlerde 100/10-2/1-0.5 mertebesindedir.

Organik karbon bakterilerin yaşamlarını idame ettirmekte kullandıkları enerji sentezi için gereklidir. En önemli besin maddeleri N ve P' dur bunlar büyüme ve yeni mikroorganizma oluşturmak için gereklidir [39].

Optimum C/N oranı değişik materyalleri karıştırarak elde edilebilir. Stabil bir karışım devamlı gaz üretimini garanti altına almak için gereklidir. Tablo 2.4'de anaerobik bakteriler için optimum koşullar gösterilmektedir.

Tablo 2.4. Anaerobik mikroorganizmalar için optimum koşullar [39].

Parametre	Optimum Çevresel Koşullar
Atıksu kompozisyonu	C,N,P ile birlikte iz elementleri içermeli, okside edici ve inhibisyona sebep olan materyalleri içermemelidir
Sıcaklık (°C)	Psikrofilik aralık 10-25°C Mezofilik aralık 25-38°C Termofilik aralık 50-60°C
C: N: P Oranı	100/2- 10/0.5 -1
pH	6.5 – 8.0
Alkalinite	1000 – 4000 mg CaCO ₃ /L
Toplam Uçucu Yağ asitleri (TVFA)	<1000- 1500 mg asetik asit/L
TFVA \ Alkalinite	<0.1
Oksijen	İstenmez
Toksik maddeler	İstenmez

3. BÖLÜM

MATERYAL VE METOD

3.1. Kullanılan Materyal

Termal ön arıtımın metan üretimi ve biyogaz eldesi üzerine etkisi konulu bu çalışmada kullanılan taze elma posası atıkları Aalborg şehri ağaçlarından temin edilmiştir. Ağaçlardan toplanan elmalar blendırdan geçirilerek posa haline getirilmiştir. Gaz kromatografisi analizleri düzenli aralıklarla (10 günlük peryotlarda) Aalborg üniversitesi biyoteknoloji laboratuvarlarında yapılmıştır. Üretilen metan yüzdeleri ölçülmüştür. Çalışma için eylül ayında sağlanan taze elma posası atıkları Şekil 3.1' de verilmiştir. Daha sonra toplanan bu atıklar 5°C'de uygulamaya geçinceye kadar inkübatörde muhafaza edilmiştir. Deney sırasında kullanılan aşı çamuru Aalborg şehrinde bulunan atıksu arıtma tesisinden alınmıştır. Çamur kullanılmadan önce biyogaz potansiyelinin düşürülmesi için 10 gün boyunca oda sıcaklığında muhafaza edilerek içsel solunuma bırakılmıştır.



Şekil 3.1. Elma posası

3.2. Ön-arıtma

Termal ön arıtmada onbir sıcaklık aralıklarında çalışılmıştır (25°C, 50°C, 70°C, 80 °C, 90°C, 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 150°C ve 170°C) [43]. Ayrıca belirlenen bu sıcaklıklar optimum sıcaklık değerini net belirleyebilmek için yakın aralıklarla seçilmiştir. Farklı sıcaklık uygulanan tüm numuneler ön arıtım uygulanmamış numune ile karşılaştırılmıştır. Her bir sıcaklık için toplam onbir numune ve bir kör numune ile birlikte toplam oniki numune alınmıştır. Alınan her oniki numunenin paraleli ile çalışılmıştır. Paralel numunelerle birlikte toplam 24 numune için reaktör hazırlanmıştır.

3.2.1. Termal ön-arıtım

Aalborg üniversitesi laboratuvarında termal ön arıtım için paslanmaz çelikten basınçlı bir reaktör yapılmıştır. Bu reaktörün iç çapı 7.5 cm ve iç derinliği 9.5 cm'dir. Reaktörün basınç dayanımı 9 bar civarındadır. Basınçlı reaktörün emniyet vanası 8 barın üzerindeki basıncı azaltmaktadır. Reaktörün kapağı kelepçe ile monte edilerek kapak ve reaktör arasına conta yerleştirilmiştir. Substrat içerikli basınçlı reaktörün belli sıcaklıklara ulaşması için etüv kullanılmıştır. Şekil 3.2'de farklı parçaları ile basınçlı reaktör gösterilmiştir.



Şekil 3.2. (a) Monte edilmiş basınçlı reaktör, (b) Sökülmüş basınçlı reaktör (1.Basınçlı reaktör , 2. Basınçlı reaktör kapağı, 3. Basınçlı reaktörün gövdesi, 4. Conta, 5. Kapağı tutan kelepçe, kapak ve basınçlı reaktör gövde ile birlikte, 6. Basınç valfleri.)

Daha önceden 1:10 [43] oranında belirlenen bir miktar elma posası ile su cam beher içerisinde konularak basınçlı reaktör içerisine yerleştirilmiş ve yarım saat önceden ısıtılmış etüv içerisine konulmuştur. Her bir örnek için 5 g atık ve 10 ml saf su behere konulmuştur. Basınçlı reaktör conta ve kelepçe yardımıyla sıkılarak etüve yerleştirilmiştir.

Ön arıtımda tüm sıcaklıklar ve duplikasyonlar için her bir numune bir saat süreyle etüvde tutulmuştur. Numunelerin etüvde tutulduğu süreyle eş zamanlı olarak numunelerden biri oda sıcaklığında bekletilmiştir.

Ön arıtım sonrasında numuneler kullanım süresine kadar plastik numune kaplarında 5°C’de inkübatörde saklanmıştır.

3.3. Kuru madde ve uçucu katı madde (Vs) içeriği

Ham elma posalarının her birinin ön arıtım öncesinde kuru madde ve uçucu katı madde içeriği belirlenmiştir. Katı madde muhtevası belirlenirken, numune tartılmış (W_s) ve 105°C’de 24 saat boyunca kurutulduktan sonra ölçüm yapılmış ve katı madde muhtevası belirlenmiştir (W_{dm}). Katı madde muhtevası,

$$W_{dm} \times 100/W_s \quad (1)$$

formülünden hesaplanmıştır.

Kurutulmuş numuneler 550°C derecedeki kül fırınına konmuş ve 13 saat sonra ağırlıkları ölçülmüştür (W_{ash}). Uçucu katıların yüzdesi

$$[(W_{dm}-W_{ash}) \times 100]/W_{dm} \quad (2)$$

formülünden faydalanılarak hesaplanmıştır.

3.4 Biyogaz Üretimi

Elma posası atıkları ve aşı çamuru 120 ml hacmine sahip serum şişelerine 1:10 oranında koyulup, şişenin ağız kısmı lastik tıpalarla sıkılanmıştır. Şişelerde 5 ml atık ve 45 ml aşı çamuru bulunmaktadır. Kontrol şişeleri 50 ml aşı çamuru bulundurmaktadır. Bütün örneklerin paraleli alınarak oluşabilecek hataların önüne geçilmeye çalışılmıştır. Şişelere alınan numuneler biyogaz üretim süresince 55°C sıcaklığındaki etüvde inkübasyona bırakılmıştır.

Şekil 3.3 (a)'da görüldüğü gibi biyogaz üretim süresince 55°C sıcaklıkta ön arıtım uygulanmış tüm numuneler etüv içerisinde muhafaza edilmiştir. Üretilen biyogaz hacmi cam enjektörle yardımıyla Şekil 3.3 (b)'de görüldüğü gibi ölçülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 3.3. (a) 55°C'de saklanan şişeler, (b) Biyogaz ölçümü

İlk iki hafta boyunca gaz ölçümleri günlük alınmış bu süreci takip eden günlerde ölçüme iki günde bir devam edilmiştir. Ölçümler ml cinsinden alınıp 42 gün boyunca devam edilmiştir. Her 10. günde alınan numunelerin gaz içerikleri gaz kromatografisi (Agilent 7890A GC) yardımı ile ölçülmüştür. Numunenin, kapiler kolonun ucunda yer alan enjeksiyon kısmındaki kauçuk lastik yardımıyla mikrolitrelik şırınga kullanılarak ölçüm gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı gazı H_2 olan gaz ortamına verilmesi ve enjektör, kolon ve dedektörden (TCD) geçerken de operatör tarafından $100^{\circ}C$ seçilmiştir.

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. Biyogaz üretimi

Elma posasının termal ön arıtım sonrasında biyogaz üretimi 42 gün boyunca ölçülmüştür. Termal ön arıtım uygulanmış paralelleri alınmış olan numunelerin genel olarak ürettikleri biyogaz miktarları birbirine yakın değerler bulunmuştur. Deney süresince farklı sıcaklıklar uygulanan numunelerin biyogaz üretiminin 344 ve 466 L biyogaz / kg Vs arasında olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.1).

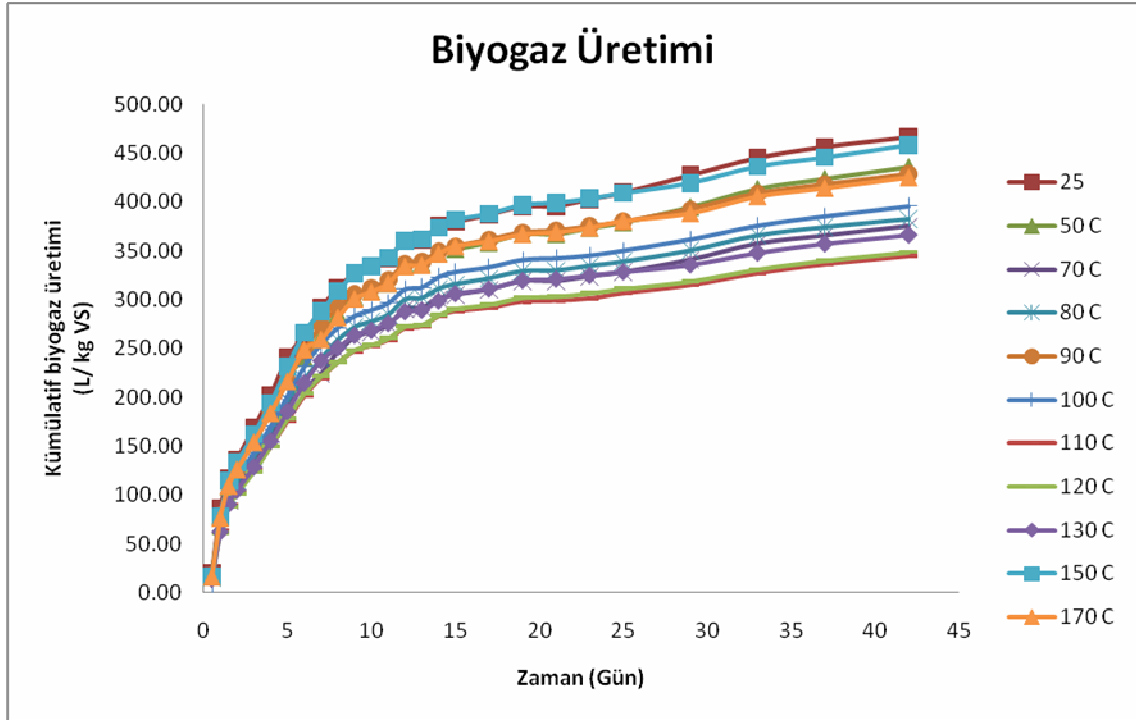
Tablo 4.1. Deney sonunda elde edilen kümülatif biyogaz üretim değerleri

Ön-arıtım sıcaklıkları (°C)	25	50	70	80	90	100	110	120	130	150	170
Gaz üretimi (L biyogaz/kg Vs)	466	436	375	382	429	396	345	349	366	458	424

4.2. Termal ön arıtım

Termal ön arıtım uygulanmış elma posası numunelerinin kümülatif biyogaz üretimi Şekil 4.1’de verilmiştir. Deney süresince tüm örneklerin biyogaz üretimi benzer bulunmuştur. Bu sürede ön arıtım sıcaklıkları arasındaki biyogaz üretimi arasındaki fark orta seviyededir. Tamamıyla ya da kısmen arıtım yapılan numunelerin karşılaştırılabilir

olduğunu göstermiştir. En yüksek biyogaz üretimi 25°C (466 L biyogaz/kgVs) ve 150°C (458 L biyogaz/kgVs) ön arıtım sıcaklıklarında gözlenmiştir. En düşük biyogaz üretimi 110 °C (345 L biyogaz/kgVs) sıcaklığında elde edilmiştir.



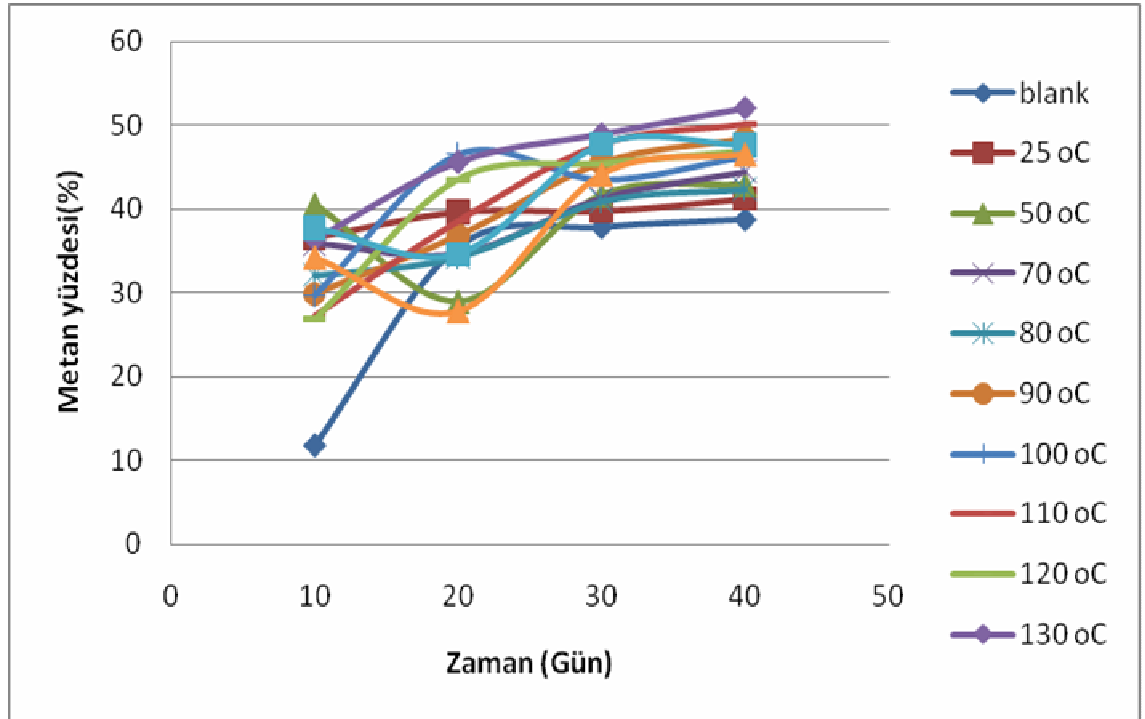
Şekil 4.1. Termal ön arıtım uygulanmış ve ön arıtım uygulanmamış örnekler için biyogaz üretimi

4.3. Elma posasının biyogaz potansiyeli

Elma posası kolay biyolojik parçalanabilir ve bununla birlikte elma posasından termal ön arıtımla biyogaz eldesini olumlu etkilemiştir. Ortalama metan ve biyogaz üretim yüzdeleri sırasıyla %225 ve %224 olarak bulunmuştur.

4.4. Biyogaz Kompozisyonu

Elma posası atıklarından termal olarak ön arıtımla metan içeriği yaklaşık %50'dir. Metan içeriği onuncu günde %30-%40 olarak ölçülmüştür. Deneyler süresince yapılan ölçümler göstermiştir ki numunelerin metan içeriği artmıştır ve 42 gün boyunca en düşük metan içeriğinin %45 civarında olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.2'de termal ön arıtım uygulanmış numunelerin metan yüzdelerindeki değişimler gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Deney süresince metan yüzdelerindeki değişimler.

4.5. Metan üretimi

Yapılan çalışmada deney 42 gün boyunca devam etmiş ve bu deney için katı maddenin nihai kullanımı için yeterli süre olduğu kabul edilmiştir. Deney 25-170°C sıcaklık aralıklarında yürütülmüş ve termal ön arıtım sonrası biyogaz ve metan üretimleri gözlemlenmiştir. Tablo 4.2’de termal ön arıtım uygulanmış numunelerin uçucu katı madde başına metan üretim miktarları verilmiştir.

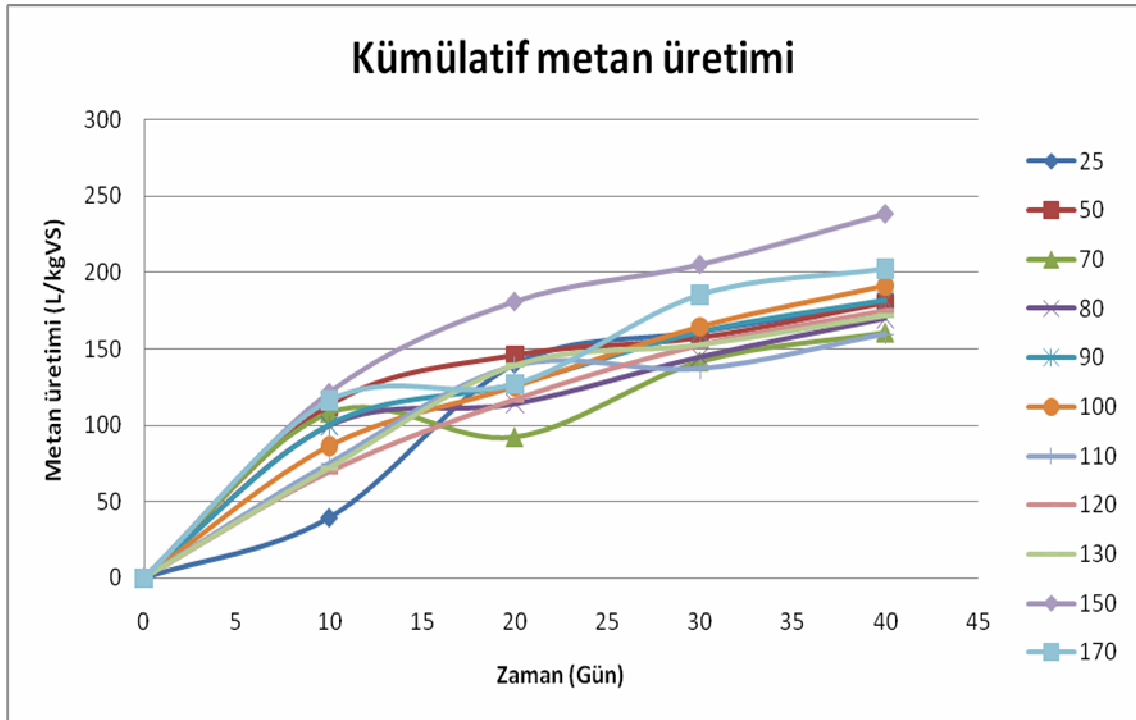
Tablo 4.2. Deney süresi sonunda elde edilen metan kümülatif üretim değerleri

Ön-arıtım sıcaklıkları (°C)	25	50	70	80	90	100	110	120	130	150	170
Metan üretimi (L biyogaz/kg Vs)	181	179	161	170	182	192	160	175	172	239	203

Termal ön arıtıma tabi tutulan örneklerden en fazla metan üretimi 150°C’de gözlenmiştir ve;

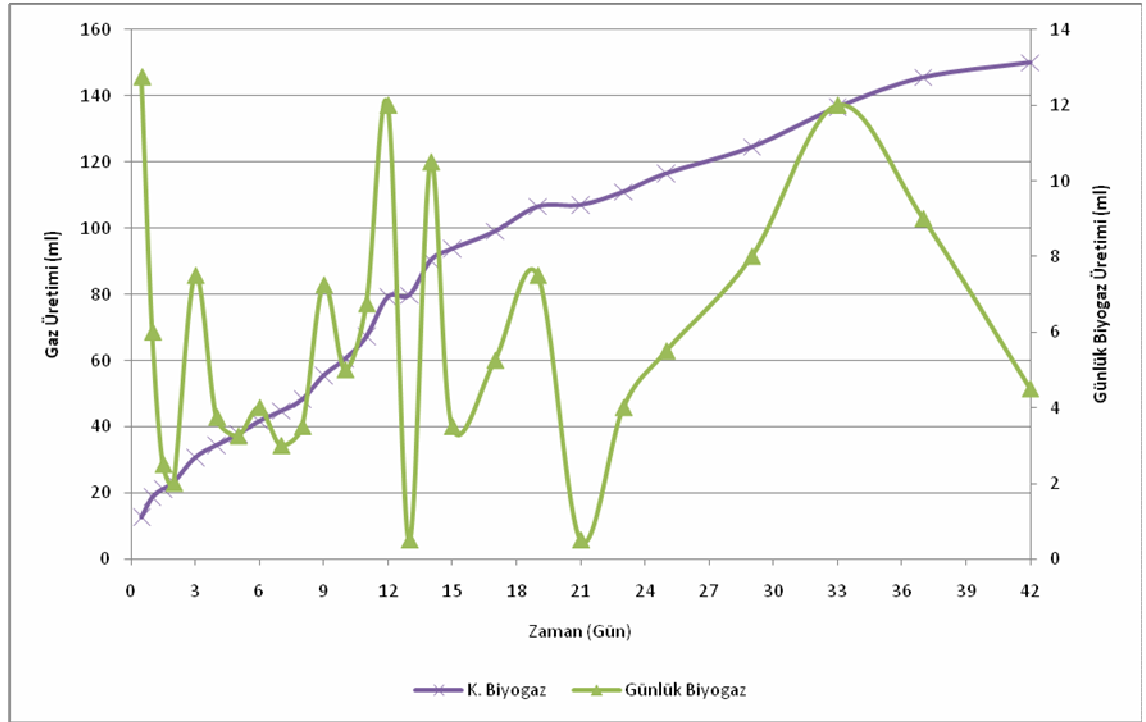
- 150°C’de ön arıtım uygulanmış ve ön arıtım uygulanmamış örneklerle karşılaştırıldığında (25°C (oda sıcaklığı));
- $100 \times (238,6 - 180,5) / 238,6 = 24,35$
- 24, 35% metan üretimindeki artış miktarını göstermektedir.

Şekil 4.3’ de verilen kümülatif metan üretim miktarları incelendiğinde termal ön arıtımın elma posası atıklarından metan üretim miktarını olumlu etkilediği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte ilk on günlük periyotta alınan numune ile 42 gün sonra alınan numune arasındaki metan içerikleri arasında çok fark olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3. Her bir elma posası örneği için kümülatif metan üretimi.

Şekil 4.4’ de aşı çamurunun kümülatif ve günlük gaz üretim miktarları verilmiştir. Aşı çamuru için günlük maksimum, minimum ve kümülatif gaz üretimleri sırasıyla 12,75; 0,5; 150 ml olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.4. Aşı çamuru için kümülatif ve günlük biyogaz üretim miktarı

5.BÖLÜM

TARTIŞMA

Yenilenebilir enerji kaynakları temiz olmaları ve fosil yakıtların hızla tükenmeleri sebebiyle günümüzde fosil yakıtlara alternatif teşkil etmektedirler. Bu çalışmada, elma posasına termal ön arıtım uygulanmış ve ardından ön arıtım uygulanmış numunelerden biyogaz elde edilmesi amacıyla anaerobik çürütme işlemi yürütülmüştür. Genel olarak termal ön arıtım biyogaz üretim veriminde orta düzeyde etkili olmuştur. Yapılan çalışmalar ışığında aşağıdaki gözlemlere varılmıştır:

50°C üzerindeki ön arıtım sıcaklıklarında biyogaz üretiminde kayda değer bir artış gözlenmemiştir. Bunun sebebi olarak atığın içeriğinin biyolojik olarak kolay indirgenebilir olması ve termal ön arıtımın etki gösterecek kompleks yapıda bileşiklerin az miktarda bulunmasından dolayı olduğu düşünülmektedir.

Çürütme süreciyle oluşan biyogazın metan içeriği maksimum %50 civarında olmuştur. Maksimum biyogaz üretimi 25 °C ve 150°C sıcaklıklarında yapılan termal ön arıtım sonrası elde edilmiştir, bu sebeple elma atıklarına daha yüksek sıcaklıklarda termal ön arıtım sıcaklıklarıyla muamele etmek gerekli değildir. Deneysel çalışmalar ışığında termal ön arıtımın biyogaz üretimini fazlaca etkilemediğini göstermiştir, ayrıca elma atıklarından 150-200 m³ metan/kg VS civarında biyogaz elde edilmiştir. Fakat termal ön arıtım metan üretimi olumlu şekilde etkilemiştir, metan üretiminde %225 artış gözlemlenmiştir. Rafeigue (2007), termal ön arıtım uyguladığı hayvan gübresi atıklarından optimum metan üretimini 100°C sıcaklığında % 25 verim elde etmiştir. Hayvan gübresinin biyogaz üretiminde yaygın olarak kullanılan bir materyal olduğu düşünülürse termal ön arıtımla düşük verim elde edilmiştir. Coalla vd. (2009), elma posası atıkları ile hayvan gübresi atıklarını kombine materyal olarak kullanmışlar ve bu durum metan içeriğini % 77-80 civarına yükseltmiştir. Visvanat vd. (1992), yaptıkları çalışmada farklı meyve atıkları üzerinde biyogaz üretimini araştırmaşlar ve kullandıkları

atığın metan içeriğinin %51-53 civarında olduğunu bulmuşlardır. Yapılan çalışmada kullanılan elma posası materyali ile karşılaştırıldığında elde edilen verilerin dikkate alınması gereken veriler olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler göstermiştir ki, elma posası atıklarının termal ön arıtım sonrası metan içeriğinin yaklaşık %50 civarında olduğu ve bu değerin elma posası ve benzeri meyve endüstrisi atıklarında uygulanabilirliği açısından göz ardı edilemez bir değer olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle ülkemizin meyve endüstrisi üretim miktarı göze alındığında oluşan atıklardan, etkin çevre kontrolü ve oluşan enerji ile ekonomik katkı sağlaması açısından değerlendirildiğinde uygulanabilir bir proses olduğu düşünülmektedir. Literatürde elma posası atıklarına termal ön arıtımın biyogaz üretimine etkisi konulu bir çalışma yapılmadığı tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmanın literatürde oluşan bu boşluğu önemli ölçüde dolduracağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Converti, A., Oliveira, R.P.S., Torres, A., Zilli, M., Biogas Production and Valorization by Means of a Two-Step Biological Process, *Bioresource Technology*, 100, 5771–5776, 2009.
2. Bo Holm-Nielsen J., Al Seadi T., Biogas in Europe: a General Overview, South Jutland University Centre, Bioenergy Department, 1998.
3. Tafdrup S., Hjort-Gregersen K., Centralised Biogas Plants, Centre for Biomass Technology (www.videncenter.dk), 2000.
4. Türker, M., Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyogaz Üretimi Dünya’da ve Türkiye’de Eğilimler, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 2008.
5. Biyogaz ve Türkiye, <http://www.biyogaz.com>, 2010.
6. Özmen, P. And Aslanzadeh, S., Biogas Production from Municipal Waste Mixed with Different Portions of Orange Peel, Master Thesis, University of Boraes, Boraes, 2009.
7. Noyola, A., Morgan, S., J., M., Hernandez, L., J., E., Treatment of Biogas Produced in Anaerobic Reactors for Domestic Wastewater: Odor Control and Energy/Resource Recovery, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 5, 93-114, 2006.
8. Chatanta, D., K., Bioethanol Production from Apple Pomace Left After Juice Extraction, *The Internet Journal of Microbiology*, 5, 2, 2008.
9. Rowles, K., Processed Apple Product Marketing Analysis: Hard Cider and Apple Wine, Staff Paper, Cornell University, New York, 2000.
10. Kılınç, Ö., O., Kurutulmuş Domates ve Elma Posalarının Bıldırcın Radyasyonlarında Kullanım Olanakları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2002.
11. Joshi, V., K., Devrajan, A., Ethanol Recovery from Solid State Fermented Apple Pomace and Evaluation of Physico-chemical Characteristics of the Residue, *Natural Product Radiance*, 7 (2), 127-132, 2008.
12. Vendruscolo, F., Albuquerque, P., M., Streit, F., Apple Pomace: A Versatile Substrate for Biotechnological Applications, *Critical Reviews in Biotechnology*, 28, 1-12, 2008.

13. Sommer, S., G., Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective, 12th Ramiran International Conference , Denmark, August, 2006.
14. Coalla, H., L., Fernandez, J., M., Moran, M., A., Bobo, M., R., Biogas Production apple pulp, Bioresource Technology, 100, 3843-3847, 2009.
15. Viswanath, P., Sumithra, S., Nand, K., Anaerobic Digestion of Fruit and Vegetable Processing Wastes for Biogas Production, Bioresource Technology, 40, 43-48, 1992.
16. Boe, K., Angelidaki, I., Serial CSTR Digester Configuration for Improving Biogas Production from Manure, Water Research, 43, 166-172, 2009.
17. Carrere, H., Sialve, B., Bernet, N., Improving Pig Manure Conversion Into Biogas by Thermal and Thermo-chemical Pretreatments, Bioresource Technology, 100, 3690-3694, 2009.
18. Leggett, J., Anaerobic Digestion: Biogas Production and Odor Reduction from Manure, College of Agricultural Sciences, U.S. Department of Agriculture, and Pennsylvania Counties Cooperating.
19. Prochnow, A., Heirman, M., Plöchl, M., Linke, B., Idle, C., Amon, T., Hobbs, P., J., Bioenergy from Permanent Grassland-A Review: 1. Biogas, Bioresource Technology, 100, 4931-4944, 2009.
20. Neves, L., Ribeiro, R., Oliveira, R., Alves, M., M., Enhancement of Methane Production from Barley Waste, Biomass and Bioenergy, 30, 599-603, 2006.
21. Seppela, M., Paavola, T., Lehtomaki, A., Rintala, J., Biogas Production from Boreal Herbaceous Grasses – Specific Methane Yield and Methane Yield Per Hectare, Bioresource Technology, 100, 2952-2958, 2009.
22. Demirel, B., Scherer, P., Bio-Methanization of Energy Crops Through Mono-Digestion for Continuous Production of Renewable Biogas, Renewable Energy, 34, 2940-2945, 2009.
23. Gelegenis, J., Georgakakis, D., Angelidaki, I., Mavris, V., Optimization of Biogas Production from Olive- Oil Mill Wastewater, by Co digesting with Diluted Poultry-Manure, Applied Energy, 84, 646-663, 2007.
24. Sarapatka, B., Factors Influencing Biogas Production During Full-Scale Anaerobic Fermentation of Farmyard Manure, Bioresource Technology 49, 17-23, 1994.

25. Lallai, A., Muro, G., Onnis, The Effects of Certain Antibiotics on Biogas Production in The Anaerobic Digestion of Pig Waste Slurry, *Bioresource Technology* 82, 205-208, 2002.
26. Al-Masri, M.R., Changes in Biogas Production Due to Different Ratios of Some Animal and Agricultural Wastes, *Bioresource Technology* 77, 97-100, 2001.
27. Batzias, F.A., Sidiras, D.K., Spyrou, E.K., Evaluating Livestock Manures for Biogas Production: a GIS Based Method, *Renewable Energy* 30, 1161–1176, 2005.
28. Kaparaju, P., Ellegaard, L., Angelidaki, I., Optimisation of Biogas Production from Manure Through Serial Digestion: Lab-scale and Pilot-scale Studies, *Bioresource Technology*, 100,701–70, 2009.
29. Tekin, A.R., Dalgıç, A.C., Biogas Production from Olive Pomace Resources, *Conservation and Recycling* 30, 301–313, 2000.
30. Murphy, J.D., Power, N., Technical and Economic Analysis of Biogas Production in Ireland Utilizing Three Different Crop Rotations, *Applied Energy*, 86, 25–36, 2009.
31. Liu, G., Zhang, R., El-Mashad, H. M., Dong, R., Effect of Feed to Inoculum Ratios on Biogas Yields of Food and Green Wastes, *Bioresource Technology*, 100, 5103–5108, 2009.
32. Ozturk, I., *Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları*, Su Vakfı Yayınları, Istanbul, 2007.
33. Gerardi, H., M., *The Microbiology of Anaerobic Digesters*, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, Canada, 2003.
34. Tantrakarnapa, K., Performance Evaluation and Modeling of Upflow Anaerobic Sludge Blanket Process Treating Dairy, Ph. D. thesis, Department of Environmental Engineering University of Suranaree University of Technology, Thailand, 2003.
35. Atayol, A.A., Anaerobic Co-Treatability of Olive Mill Wastewaters and Domestic Wastewater, Ph. D. Thesis, Department of Environmental Engineering University of İzmir Institute of Technology İzmir, Turkey, (2003).

36. Dalgic, A.C., Biogas Production from Olive Residue, Ph.D. thesis, Department of Food Engineering, University of Gaziantep, Turkey, 1998.
37. Kara, M. (2007). Anaerobic Filter Performance at Different Conditions, Ph.D. thesis, Department of Environmental Engineering, Dokuz Eylul University, Turkey, 2007.
38. Boller, M.A., Eugster, J., Upflow Anaerobic Filtration of a Sugar Containing Wastewater, Second International Symposium on Waste Management Problems in Agro Industries. 191-200, Istanbul, Turkey, 1992.
39. Tokgöz, S., Application of Anaerobic Filter Systems to Treat Concentrated Organic Wastes, Ph.D. thesis, Department of Environmental Engineering, Dokuz Eylül University, Turkey, 1998.
40. Öztürk, M. (2005). Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
41. Cheung, W. L. M., Roles of Immobilized Biomass in an Anaerobic Hybrid Reactor, Ph.D. thesis, Department of Civil and Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, (in the PRC), 2003.
42. Filik, C., Anaerobic Treatability and Methane Production Potential of High Organic Materials Containing Wastewaters from Agricultural Industry in Eskisehir, Ph. D. thesis, Department of Biology, Eskisehir Osmangazi University, Turkey, 2000.
43. Rafique, R., Comparison of Thermal, Thermo-Chemical and Chemical Pretreatments for Enhanced Biogas and Methane Production by Dewatered Pig Manure, Ph. D. thesis, Aalborg University, Denmark, 2007.

EKLER

Tablo 1. Termal ön arıtım uygulanmış numunelerin yaklaşık uçucu katı yüzdeleri.

Sıc. °C	25	50	70	80	90	100	110	120	130	150	170
Yüzde %	22,99	24,80	28,91	27,88	24,94	27,10	30,72	29,97	28,84	23,12	24,55

Tablo 2: Kümülatif biyogaz üretimi (L/kgVS)

Sıc. °C	0.5. gün	1. gün	1.5. gün	2. gün	3. gün	4. gün	5. gün	6. gün
25	19,57	85,67	117,20	136,34	168,52	202,23	240,94	263,12
50	18,55	78,62	108,65	126,8	155,82	186,47	221,54	240,49
70	15,91	69,15	94,4	110,30	136,24	162,34	192,77	209,02
80	15,42	71,72	98,62	114,4	139,86	166,75	197,6	218,4
90	17,64	78,97	110,44	127,28	154,54	184,01	217,68	247,35
100	9,22	72,67	101,63	117,87	143,32	170,25	201,24	231,5
110	13,35	63,14	89,02	102,69	124,83	149,24	175,60	201,32
120	13,51	61,54	88,06	101,07	124,08	149,77	178,12	203,80
130	13,35	61,88	89,97	104,53	128,45	154,80	185,31	214,44
150	16,00	77,41	114,61	133,21	162,19	193,98	231,17	266,21
170	16,29	76,57	109,36	126,26	153,96	183,69	216,27	248,66

Sic. °C	7 . gün	8 . gün	9 . gün	10 . gün	11 . gün	12 . gün	13 . gün	14 . gün	15 . gün
25	291,38	311,39	327,05	333,57	342,27	360,10	361,41	375,76	379,67
50	262,47	286,25	302,38	308,63	316,9	335,64	336,85	347,74	351,77
70	223,72	246,54	261,07	267,12	273,69	290,11	291,49	300,48	304,81
80	239,55	258,92	272,01	277,93	284,74	300,16	301,95	311,28	315,94
90	274,01	292,05	305,88	312,09	320,51	336,55	339,15	349,37	354,79
100	254,55	271,15	283,33	289,42	296,61	310,63	312,66	323,17	328,34
110	219,87	235,50	247,22	252,91	258,61	270,81	272,60	282,86	288,07
120	221,48	236,16	248,50	253,84	260,34	272,52	274,19	284,03	290,70
130	237,32	250,50	263,33	268,35	275,46	287,6	289,16	298,52	305,97
150	287,83	308,59	326,76	333,89	342,98	359,85	362,01	373,90	381,90
170	259,04	281,44	300,59	307,72	316,68	333,78	335,21	346,61	354,35

Sıc. °C	17. gün	19. gün	21. gün	23. gün	25. gün	29. gün	33. gün	37. gün	42. gün
25	387,06	395,33	395,76	402,72	409,46	427,29	445,13	456,43	466,44
50	358,42	367,29	367,29	373,54	379,19	394,91	413,66	423,94	436,04
70	310,17	318,81	318,81	323,65	327,97	340,60	357,02	365,32	375,00
80	321,86	329,39	330,11	334,77	339,07	350,37	365,79	374,22	382,46
90	361,60	369,02	371,02	375,23	380,04	392,87	408,91	418,13	428,55
100	333,32	340,88	342,36	345,31	350,29	361,73	375,74	385,34	395,67
110	291,65	297,99	298,81	301,09	306,46	314,76	326,96	336,08	344,54
120	295,03	302,20	303,37	306,71	311,21	319,05	331,22	340,23	348,90
130	310,83	319,49	320,88	324,69	328,33	335,62	347,75	357,11	366,13
150	387,96	397,04	399,20	403,53	409,15	419,53	436,40	445,70	458,24
170	359,44	366,57	368,61	373,29	380,22	388,16	405,26	413,82	424,82

Tablo 3. Ortalama metan yüzdeleri

Sıc.°C	10.gün	20.gün	30.gün	40.gün
25	11,83	35,44	37,78	38,69
50	36,56	39,64	39,75	41,25
70	40,50	28,95	41,62	42,88
80	35,88	34,61	41,29	44,46
90	32,08	34,28	40,94	42,38
100	29,86	36,77	45,50	48,41
110	29,66	46,56	43,50	46,31
120	27,32	38,60	47,76	50,13
130	26,84	43,51	45,44	46,84
150	36,37	45,62	48,96	52,07
170	37,72	34,61	47,77	47,66

Tablo 4 . Kümülatif metan üretimi(L/kgVS)

Sıc. °C	10.gün	20.gün	30.gün	40.gün
25	39,48	140,11	161,43	180,50
50	112,85	145,61	157,01	179,86
70	108,20	92,30	141,78	160,82
80	99,74	114,00	144,69	170,06
90	100,14	126,51	160,87	181,62
100	86,42	125,37	164,62	191,56
110	75,03	138,75	136,94	159,58
120	69,36	116,65	152,38	174,92
130	72,02	139,03	152,52	171,52
150	121,46	181,14	205,42	238,62
170	116,09	126,88	185,43	202,50

ÖZGEÇMİŞ

Ad - Soyad : Fatma VARİNLİ

Baba adı : Zekai

Anne adı : Melahat

Doğum yeri : Kayseri

Doğum tarihi : 19.01.1984

Lise eğitimimi 2002 yılında tamamladım. 2002 yılında Atatürk Üniversitesi'nde Çevre Mühendisliği Bölümünde eğitim görmeye hak kazandım ve 2006 yılında mezun oldum. 2007 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladım.

İletişim Bilgileri

Adres: Yeniköy mh. Denizşafağı cd. Selçuklu apt. 4/11 Melikgazi/KAYSERİ

e-mail: fatosvarinli@gmail.com