



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BİYOGAZ ÜRETİMİNDE FARKLI ÖN
ARITMA İŞLEMLERİ UYGULANMIŞ MUZ
ATIKLARININ BİYOKİMYASAL METAN
POTANSİYELİNİN (BMP) ARAŞTIRILMASI**

Kerim MARTİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Kerim MARTİN tarafından hazırlanan “Biyogaz Üretiminde Farklı Ön Arıtma İşlemleri Uygulanmış Muz Atıklarının Biyokimyasal Metan Potansiyelinin (BMP) Araştırılması” adlı tez çalışması 20/06/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

Danışman

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

Üye

Doç. Dr. Murat CİNİVİZ

İmza







Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet COŞKUN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

Kerim MARTİN
30.05.2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİYOĞAZ ÜRETİMİNDE FARKLI ÖN ARITMA İŞLEMLERİ UYGULANMIŞ MUZ ATIKLARININ BİYOKİMYASAL METAN POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Kerim MARTİN

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

2017, xii+82 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Hidayet OĞUZ
Prof. Dr. Ali KAHRAMAN
Doç. Dr. Murat CİNİVİZ**

Bu tezde ülkemizin Akdeniz kıyılarında yaygın olarak yapılan muz yetiştiriciliği sonucu üretilen tarımsal atıkların biyokimyasal metan potansiyeli araştırılmıştır. Tek yıllık otsu bir bitki olan muzun hasatı sonucunda ticari değeri olmayan ve her yıl bertaraf edilmesi gereken büyük miktarlarda tarımsal atık üretilmektedir. Mevcut durumda bu tarımsal atıklar toprak üzerinde çürümeye bırakılmaktadır. Ancak bu atıktan biyogaz üretimi halinde hem enerji kazanımı sağlanmış hem de atık bertarafı gerçekleştirilmiş olur. Ayrıca biyogaz üretiminden sonra kalan materyalin toprakta organik gübre olarak kullanılma potansiyeli de bulunmaktadır.

Lignoselülozik atıklardan üretilen biyogaz miktarının artırılması için literatürde çeşitli ön arıtma teknikleri uygulanmıştır. Bu tez çalışmasında, muz hasat atıklarına Termal-Ca(OH)₂ ön arıtma prosesi uygulanmış, ham muz atığı ve ön arıtma uygulanmış atıkların metan üretimleri karşılaştırılmıştır. Ön arıtma deneyleri %3 katı madde konsantrasyonunda gerçekleştirilmiştir. Ön arıtma prosesinde, bağımsız değişkenler Ca(OH)₂ konsantrasyonu (%2, %5, %8), reaksiyon sıcaklığı (50, 75, 100°C) ve reaksiyon süresi (1, 8, 15 saat) olarak belirlenmiştir. Ön arıtma deneyleri Design Expert programı ile tasarlanmış ve toplamda 16 farklı koşulda ikişerli deney setleri olmak üzere 32 adet ön arıtma deneyi yapılmıştır. Ön arıtma prosesinin etkinliğinin belirlenmesi için ön arıtma uygulanmış numunelere pH ölçümü, çŞeker analizi ve BMP (Biyokimyasal Metan Potansiyeli) testi yapılmıştır.

32 günlük BMP testi sonunda ön arıtma uygulanmamış muz atığından üretilen kümülatif metan miktarı 214.60 mLCH₄/gUKM olarak bulunmuştur. Ön arıtma uygulanmış muz atıklarından üretilen metan miktarları ise ön arıtma koşullarına göre farklılıklar göstermiştir. En fazla metan üretimi, %2 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda, 50 °C reaksiyon sıcaklığında 1 saat süresince ön arıtma uygulanan muz atığından elde edilmiştir. Bu koşullarda üretilen kümülatif metan miktarı 264.62 mL/gUKM'dir. Ön arıtma prosesi ile biyogaz potansiyelinde maksimum %23.44'lik bir artış elde edilmiştir. Muz atığının metan üretimi 100°C sıcaklık ve yüksek Ca(OH)₂ konsantrasyonundaki ön arıtma koşullarından ise olumsuz yönde etkilenmiş ve inhibisyon etkisi gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyogaz, BMP, Muz atığı, Oksijensiz çürütme, Ön arıtma, Yenilenebilir enerji

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

INVESTIGATION OF BIOCHEMICAL METHANE POTENTIAL OF BANANA WASTE TREATED WITH DIFFERENT PRETREATMENT PROCESS IN BIOGAS PRODUCTION

Kerim MARTİN

**Institute of Science of Necmettin Erbakan University
Energy Systems Engineering Department**

Advisor: Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

2017, xii + 82 Pages

Jury

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

Assoc. Prof. Dr. Murat CİNİVİZ

In this thesis, BMP of banana waste obtained from banana farming widely in south coast of Turkey was investigated. Banana is an annual plant. After harvesting of banana, a big amount of waste that has no commercial value, is produced yearly. This waste is left in the field to decay in current situation. However, we can both get green energy and waste disposal by producing biogas from this waste. Also, material after producing biogas has a potential of being organic fertilizer.

In literature, some pretreatments were applied to lignocellulosic wastes to improve biogas yield. In this thesis, thermal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pretreatment was applied to banana waste. BMPs of pretreated banana waste was compared with raw banana waste. The pretreatment tests were applied for 3% solid content. Independent variables were $\text{Ca}(\text{OH})_2$ concentration of 2%, 5%, 8%, pretreatment temperature of 50°C, 75°C, 100°C and pretreatment time of 1 hour, 8 hour, 15 hour. Pretreatment tests were designed with Design Expert Program. The tests were performed for 16 different conditions for two times. 32 pretreatment tests were performed totally. pH measurement, soluble reduced sugar analysis and BMP test were performed to pretreated banana wastes in order to evaluate activity of pretreatment tests.

BMP tests were maintained for 32 days. While cumulative methane production of raw banana waste was found as 214.60 mL/gVS, cumulative methane production of pretreated banana waste has some differences due to pretreatment conditions. Maximum methane yield was obtained from banana waste in conditions of 2% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ concentration, 50°C reaction temperature and 1 hour reaction time. BMP value was 264.92 mL/gVS that was 23.44% higher than untreated banana waste. Some pretreatment conditions effected methane production negatively. These conditions were 100 °C temperature and high $\text{Ca}(\text{OH})_2$ concentrations. In these conditions inhibition affect was occurred.

Keywords: Biogas, BMP, Banana waste, Anaerobic digestion, Pretreatment, Renewable energy

ÖNSÖZ

Biyogaz son zamanlarda araştırmacılar tarafından oldukça ilgi çeken konular arasındadır. Atıklardan üretilmesi nedeniyle biyogaz, hem enerji arzı hem de atık bertarafı sağlamaktadır. Ayrıca biyogaz üretildikten sonra kalan kısım, organik gübre olarak tarımsal faaliyetlerde kullanılabilir. Ülkemizin farklı bölgelerinde farklı tarımsal faaliyetler yapılmakta ve çeşitli organik atıklar meydana gelmektedir. Bu tez çalışmasında muz atığının biyokimyasal metan potansiyeli araştırılmıştır.

Bu tez çalışmamda bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, benden yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli tez danışmanım Prof. Dr. Hidayet OĞUZ'a, Necmettin Erbakan Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölüm Hocalarıma ve bana maddi, manevi her konuda destek olan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Murat DİLMEÇ'e,

Laboratuvarını açarak, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, bana yol gösteren Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi sayın hocam Doç. Dr. N. Altunay PERENDECİ'ye, doktora öğrencisi Arş. Gör. Fatih YILMAZ'a ve bana laboratuvar çalışmalarımda yardımcı olan yüksek lisans öğrencilerine,

Her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini her an arkamda hissettiğim başta eşim olmak üzere tüm aileme,

Teşekkürlerimi sunarım.

Kerim MARTİN
KONYA 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Biyoenerji ve Biyoyakıtlar	2
1.2. Biyogaz.....	5
1.3. Biyogaz Üretimi (Oksijensiz Çürütme).....	7
1.3.1. Hidroliz.....	7
1.3.2. Asit oluşumu.....	8
1.3.3. Asetat oluşumu	8
1.3.4. Metan oluşumu	9
1.4. Biyogaz Üretimini Etkileyen Parametreler	9
1.4.1. Sıcaklık	10
1.4.2. Hammadde konsantrasyonu.....	11
1.4.3. pH	12
1.4.4. C/N Oranı	13
1.4.5. Seyreltme	14
1.4.6. Yükleme oranı	14
1.4.7. Hidrolik bekletme süresi.....	15

1.4.8. Zehirlilik	15
1.4.9. Karıştırma	15
1.5. Biyogaz Üretiminde Ön Arıtım.....	16
1.6. Bazı Biyogaz Hammaddeleri ve Muz Atığı	16
1.6.1. Muz atığının yapısı	17
1.6.2. Muz üretimi	18
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	19
2.1. Çeşitli Biyokütlelerden Biyogaz Üretimi	19
2.2. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Bazı Ön Arıtım Teknikleri.....	26
2.3. Muz Atığından Biyogaz Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar	36
2.4. Muz Atığından Biyogaz Üretiminde Kullanılan Bazı Ön Arıtım Teknikleri.....	41
3. MATERYAL ve METOT.....	47
3.1. Muz Atığı	47
3.2. Muz Atığının Karakterizasyon Analizleri	48
3.2.1. Toplam katı madde (TKM) ve uçucu katı madde (UKM) analizleri.....	49
3.2.2. Ekstrakte olabilen madde ve yağ analizi	49
3.2.3. Protein analizi	50
3.2.4. çŞeker analizi.....	51
3.2.5. Selüloz, hemiselüloz, lignin, çözünür madde fraksiyon analizleri	51
3.2.6. Elementel analiz	51
3.3. Termal Ca(OH) ₂ Ön Arıtma Deney Tasarımı.....	52
3.4. Termal Ca(OH) ₂ Ön Arıtmanın Etkilerinin Belirlenmesi.....	55
3.4.1. İndirgen şeker (çŞeker) analizi	55
3.4.2. Toplam katı madde analizi	57
3.4.3. Uçucu katı madde analizi	57

3.4.4. BMP (Biyokimyasal Metan Potansiyeli) testi	58
3.4.4.1. Aşı çamuru	59
3.4.4.2. Makro-Mikro-Tampon çözeltiler	59
3.4.4.3. Biyogaz kompozisyonunun belirlenmesi	60
3.4.4.4. Toplam gaz ölçümü	61
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....	62
4.1. Muz Atığının Karakterizasyonu	62
4.2. Termal Ca(OH) ₂ Ön Arıtmanın Etkileri.....	63
4.2.1. Ortam pH'nın değişimi.....	63
4.2.2. Ön arıtma prosesinin indirgen şeker miktarına etkisi.....	65
4.2.3. Ön arıtma uygulanmış hasat atıklarının TKM ve UKM konsantrasyonları	68
4.2.4. BMP(Biyokimyasal Metan Potansiyeli)'ne etkileri.	69
4.3. Teorik ve Pratik BMP Değerlerinin Karşılaştırılması.....	72
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
5.1. Sonuçlar.....	74
5.2. Öneriler.....	75
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	82

KISALTMALAR

AAC	: Asidik Otoklavlama
ADL	: Lignin
ALAC	: Bazik Otoklavlama
ALMW	: Bazik Mikrodalga ile Isıtma
ALUS	: Bazik Ultrasonik Isıtma
AMW	: Asidik Mikrodalga ile Isıtma
AUS	: Asidik Ultrasonik Isıtma
BMP	: Biyokimyasal Metan Potansiyeli
C/N	: Karbon/Azot Oranı
Cel	: Selüloz
CM	: Tavuk Gübresi
COD	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
CS	: Mısır Koçanı
DAI	: İnkübasyon Süresi
DM	: Kuru Madde
DNS	: Dinitrosalisilik Asit
FP	: Mantar Ön-arıtımı
GC	: Gaz Kromatografisi
GE	: Bürüt Enerji
GPR	: Biyogaz Üretim Miktarı
Hem	: Hemi-selüloz
HSS-AD	: Yarı Katı Oksijensiz Çürütme
KM	: Katı Madde
LF	: Muz Yaprağı
MC	: Buhar İçeriği
MPY	: Elde Edilen Metan Üretimi
NI	: Normal Şartlardaki Hacim (273 K, 1,013 bar)
ORL	: Organik Yükleme Oranı
PH	: Muz Yumuşak Kısmı
Po	: Plerotus Astreatus Mantarı (mantar türü)

PS	: Muz Yalancı Gövdesi
R ³⁷ SS	: 37 °C Buhar Saman Reaktörü
R ⁴⁴ SS	: 44 °C Buhar Saman Reaktörü
R ^{Hc} SS	: Yüksek Karbonlu Saman Buhar Reaktörü
R ^{Lc} SS	: Düşük Karbonlu Saman Buhar Reaktörü
RM	: Gübre Reaktörü
RS	: Pirinç Samanı (rice straw)
RS	: Saman Reaktörü (reactor straw)
R ^{Tc} SS	: Sabit Sıcaklık Saman Reaktörü
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopu
SS-AD	: Katı Oksijensiz Çürütme
TKM(TS)	: Toplam Katı Madde
Tr	: Trioderma Reesei Mantarı (mantar türü)
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UKM(VS)	: Uçucu Katı Madde
VFA	: Uçucu Yağ Asidi
W-AD	: Islak Oksijensiz Çürütme
WOMW	: Islak Öğütülmüş Zeytin Atığı
XA	: Ham Kül
XF	: Ham Lif
XL	: Ham Yağ
XP	: Ham Protein

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1. Türkiye'nin toplam enerji arzının enerji kaynaklarına göre dağılımı.....	2
Şekil 1. 2. Biyoenerji döngüsü.....	3
Şekil 1. 3. Bitkilerin hücre yapısı	4
Şekil 1. 4. Sıcaklığın metan üretimine etkisi	11
Şekil 1. 5. Toplam katı konsantrasyonunun biyogaz üretimine etkisi	12
Şekil 1. 6. pH kontrolünün metan üretimine etkileri	13
Şekil 2.1. pH'ın biyogaz üretimine etkisi.....	20
Şekil 2. 2. C/N oranının biyogaz ve metan üretimine etkileri	20
Şekil 2. 3. Organik yükleme oranının biyogaz ve metan üretimine etkileri	21
Şekil 2. 4. Günlük üretilen biyogaz miktarı.....	22
Şekil 2. 5. Farklı karışım oranlarının gaz verimleri; Burada CS: mısır koçanı, CM: tavuk gübresi, W-AD: ıslak oksijensiz çürütme, HSS-AD: yarı katı oksijensiz çürütme, SS-AD: katı oksijensiz çürütme koşullarıdır.	25
Şekil 2. 6. Karışım türlerinin biyogaz üretimine etkileri	26
Şekil 2. 7. H ₂ O ₂ ön arıtmanın ve pH'ın gaz üretimine etkisi	27
Şekil 2. 8. Ön arıtmanın etkisi	28
Şekil 2. 9. Mantar ön arıtımının biyogaz üretimine etkisi; a) P. Ostreatus, b) T. reesei.....	29
Şekil 2. 10. Mantar ve öğütme ön arıtım uygulama şeması.....	31
Şekil 2. 11. Mantar ve öğütme ön arıtımın pirinç samanı üzerindeki etkisi	32
Şekil 2. 12. Mantar ve öğütmenin metan miktarına etkisi	32
Şekil 2. 13. Kontrol grubu ve ön arıtılmış numunelerin SEM görüntüleri	34
Şekil 2. 14. Muz yaprağı ve araka kabuğuna uygulanan prosesler	37
Şekil 2. 15. Zhengyun ve arkadaşlarının kullandığı biyogaz düzeneği	39
Şekil 2. 16. Tek adımlı reaktörden elde edilen metan miktarı	40
Şekil 2. 17. NaOH ön arıtımının çıkan gaz miktarlarına etkisi.....	42
Şekil 2. 18. Farklı numune boyutunda ve miktarlarında üretilen biyogaz miktarları	43
Şekil 3.1. Boyut küçültülmüş muz yaprağı ve yalancı gövdesi.....	47
Şekil 3.2. Muz yaprağı ile yalancı gövdesinin karıştırılması.....	48
Şekil 3.3. Muz atığının derin dondurucuda muhafaza şekli	48

Şekil 3.4. Ekstrakte olabilen madde ve yağ analizi yapılan düzenekler; a) Renk değişimi başlangıcı, b) Renk değişiminin tamamlanmış hali	50
Şekil 3.5. Ön arıtım hazırlığı	54
Şekil 3.6. Ön arıtım yapılan deney düzeneği	55
Şekil 3.7. çŞeker analizinde kullanılan su banyosu ve vortex cihazı	56
Şekil 3.8. Su banyosuna koyulmadan önceki karışım	56
Şekil 3.9. Spektrofotometre ile şeker ölçümü	57
Şekil 3.10. TKM-UKM yapılan numunelerin ilk ve son halleri	58
Şekil 3.11. İnkübatöre yerleştirilen BMP şişeleri	59
Şekil 3.12. Gaz analizinin yapılışı	61
Şekil 3.13. Günlük toplam gazın ölçüldüğü gaz-sıvı yer değiştirme düzeneği	61
Şekil 4.1. pH ölçüm sonuçları	64
Şekil 4.2. Ön arıtmanın çŞekere etkisi	65
Şekil 4.3. Ön arıtma uygulanmış muz atığının TKM ve UKM değerleri	68
Şekil 4.4. BMP sonuçları	69
Şekil 4.5. Metan miktarındaki değişim	70

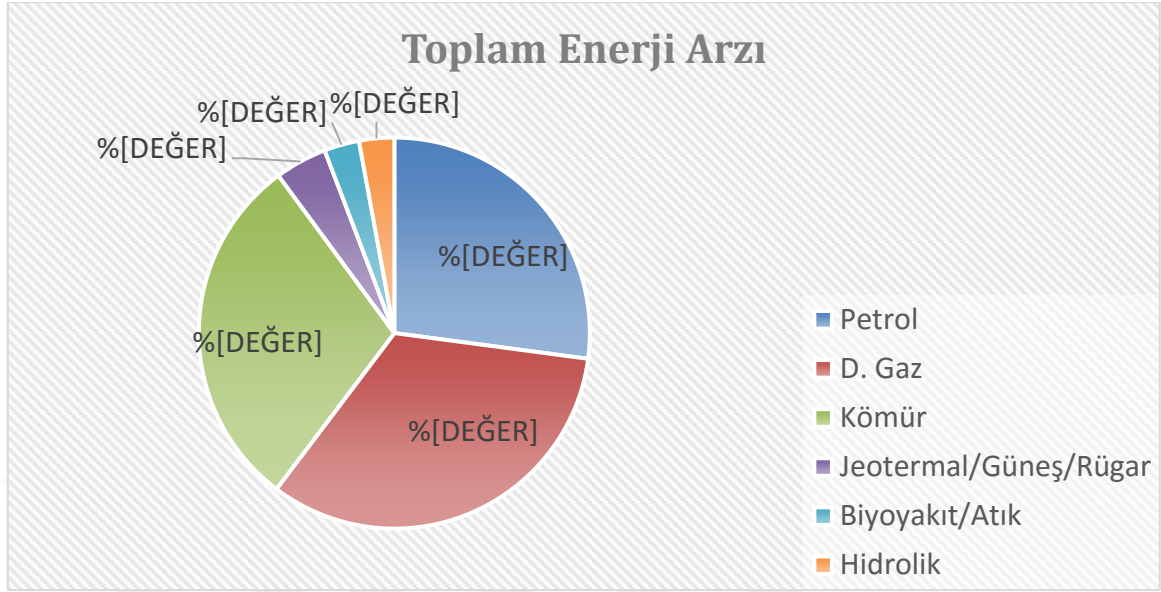
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. 1. Biyogazın bileşenleri	6
Çizelge 1. 2. Biyogaz ile doğal gazın karşılaştırılması.....	6
Çizelge 1. 3. Biyogazın kalorifik değeri	6
Çizelge 1. 4. Asetat oluşum reaksiyonları	8
Çizelge 1. 5. Bazı maddelerin C/N oranları.....	14
Çizelge 1. 6. Türkiye'nin muz üretim istatistikleri.....	18
Çizelge 2. 1. Farklı oranlarda karıştırılan meyve-sebze atığı ile yiyecek atığının karakterizasyonu ve gaz üretimleri.....	23
Çizelge 2. 2. Farklı kategorilerdeki sığırların gübre içeriği ve elde edilen biyogaz miktarları	24
Çizelge 2. 3. Farklı karışım oranlarının gaz üretimine etkisi.....	25
Çizelge 2. 4. Farklı atıklar kullanılarak oluşturulan gruplar.....	26
Çizelge 2. 5. Buhar patlaması ön arıtımının etkisi.....	30
Çizelge 2. 6. NaOH çözeltisinde bekletme ön arıtımının etkisi.....	33
Çizelge 2. 7. NaOH-Mikrodalga ön arıtımının etkisi	33
Çizelge 2. 8. Mezofilik ve termofilik şartların gaz üretimine etkisi	36
Çizelge 2. 9. Chanakya ve Sreasha tarafından yapılan çalışmanın sonuçları	38
Çizelge 2. 10. Muzun bazı kısımlarının özellikleri.....	38
Çizelge 2. 11. Muzun farklı kısımları kullanılarak hazırlanan deney grupları	39
Çizelge 2. 12. İki adımlı reaktörün özeti	41
Çizelge 2. 13. NaOH ön arıtımının muz ağacının yapısına etkisi.....	41
Çizelge 2. 14 .Pei ve arkadaşlarının yaptığı tasarım ve deney sonuçları.....	44
Çizelge 2. 15. Uygulanan asidik ön arıtmalar. AAC: otoklavlama, AMW: mikro dalga ile ısıtma, AUS: ultrasonik ısıtma.....	45
Çizelge 2. 16. Uygulanan bazik ön arıtmalar. ALAC: otoklavlama, ALMW: mikro dalga ile ısıtma, ALUS: ultrasonik ısıtma	46
Çizelge 3.1. Ön arıtım deney tasarımı.....	53
Çizelge 3.2. Makro-Mikro-Tampon çözelti hazırlama tablosu.....	60
Çizelge 4.1. Muz atığının karakterizasyon sonuçları.....	62
Çizelge 4.2. Muz atığının pratik ve teorik metan potansiyeli ve üst ısıl değeri.....	73

1. GİRİŞ

İnsanların enerji ihtiyacı geçmişten günümüze artarak devam etmektedir. Teknolojinin hızla gelişmesi enerjiye olan bu ihtiyacı daha da artırmıştır. Hâlihazırda enerji ihtiyacımızın büyük çoğunluğu fosil kaynaklardan (Petrol %27,1- Doğal gaz %33,2- Kömür %29,6) karşılanmaktadır (Şekil 1. 1). Ancak bu kaynakların oldukça az ömürlerinin kaldığı artık herkes tarafından bilinen bir gerçektir. Ayrıca küresel ısınmanın tehlikeli boyutlara ulaşması da günümüzde kullanılan enerji kaynağının yenilenebilir ve sürdürülebilir olmasını mecbur kılmaktadır.(Öğüt and Oğuz 2006) Bu kaynaklar arasında biokütle en büyük potansiyele sahiptir. (Oğuz 2004). Biyokütleden çeşitli alternatif yakıtlar üretmek mümkündür. Biyoetanol, biyodizel ve biyogaz biyokütleden üretilen en önemli alternatif yakıtlardır (Oğuz et al. 2010) Biyogaz biyokütleden elde edilen bir gaz yakıttır. Biyogaz çeşitli organik atıklardan üretilebilmektedir. Bu atıklar arasında hayvan atıkları, bitki atıkları, şehir atıkları, sanayi atıkları vs. yer almaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı muz atığına uygulanan Termal- Ca(OH)_2 ön arıtmasının atıktan elde edilecek olan biyogaz miktarına etkilerinin araştırılmasıdır. Tez kapsamında farklı koşullarda ön arıtma uygulanan muz atığına BMP (Biyokimyasal metan potansiyeli) testi yapılmış ve sonuçlar ham muz atığının BMP değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca muz atığının elementel analiz sonuçlarına göre teorik olarak elde edilebilecek metan potansiyeli de hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.



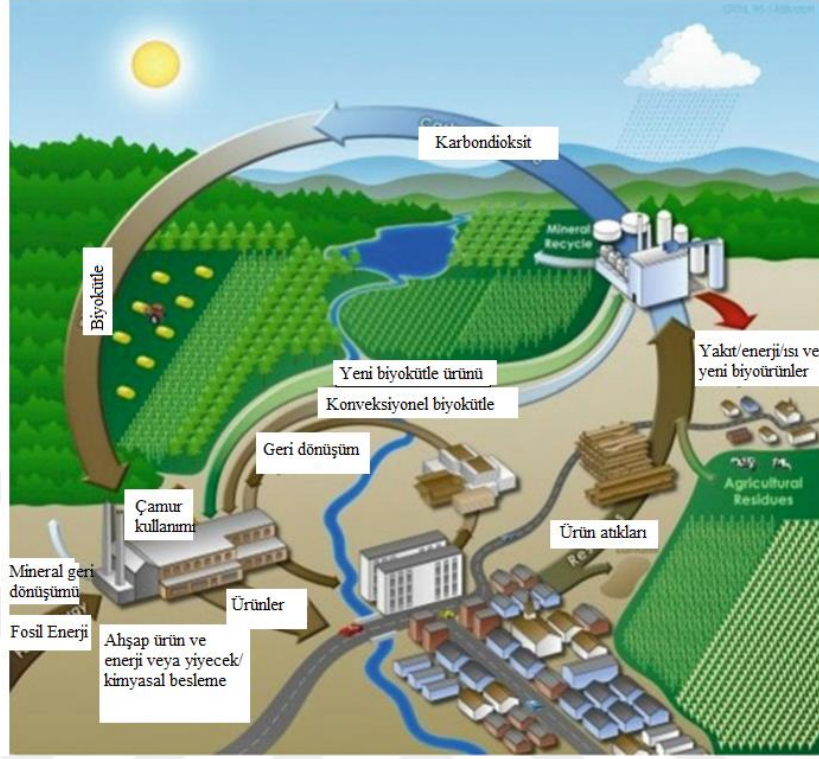
Şekil 1. 1. Türkiye'nin toplam enerji arzının enerji kaynaklarına göre dağılımı (İEA, 2016)

1.1. Biyoenerji ve Biyoyakıtlar

Biyokütlelerden elde edilen enerjiye biyoenerji denilmektedir. Biyokütleler arasında ot, çim, yaprak, dal, gövde gibi ağaç parçaları, çeşitli sanayilerin atıkları, çerçöp, orman atıkları, deniz bitkileri gibi birçok organik atık yer almaktadır.

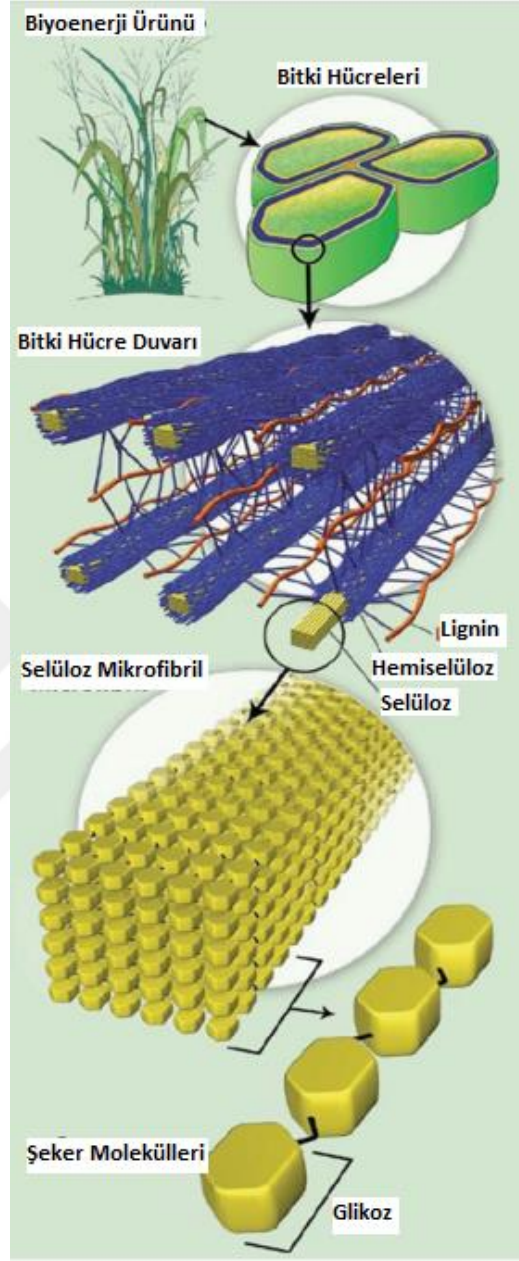
Biyokütle ayrıca biyoyakıt üretiminde de kullanılmaktadır. Bu yakıtlar katı, sıvı ve gaz formda olabilirler. Başka bir terim olan biyogüç de biyokütleden elektrik üreten güç sistemleri anlamına gelmektedir. Biyoyakıtlar en fazla taşıma sektöründe kullanılmaktadır (Ghosh and Prelas, 2011).

Biyokütleler de fosil yakıtlar gibi yandıkları zaman havaya karbondioksit bırakırlar. Ancak bitkiler fotosentez için gerekli olan karbondioksiti havadan almaktadır. Bu durum dikkate alındığında biyokütle kullanımı havaya karbon salınımı yapmamış kabul edilebilir ki bu da biyoenerjiyi çevreci bir enerji kaynağı olarak değerlendirmemizi sağlar. Şekil 1. 2'de görülen biyoenerji döngüsü doğada sürekli olarak gerçekleşmektedir. Dolayısıyla biyoenerji yenilenebilir bir enerji türüdür.



Şekil 1. 2. Biyoenerji döngüsü (Ghosh and Prelas, 2011)

Bitkiler enerjiyi karbonhidrat ya da şeker, lignin ve selüloz olarak depolarlar (Şekil 1. 3). Bu yapıların oranı bitkinin türüne göre değişiklik göstermektedir. Bitkiler yapıtaşları olan karbonhidratları oluşturmak için havadan karbondioksiti, topraktan da suyu alırlar. Güneş ışığını da kullanıp fotosentez yaparak yapıtaşlarını oluştururlar. Böylece bünyelerinde potansiyel bir enerji barındırırlar. Bu enerji çeşitli yöntemlerle kullanılabilir hale getirilir.



Şekil 1. 3. Bitkilerin hücre yapısı (Ghosh and Prelas, 2011)

Biyokütle kaynakları aşağıdaki gruplara ayrılabilir;

- Biyokütle işlem atıkları
 - Hamur ve kâğıt sanayi atıkları
 - Orman atıkları
 - Tarımsal atıklar
- Kentsel katı atıklar
- Şehirselle atıklar
- Hayvan atıkları
- Enerji bitkileri
 - Otsu enerji bitkileri
 - Odunsu enerji bitkileri
 - Endüstriyel enerji bitkileri
 - Tarımsal
 - Denizsel bitkiler (Ghosh and Prelas, 2011).

Biyoyakıtlar, biyokütleden çeşitli yöntemlerle elde edilen katı, sıvı ve gaz formlarda olan yakıtlardır. Biyoyakıtlar aşağıdaki gibi gruplanabilir;

1. Nesil biyoyakıtlar: besin ürünlerinde yer alan şeker, yağ ve nişastadan üretilenler.
2. Nesil biyoyakıtlar: Çok yıllık çimlerle, odunsu malzemeler besin maddelerinin yenmeyen kısımlarından üretilenler.
3. Nesil biyoyakıtlar: birçok kez ürün sağlayabilen alglerden üretilenler (Dahiya, 2015).

1.2. Biyogaz

Biyoyakıtlardan biri de biyogazdır. Biyogaz, çoğunluğu metan ve CO₂ tarafından oluşturulan, havadan hafif, yandığında parlak mavi bir alevle yanan renksiz kokusuz bir gaz karışımıdır. Üretildiği organik maddenin cinsine göre biyogaz içindeki gaz oranları değişmektedir. Bu oranlar genellikle %45-65 CH₄, %30-40 CO₂ ve az miktarda diğer gazlardan oluşmaktadır (Çizelge 1.1).

Biyogaz ısı değeri ve bileşen olarak doğal gazla yakınlık gösteren bir gaz karışımıdır (Çizelge 1. 2). Biyogaz elektrik ve ısı üretmek için, zenginleştirilerek de araç yakıtı olarak kullanılabilir ya da doğal gaz hattına basılabilir (Dahiya, 2015).

Çizelge 1. 1. Biyogazın bileşenleri (Dahiya, 2015)

Biyogaz Bileşenleri	Biyogazın Kompozisyonu (%)
Metan (CH ₄)	45-65%
Karbondioksit (CO ₂)	30-40%
Hidrojen Sülfid (H ₂ S)	0,3-3%
Amonyak (NH ₃)	0-1%
Nem (H ₂ O)	0-10%
Nitrojen (N ₂)	0-5%
Oksijen (O ₂)	0-2%
Hidrojen (H ₂)	0-1%

Çizelge 1. 2. Biyogaz ile doğal gazın karşılaştırılması (Kumar, 2012)

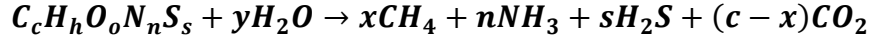
Bileşen	Doğal Gaz (%)	Biyogaz (%)
CH ₄	85	50-80
CO ₂	0.89	20-45
C ₂ H ₆	2.85	-
C ₃ H ₈	0.37	-
C ₄ H ₁₀	0.14	-
N ₂	14.32	-
O ₂	<0.5	-
H ₂ S	<0.5	0-1.5
NH ₃	-	0-0.45

Çizelge 1. 3. Biyogazın kalorifik değeri (Abbasi et al., 2012)

Yakıt	Isıl Değer (Yaklaşık)
Doğal Gaz	8,600 kcal m ⁻³
Sıvılaştırılmış Petrol Gaz	10,800 kcal kg ⁻¹
Gaz Yağı	10,300 kcal kg ⁻¹
Dizel	10,700 kcal kg ⁻¹
Biyogaz	5,000 kcal m ⁻³

1.3. Biyogaz Üretimi (Oksijensiz Çürütme)

Biyogaz üretimi, organik maddelerin oksijensiz ortamda birkaç çeşit reaksiyon sonucunda gerçekleştirilir. Bu reaksiyonlar biyogaz reaktörlerinde meydana gelir. Biyogaz kalitesini içerdiği metan oranı belirler. Biyokütleden metan oluşumu genel olarak



$$x = 1/8(4c + h - 20 - 3n - 2s) \quad (1)$$

$$y = 1/4(4c - h - 20 + 3n + 3s) \quad (2)$$

denklemine göre gerçekleşir (Steinhauser and Deublein, 2011).

Metan fermantasyonu 4 aşamada gerçekleşir;

1. Hidroliz
2. Asit oluşumu
3. Asetat oluşumu
4. Metan oluşumu

Yukarıdaki her bir adım farklı mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Birinci ve ikinci adım ile üçüncü ve dördüncü adım birbirleriyle ilişkili olarak gerçekleştiği için toplamda 2 aşama olarak düşünülebilir. Bu iki aşama koordineli bir şekilde gerçekleşmelidir. 1. aşama çok hızlı gerçekleşecek olursa biyogaz içindeki CO_2 miktarı artar, asit konsantrasyonu yükselir, pH 7'nin altına düşmektedir. 2. aşama çok hızlı gerçekleşecek olursa da metan üretimi düşmektedir (Steinhauser and Deublein, 2011).

1.3.1. Hidroliz

Oksijensiz bozunmanın ilk aşaması hidroliz aşamasıdır. Bu aşamada çözünmemiş polimer bileşenler (selüloz, protein ve yağlar) hidroliz bakteriler tarafından monomerlere ayrılırlar. Bu ayrılma su ile gerçekleşen bir kimyasal reaksiyon neticesinde kovalent bağların yıkılması işlemidir. Karbonhidratların hidrolizi birkaç saat, protein ve yağların hidrolizi ise birkaç gün sürmektedir. Lignoselüloz ve lignin hidrolizi de yavaş gerçekleşir

ve tamamen gerçekleşmez (Steinhauser and Deublein, 2011). Bundan dolayı biyogaz üretimine geçmeden önce bu yapıların yıkımını sağlamak için ön arıtım teknikleri uygulanmaktadır. Ön arıtım işlemi hemiselüloz ve selülozu şekere dönüştürdüğü, lignin ve diğer bitki içeriklerini fermente olabilen materyalden uzaklaştırmaktadır (Dahiya,2015). Böylece biyokütleden elde edilecek biyogaz miktarı artmaktadır. Ancak ön arıtım, maliyeti artıracığından bu işleme karar verirken fayda maliyet analizinin iyi yapılması gerekmektedir.

1.3.2. Asit oluşumu

Hidroliz aşamasında şekillenen monomerler çeşitli bakteriler tarafından bu aşamada kısa zincirli asitlere, alkollere, hidrojene ve karbondioksite dönüştürülür (Steinhauser and Deublein, 2011). Daha sonra da bu bileşenler farklı bakteri türleri yardımıyla asetata ve metana dönüştürülürler.

1.3.3. Asetat oluşumu

Asetat oluşum reaksiyonları Çizelge 1. 4 de verilmiştir. Asit oluşum aşamasında ortaya çıkan ürünler bu aşamanın substratlarıdır. Asetat oluşum reaksiyonları endotermik reaksiyonlardır. Örneğin propiyonik asidin bozunması 76.11 kJ/kmol, etanolün bozunması ise 9.6 kJ/kmol enerjiye ihtiyaç duyar. (Steinhauser and Deublein, 2011)

Çizelge 1. 4. Asetat oluşum reaksiyonları

Alt Yapı	Reaksiyon
Propiyonik Asit	$CH_3(CH_2)COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$
Bütirik Asit	$CH_3(CH_2)_2COO^- + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COO^- + H^+ + 2H_2$
Valerik Asit	$CH_3(CH_2)_3COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COO^- + CH_3CH_2COOH + H^+ + 2H_2$
İzovalerik Asit	$(CH_3)_2CHCH_2COO^- + HCO_3^- + H_2O \rightarrow 3CH_3COO^- + H_2 + H^+$
Kapron Asit	$CH_3(CH_2)_4COOH + 4H_2O \rightarrow 3CH_3COO^- + H^+ + 5H_2$
Karbondioksit/Hidrojen	$2CO_2 + 4 H_2 \rightarrow CH_3COO^- + H^+ + 2H_2O$
Gliserin	$C_3H_8O_3 + H_2O \rightarrow CH_3COOH + 3H_2 + CO_2$
Laktik Asit	$CH_3CHOHCOO^- + 2H_2O \rightarrow CH_3COO^- + HCO_3^- + H^+ + 2H_2$
Etanol	$CH_3(CH_2)OH + H_2O \rightarrow CH_3COOH + 2H_2$

Bu fazda CO_2 ve H_2 homoacetogenic mikroorganizmalar tarafından asetik asite dönüştürülür.



Asetat bakterileri zorunlu hidrojen üreticileridir. Asetat oluşumu uzun zincirli yağ asitlerinin oksidasyonu ile kendiliğinden meydana gelir ki bu durum termodinamik olarak hidrojenin düşük kısmi basıncında mümkündür. Asetat bakterileri yaşamlarını devam ettirecek ve gelişimlerinin sağlayacak enerjiyi sadece düşük H_2 konsantrasyonunda sağlarlar (Steinhauser and Deublein, 2011).

1.3.4. Metan oluşumu

Metan oluşum aşaması oksijensiz çürümenin son aşamasıdır. Bu aşamada asetat oluşumunun son ürünleri, metan bakterileri tarafından metana dönüştürülürler. Metan oluşum aşamasında metan üretimi için, asetik asit ve karbon kullanımını içeren 2 genel yol aşağıda gösterilmiştir.



CO_2 , yukardaki 1. reaksiyonda metan ve suya dönüştürülebilir olsa da metan üretimi için asıl önemli olan yol asetik asidin metana dönüştürüldüğü yoldur. Bu reaksiyon biyogazın çoğunluğunu teşkil eden CO_2 ve metanın oluştuğu reaksiyondur (Dahiya, 2015).

1.4. Biyogaz Üretimini Etkileyen Parametreler

Biyogaz üretimi birbirini takip eden bir takım reaksiyonlardan oluştuğu için birçok faktörden etkilenmektedir. Reaksiyonlar çeşitli bakteriler tarafından gerçekleştirildiği için bu bakterileri etkileyen her parametre biyogaz üretimini ve biyogazın içindeki metan miktarını da etkilemektedir.

1.4.1. Sıcaklık

Sıcaklık biyogaz üretiminde en önemli parametrelerden biridir. Metan bakterileri 0-70 °C sıcaklık aralığında aktif durumdadırlar. Bazılarının ise 90 °C sıcaklığa kadar canlılıklarını koruyabildiği de görülmüştür (Yaldiz, 2004).

Sıcaklık artışının biyokimyasal reaksiyonları hızlandırdığı bilinmektedir. Fermantasyon sırasında oluşan olaylar enzimler tarafından kontrol edildiği için enzim aktivitelerini etkileyen parametreler reaksiyonları da etkilemektedirler. Enzimlerin bazıları 40-50 °C arasında zarar görürken bazıları 60 °C sıcaklıkta bile iş görebilmektedir (Yaldiz, 2004).

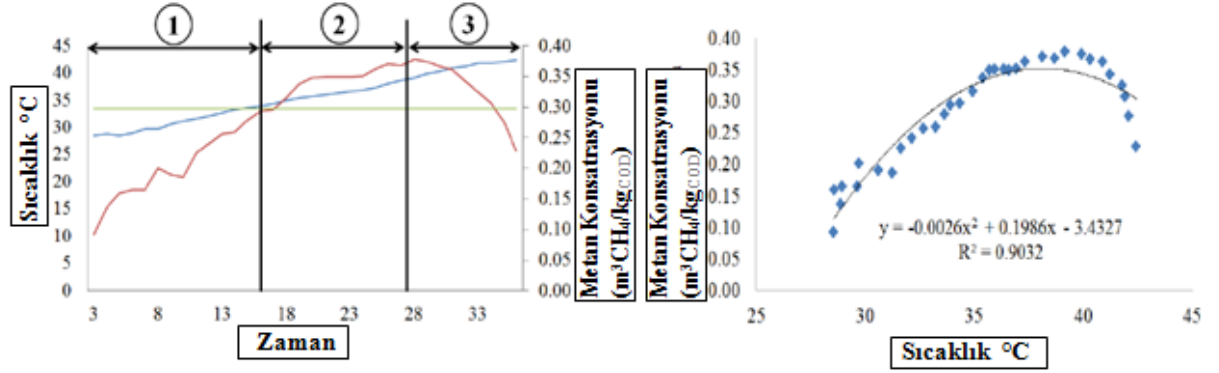
Sıcaklık isteklerine göre bakteriler 3 gruba ayrılmaktadır;

- Sakrofilik bakteriler: 20°C'nin altında sıcaklıkta çalışırlar,
- Mezofilik bakteriler: 20- 45 °C sıcaklık aralığında aktifirler,
- Termofilik bakteriler: 45°C'tan büyük sıcaklıklarda aktif çalışırlar (Yaldiz, 2004).

Sıcaklığın yüksek olması reaksiyon süresini kısaltmakta, gaz üretimini artırmaktadır. Ancak reaktör sıcaklığını yüksek tutmak ısıtma maliyetinin artıracığından sıcaklık seçimi yapılırken sürecin optimizasyonu iyi yapılmalıdır.

Carotenuto et al. (2106) yaptıkları çalışmada sıcaklığın ve pH'ın biyometan üretimine etkisini araştırmışlardır. Organik atık olarak manda gübresini kullanmışlardır. Carotenuto ve arkadaşları farklı deneysel koşullar altında üretilen metan miktarlarının karşılaştırmasını yapmışlardır. Manda gübresinin oksijensiz bozunması 37°C ve 55°C sıcaklıklarda, 6.0 ve 8.1 pH değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar 55 °C'ın daha avantajlı bir sıcaklık değeri olduğunu göstermiştir. Ancak Carotenuto ve arkadaşları sıcaklığın yüksek olması yüksek maliyet gerektireceğinden seçimin dikkatli yapılması gerektiğini söylemişlerdir (Carotenuto et al., 2016).

Artsupho ve arkadaşları düşük maliyetli ev tipi bir biyogaz reaktöründe üretilen metan miktarına sıcaklığın etkisini gözlemlemek için bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada şeker endüstrisi atıklarını kullanmışlardır. En iyi metan çıkışı 28 günde 39.15 °C' de elde edilmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre metan üretimi 39.15 °C'ye kadar artmış daha sonra azalışa geçmiştir (Şekil 1. 4) (Artsupho et al., 2016).

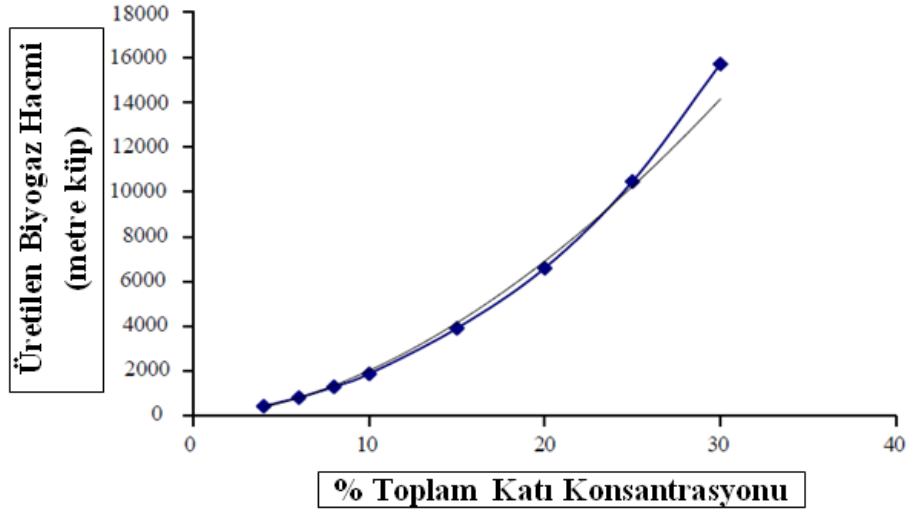


Şekil 1. 4. Sıcaklığın metan üretimine etkisi (Artsupho et al., 2016)

1.4.2. Hammadde konsantrasyonu

Kullanılan hammaddenin kuru madde içeriği biyogaz üretiminde önemli rol oynamaktadır. Yüksek kuru madde konsantrasyonlarının gaz üretimini artırdığı ve üretilen hacmini azalttığı bilinmektedir. Biyogaz fermantasyonunda sabit bir konsantrasyon oranı belirlemek zordur. Bazı kaynaklar %10 u sınır kabul etse bu değerin üstünde yapılmış çalışmalar da mevcuttur (Yaldiz, 2004).

Hilkiah ve arkadaşları biyogaz üretiminde toplam katı madde içeriğinin etkisini araştırmak için hammadde olarak kentsel katı atığı belirlemişler ve bunun üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Hilkiah ve arkadaşları %4, %6, %8, %10, %15, %20, %25 ve %30 toplam oranlarında kentsel katı atık kullanmışlardır. Çalışma 5'er L'lik şişelerde yapılmıştır. Hilkiah ve arkadaşları optimum biyogaz çıktısını %20 toplam katı içeriğinde almışlardır. Ayrıca sistemin pH değerinin de 7-7.2 aralığında tutulması gerektiği çalışmanın sonunda vurgulanmıştır (Hilkiah et al., 2007). Igoni ve arkadaşlarının elde ettiği sonuçlar Şekil 1. 5'de görülebilir.

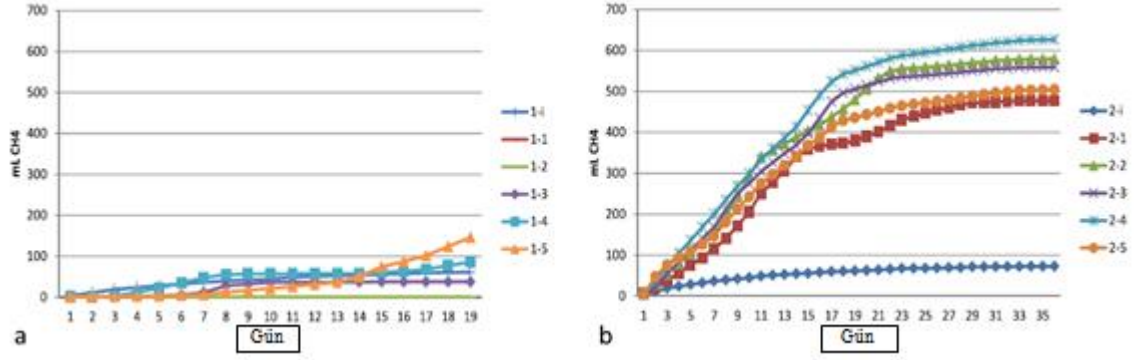


Şekil 1. 5. Toplam Katı Konsantrasyonunun Biyogaz Üretimine Etkisi (Hilkih et al., 2007)

1.4.3. pH

Oksijensiz ortamda en iyi biyogaz üretim pH aralığı 6.6-7.6 aralığıdır. pH'ın 6.2'nin altına inmesi metan bakterileri için zararlı etki yapmaktadır. pH 5'in altına düştüğünde ise gaz üretim verimi büyük ölçüde olumsuz etkilenmektedir (Ilkiliç and Deviren, 2011).

Montanes ve arkadaşları pH kontrolünün oksijensiz çürütme işlemine etkisini görmek için artıma çamuru ve şeker pancarı posası karışımını mezofilik ortamda (35°C) test etmişlerdir. Bu çalışmada 5 numuneye 2 farklı koşullarda testler uygulanmıştır. 1. grup numunelere herhangi bir pH kontrolü yapılmazken 2. gruba pH ayarlaması yapılarak pH değerleri 7.3-7.8 aralığında tutulmuştur. Çalışmanın sonuçları Şekil 1. 6 da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında pH kontrolünün üretilen metan miktarı üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir (Montañés et al., 2014).



Şekil 1. 6. pH kontrolünün metan üretimine etkileri (Montañés et al., 2014)

1.4.4. C/N Oranı

Bütün organik maddeler karbon, azot ve hidrojen içermektedirler. Metan bakterilerinin aktiviteleri C/N oranı ile değişmektedir. Dolayısıyla biyogaz üretiminde C/N oranı önemli parametrelerden biridir (İlkiliç and Deviren, 2011). C/N oranının 20 ile 30 değerleri arasında olması istenmektedir. Bu oran çok yüksek olacak olursa azot, metan bakterileri tarafından protein ihtiyaçlarını karşılamak için hızlıca tüketilir ve malzemenin karbon oranı artar. Böylece biyogaz üretimi sekteye uğrar. Bu oran çok düşük olursa da azot salınır ve amonyak olarak depolanır. Bu durum ortamın pH'ını artırır. pH 8,5'in üzerine çıkması da metan bakterileri üzerinde toksik etki yapmaya başlar. Bazı biyobozunur malzemelerin C/N oranları Çizelge 1. 5'de gösterilmiştir (Abbasi et al., 2012). Çizelge incelendiğinde hayvansal atıkların C/N oranının bitkisel atıkların C/N oranından düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. 5. Bazı maddelerin C/N oranları (Abbasi et al., 2012)

Ham madde	C/N
Ördek Gübresi	8
İnsan Dışkısı	8
Tavuk Gübresi	10
Keçi Gübresi	12
Domuz Gübresi	18
Koyun Gübresi	19
İnek Gübresi	24
Su Sümbülü	25
Kentsel Katı Atık	40
Fil Dışkısı	43
Mısır Samanı	60
Pirinç Samanı	70
Buğday Samanı	90
Talaş	>200

1.4.5. Seyreltme

Seyreltme gerekli ise reaktöre konulacak malzemeye su eklenerek seyreltme yapılmalıdır. Çamur ne çok katı ne de çok sıvı olmalıdır. Çok fazla seyreltilecek olursa katı partiküller gerektiği gibi çözünemeyecektir. Çamur çok fazla katı olacak olursa da karıştırma işlemi gerektiği gibi yapılamayacak ve gazın reaktörün üst kısımlarına geçişi engellenecektir. Reaktörler genelde %10-%25 oranında katı madde ile çalışmaktadır (Abbasi et al., 2012).

1.4.6. Yükleme oranı

Bu parametre sürekli beslemeli sistemlerde önem kazanmaktadır. Yükleme oranı, 1 m³'lük bir reaktöre günde beslenmesi gereken ham uçucu katı madde miktarıdır. Gereğinden fazla yapılan besleme metan bakterilerinin sindirme kapasitesinden fazla madde girişine neden olur ki bu da ortamın pH'ını düşürür (İlkiliç and Deviren, 2011).

Sun ve arkadaşları organik yükleme oranının üretilen biyogaz üzerindeki etkisini görmek için yaptıkları çalışmada farklı yükleme oranlarındaki gaz çıkışlarını

gözlemlemiştir. Kullandıkları oranlar 1.37, 2.74, 4.12 ve 6.85 kg UKM/(m³/gün), olurken bu değişkenlere karşılık gelen biyogaz miktarları sırasıyla 438.9, 477.3, 480.1 ve 188.7 mL/(g UKM gün), olmuştur. Açıkça görülmektedir ki belli bir noktaya kadar organik yükleme oranı arttıkça elde edilen biyogaz miktarı artmıştır. Ancak belli bir değerden sonra organik yükleme oranının artması biyogaz miktarında azalmaya yol açmıştır (Sun et al., 2017).

1.4.7. Hidrolik bekletme süresi

Belli bir miktar organik malzemeden üretilecek olan gazın %80'inin üretilmesi için geçen süredir. Bu süre organik maddenin cinsine ve sıcaklığına göre değişmektedir (Ilkiliç and Deviren, 2011).

1.4.8. Zehirlilik

Malzemelerin arasındaki özellikle ağır metaller ve deterjan gibi mineral iyonlar reaktör içindeki bakterilerin normal gelişimlerini engeller. Minerallerin küçük konsantrasyonları bakteri gelişimini etkilemez ancak yüksek konsantrasyonları zehirli etki yapar (Abbasi et al., 2012).

1.4.9. Karıştırma

Karıştırma işlemi reaktör içinde daha homojen bir sıcaklık ve bakteri dağılımı sağlanması açısından önem kazanmaktadır. Karıştırma işlemi reaktör içinde üretilen gazın sistemden uzaklaştırılması, yeni eklenen malzemenin bakterilere ulaşımı, yüzeyde oluşan tabakanın dağıtılması ve çökelmenin önlenmesi görevlerini yerine getirmektedir (Ilkiliç and Deviren, 2011).

1.5. Biyogaz Üretiminde Ön Arıtım

Lignoselülozik maddelerin yapısının çoğunu selüloz, hemiselüloz ve lignin oluşturur. Bakteri mantar ve alglerde de bulunan selüloz, bitkiye sertlik veren hücre duvarının ana bileşenidir. Hemiselüloz lignoselülozik bitkilerin yapısındaki ikinci en bol bileşendir. Ancak selülozla kıyaslandığında daha küçük molekül ağırlığına ve zayıf bağlara sahiptir. Dolayısıyla kolayca hidroliz olur. Lignin de üçüncü en bol bulunan yapıdır. Bitkilerin hücre duvarlarında yer alır ve bitkiye rijitlik sağlar. Aynı zamanda mikrobiyal ataklara direnç sağlar (Agbor et al., 2011).

Biyogaz üretiminde, kullanılan organik materyalin içeriği ve yapısı önemli rol oynamaktadır. Bu materyalin biyobozunma özelliği ne kadar iyi olursa elde edilen gazın miktarı da o kadar fazla olur. Ön arıtım işlemleri organik malzemelerin biyobozunma özelliklerini iyileştirerek elde edilen gaz miktarını artırabilmektedirler. Kullanılan ön arıtım teknikleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak sınıflandırılabilir. Bu teknikler kendi içlerinde de kısımlara ayrılmaktadır. Ufalama-ezme, buhar patlaması, sıvı sıcak su ön arıtımı, ekstrüzyon, radyasyona tutma fiziksel ön arıtım tekniklerindedir. Asidik, bazik, katalize edilmiş buhar patlaması, ıslak oksidasyon, peroksitlerle ön arıtım, iyonik sıvılarla ön arıtım ise kimyasal ön arıtım tekniklerinden bazılarıdır. Biyolojik ön arıtlar arasında ise mantar ön arıtımı, mikrobiyal ön arıtım, enzimatik ön arıtım ve silajlama teknikleri yer almaktadır (Zheng et al., 2014). Bu tez çalışmasında muz atığına $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile kimyasal ön arıtım uygulanmıştır.

1.6. Bazı Biyogaz Hammaddeleri ve Muz Atığı

Tarihsel olarak oksijensiz çürütme işlemi hayvan gübresi ve bulamaçlarıyla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca arıtma tesislerinden elde edilen çamurun stabilizasyon işlemi ile de ilişkilendirilmiştir. 1970'lerde organik kentsel ve endüstriyel atıklar da oksijensiz çürütmede kullanılmaya başlanmıştır. 1990'larda ise mısır, çim, tahıl, pancar, patates ve ayçiçeği gibi bitkilerden biyogaz üretimi Avusturya ve Almanya gibi ülkelerde gündeme gelmiştir. On yıl kadar önce de sucul biyokütleler biyogaz üretiminde popüler konular arasına girmiştir (Wellinger, Murphy, and Baxter, 2013).

Biyogaz üretiminde kullanılacak biyokütle kaynaklarını üretildiği sektöre göre sınıflandırmak mümkündür. Buna göre biyokütleyi tarımsal biyokütle, endüstriyel biyokütle ve kentsel atıklardan elde edilen biyokütle olarak 3 gruba ayırmak mümkündür. Tarımsal biyokütleler arasında hayvan gübresi ve çamuru, sebze-meyve yan ürün ve atıkları, enerji bitkileri vb. sayılabilir. Endüstriyel biyokütleler arasında tarım sanayisinden organik atıklar, yan ürün ve atıklar, yiyecek sanayisi atıkları, hayvan yemi ve bira sanayi atıkları, endüstriyel proseslerden üretilen atık su ve çamurlar, biyoyakıt ve biyo rafineriden üretilen organik yan ürün ve atıklar sayılabilir. Kentsel atıklar arasında ise kaynağında ayrılmış evsel atıklar, kentsel katı atıklar, kanalizasyon atıkları, yiyecek atıkları sayılabilir (Wellinger et al., 2013).

Hayvan gübresi biyogaz üretiminde çokça kullanılan bir biyokütledir. Hayvanın cinsine göre gübrenin içeriği değişiklik gösterdiği için bu gübrelerden elde edilecek olan biyogazın da özelliği farklı olmaktadır. Hatta aynı tür hayvanlardan elde edilen biyogaz bile farklı özellikte olabilmektedir. Bunun nedeni ise büyük oranda beslenme şekline bağlıdır. Ayrıca hayvanların yaşı, türü ve durumu (ör: yumurta tavuğu-etlik tavuk, süt sığırtı-et sığırtı gibi) da üretilen biyogazı etkileyebilmektedir. En çok kullanılan hayvan gübreleri sığır gübresi, tavuk gübresi, domuz gübresi ve bunların değişik organik atıklarla karışımıdır.

Bitkisel atıklar da biyogaz üretiminde yaygın olarak kullanılabilir. Ancak bitkisel atıklardan biyogaz üretimi yapabilmek için aşu kullanmak gerekmektedir. Bu aşu arıtım çamuru ya da hayvan gübresi olabilir. Mısır silajı, buğday samanı, dallı darı biyogaz üretimi için yaygın olarak kullanılan bitkisel atıklardandır. Bunların yanında muz atığından da biyogaz üretimi yapmak mümkündür.

1.6.1. Muz atığının yapısı

Tek yıllık otsu bir gövdeye sahip olan muzun, oldukça lifli bir yapısı vardır. Muz yalancı ve gerçek gövde olmak üzere iki tip gövdeden oluşmaktadır (Sözer and Yaldiz, 2011). Bu gövdelerden gerçek gövde olarak nitelendirilen kısım toprak altındadır ve çok yıllık bir yapıdır. Gerçek gövdeden her yıl birden fazla yalancı gövde türer. Bu yalancı gövdelerden biri dışında hepsi kesilerek tek kalan gövdenin daha iyi gelişmesi sağlanır. Bu

işlem ile yılda birden fazla ürün almak mümkündür. Yalancı gövde olarak nitelendirilen kısım tek yıllık olup meyvesi alındıktan sonra görevini tamamlar ve atık durumuna geçer. Bu atığın ya kendiliğinden çürüyerek toprağa karışması beklenir ya da küçük parçalara kesilerek çürüme süreci kısaltılır. Ama yine de lifli yapısından dolayı uzun bir zaman diliminde tamamen toprağa karışabilmektedir.

1.6.2. Muz üretimi

Başta tropik bölgeler olmak üzere dünyanın çeşitli bölgelerinde muz üretimi yaygın olarak yapılmaktadır. 2013 verilerine göre dünyada yaklaşık 80000 hektar muz üretim alanı mevcuttur. Bu alanların başında Dominik Cumhuriyeti, Filipinler ve Ekvador gelmektedir (Granatstein et al., 2016).

Ülkemizde ise muz üretimi Akdeniz kıyı şeridinde gerek seralarda gerekse açık olarak yaygın bir şekilde yapılmaktadır. Serada muz üretiminde Anamur ve Bozyazı (Mersin) öne çıkarken açık muz üretiminde Gazipaşa ve Alanya (Antalya) öne çıkmaktadır.

Tüik 2016 verilerine göre ülkemizdeki muz üretim alanları ve muz üretim miktarı yıllara göre artış göstermektedir (Çizelge 1. 6). Muz üretiminde alınan meyveden daha fazla miktarda bir atık oluşumu söz konusudur. Dolayısıyla 2016 yılı meyve üretim miktarı 305926 ton iken oluşan atık miktarı tahmini 500-600 bin ton civarında olacaktır. Bu tez çalışmasında muz atığının biyogaz üretimi araştırılmıştır.

Çizelge 1. 6. Türkiye'nin muz üretim istatistikleri (TÜİK, 2016)

Muz Üretim Alanı ve Miktarı		
Yıllar	Alan(Dekar)	Üretim(Ton)
2009	43338	204517
2010	44279	210178
2011	45074	206501
2012	44923	207727
2013	46700	215472
2014	53497	251994
2015	58380	270500
2016	62245	305926

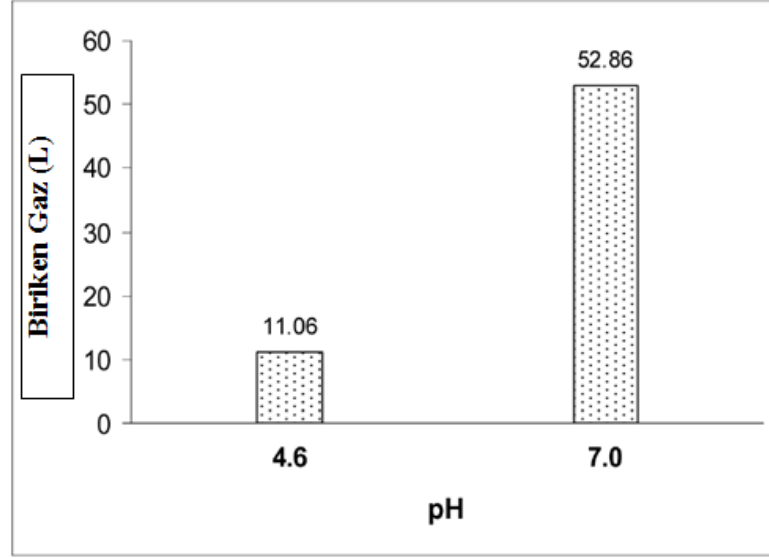
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması 4 başlık altında genelden özele doğru sıralanmıştır. Çeşitli biyokütlelerden biyogaz üretimi, biyokütlelerin metan potansiyelini artırmak için kullanılan bazı ön arıtma teknikleri, muz atığından biyogaz üretimi ve muz atığından biyogaz üretiminde kullanılan bazı ön arıtma teknikleri üzerine yapılan çalışmalar özetlenerek verilmiştir.

2.1. Çeşitli Biyokütlelerden Biyogaz Üretimi

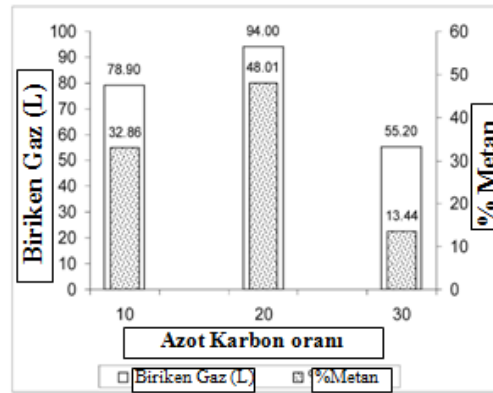
Organik içerikli tüm maddeler biyogaz üretimi için kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Çeşitli organik atıklardan biyogaz üretimi üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Biyogaz üretimi için kullanılan yöntem oksijensiz ortamda çürütme işlemidir.

Chulalaksananukul ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ananas kabuğundan biyogaz üretimini araştırmışlar ve maksimum gaz üretim koşullarını belirlemişlerdir. Biyogaz üretimini etkileyen birkaç parametre üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarını laboratuvar tipi 6 L'lik reaktörlerde ve yaklaşık 30°C sıcaklıkta gerçekleştirmişlerdir. Chulalaksananukul ve arkadaşları çalışmalarında kullandıkları ananas kabuğunu +4°C sıcaklıkta depolamışlardır. Daha sonra reaktörü beslemeden önce kabuğun boyutlarını ortalama 1 cm ölçülerine getirmişlerdir. Reaktörün çalışma hacmi 4.8 L olarak belirlenmiş ve bu değere kadar hammadde reaktöre yerleştirilmiştir. Reaktörler çevre sıcaklığında, günde 2 kez karıştırılmak suretiyle 30 gün bekletilmiştir. Deney boyunca pH ve C/N oranı kontrol altında tutulmuştur. Yaptıkları analizlerde ananas kabuğunun pH değeri 4.6 çıkmıştır. Chulalaksananukul ve arkadaşları hem bu pH değeri ile hem de pH 7 değerinde hammadde ile çalışılmış ve pH'ın 7 olduğu grupta biyogaz üretimi daha iyi olmuştur (Şekil 2.1).



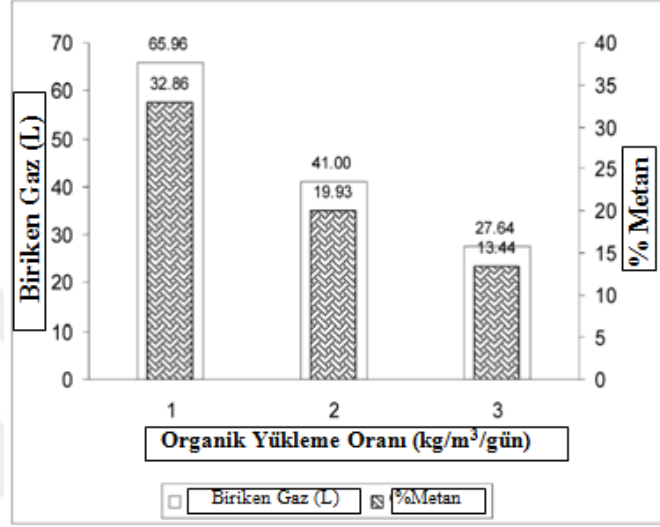
Şekil 2.1. pH'ın biyogaz üretimine etkisi(Chulalaksananukul et al., 2012)

Ananas kabuğunun azot miktarı oldukça düşük (% 0.7) olduğu için C/N oranı yüksek çıkmıştır. Bu değer biyogaz üretimi için uygun bir değer değildir. Azot sisteme inorganik ya da organik olarak ilave edilebilmektedir. Organik azot kaynağı olarak hayvan gübresi ya da üre kullanılabilir. Bu çalışmada azot kaynağı olarak üre kullanılmıştır. Çeşitli C/N oranlarında elde edilen gaz ve bu gazın metan içeriği Şekil 2. 2'de görülmektedir.



Şekil 2. 2. C/N oranının biyogaz ve metan üretimine etkileri (Chulalaksananukul et al., 2012)

Bu çalışmada ayrıca bir grup beslemeli tip reaktör de kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Beslemeli tip reaktörde en iyi besleme oranı 1 kg/m^3 gün olarak saptanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 2. 3'te gösterilmiştir.



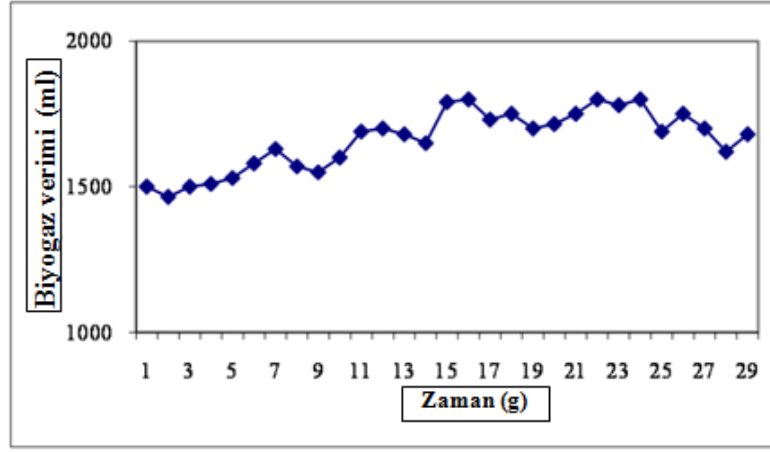
Şekil 2. 3. Organik yükleme oranının biyogaz ve metan üretimine etkileri (Chulalaksananukul et al., 2012)

Chulalaksananukul ve arkadaşları bu çalışmada;

- Kesikli tip reaktörlerin biyogaz üretiminde beslemeli tip reaktörlere göre daha etkin olduğu,
- Beslemeli tip reaktörlerinin optimizasyon çalışmasının yapılması gerektiği,
- Ananas kabuğunun biyogaz üretiminde kullanılması hem çevre açısından hem de yeşil enerji olması açısından avantajlara sahip olduğu sonuçlarına varmışlardır (Chulalaksananukul et al., 2012).

Velmurugan ve Ramanujam yaptıkları çalışmada sebze atıklarının oksijensiz ortamda çürütülmesi ile elde edilebilecek biyogaz ve metan miktarını araştırmışlardır. Deneyler laboratuvar tipi beslemeli tip biyogaz reaktöründe, 35°C sıcaklıkta, 2.25 g/L.gün organik yükleme oranında ve 30 gün hidrolik bekleme süresinde gerçekleştirilmiştir. Velmurugan ve Ramanujam'ın yaptığı bu çalışmanın sonuçları şu şekildedir; üretilen

biyogazın ortalama metan içeriği %65, ve sebze atıklarının metan potansiyeli 0.387 lCH₄/g UKM'dir (Velmurugan and Ramanujam, 2011).



Şekil 2. 4. Günlük üretilen biyogaz miktarı.(Velmurugan and Ramanujam, 2011)

Yapılan çalışmalarda oksijensiz çürütme işlemi için tek bir malzeme kullanılabildiği gibi birden fazla materyal karıştırılarak da biyogaz üretimi yapılabilmektedir. Bu yöntem malzeme sıkıntısı çekilen tesislerde kullanışlı olabilir. Birden fazla materyal farklı oranlarda karıştırılarak maksimum biyogazın elde edildiği karışım oranı belirlenir ve bu oran üzerinden biyogaz üretimine devam edilir.

Lin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sebze-meyve atığı ve yiyecek atığından üretilebilecek metan miktarını araştırmışlardır. Deneylerini laboratuvar tipi sürekli beslemeli tip reaktörde 35°C sıcaklıkta yapmışlar ve organik yükleme oranını 3 kg UKM/m³ gün olarak seçmişlerdir. Meyve-sebze atığı 0.3 m³CH₄/kg UKM değerinde metan ve %59.3 bozunma oranına sahipken, yiyecek atığı 0.56m³CH₄/kg UKM değerinde metan ve %83.6 bozunma oranına sahiptir. Meyve-sebze atığı sabit olarak 2.17 m³/m³ gün değerinde biyogaz üretimi ve 0.42m³CH₄/kg UKM değerinde metan üretimi elde edilmektedir. Ancak yiyecek atığından metan üretimi asit birikmesi nedeniyle engellenmiştir. Bu çalışmada meyve-sebze atığı ve yiyecek atığının farklı oranlarda karıştırılmasıyla elde edilebilecek metan miktarı ve stabilizasyonu da araştırılmıştır. Lin ve arkadaşları meyve-sebze atığı ve yiyecek atığını 2:1, 1:1 ve 1:2 olmak üzere 3 farklı oranda karıştırarak biyogaz üretimi gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar Çizelge 2. 1'te görülmektedir (Lin et al., 2011).

Çizelge 2. 1. Farklı oranlarda karıştırılan meyve-sebze atığı ile yiyecek atığının karakterizasyonu ve gaz üretimleri (Lin et al., 2011)

	FAZ 1	FAZ 2	FAZ 3	FAZ 4	FAZ 5
Operasyonel Durum					
Zaman (Gün)	0-30	30-60	60-90	90-131	131-178
OLR (kg VS/(m ³ -gün))	3	3	3	3	3
Alyapı FVW (g VS)	12	8	6	4	0
FW(g VS)	0	4	6	8	12
Atık Karakteristikleri					
TS (%)	3,7	3,3	4,1	4,3	6,5
VS (%)	1,8	2,1	2,5	2,8	4,3
sCOD (g/L)	2,2	1,6	2,6	4,1	21
pH	7,37±0,03	7,40±0,03	7,56±0,03	7,73±0,02	7,07±0,14
NH ₄ ⁺ -N(mg/L)	585,3±61,7	608,9±27,0	763,9±25,8	1242,1±60,0	2329,7±143,5
Serbest Amonyak (mg/L)	15,09±2,2	16,90±1,7	32,0±1,0	70,5±5,3	29,8±7,5
VFAs (mg/L)	69,7±11,42	181,7±33,60	170,64±44,00	1216,5±77,15	8887,0±754,05
Sindirici Performansları					
sCOD (g/L) uzaklaştırılan (%)	96,3	97,4	96,1	94,7	73,3
GPR (m ³ /(m ³ -gün))	2,17	2,25	2,35	2,45	0,35
Metan içeriği (%)	60	60,5	63,8	61	53,7
MPY (m ³ CH ₄ /kg VS)	0,42	0,44	0,49	0,49	0,06
GPR: Biyogaz Üretim Oranı MPY: Metan Üretim Verimi					

Amon ve arkadaşları günlük sığır gübresi ve mısır kullanarak biyogaz üretimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmayı 1'er L'lik reaktörlerde 60 gün süreyle 38°C sıcaklıkta yapmışlardır. Sığır gübresi ve mısır biyogaz üretimi için ayrı ayrı kullanılmıştır. Amon ve arkadaşları sığırları süt verimlerine göre 3 kategoriye (az, orta ve yüksek süt verimi) ayırarak her kategoriye 2 tekrarlı biyogaz testine tabi tutmuşlardır. Her grup gübrenin yapısını da incelemişlerdir (Çizelge 2. 2).

Çizelge 2. 2. Farklı kategorilerdeki sığırların gübre içeriği ve elde edilen biyogaz miktarları (Amon et al.2007)

İşlem	Mandıra İneği Gübresi Karışımı [g (kg DM ⁻¹)]									Gaz Verimi ^a [Nl (kg VS ⁻¹)]		
	pH	DM ^b	XP	XF	Cel	Hem	ADL	XL	XA	GE [MJ]	Biyogaz	Metan
Mandıra-1	6.95	143.7	162.6	265.9	194.7	144.0	162.1	46.4	157.1	15.8	208.2	136.5
Mandıra-2	6.79	128.8	154.3	265.8	227.3	175.9	128.2	35.5	155.0	17.3	213.1	131.8
Mandıra-3	6.60	135.0	156.6	310.1	250.8	190.3	124.7	23.8	131.7	14.6	245.8	166.3
Mandıra-4	6.60	159.6	150.6	279.5	164.1	187.9	183.3	29.1	162.8	19.3	222.5	143.1
Mandıra-5	6.70	148.5	180.2	273.3	161.8	208.7	190.4	28.5	148.4	15.6	238.9	125.5
Mandıra-6	6.66	157.3	296.5	248.5	210.1	195.5	121.7	30.3	167.8	16.8	267.7	159.2

DM= kuru madde: XP=ham protein XF= ham lif: Cel=selüloz: Hem=hemi-selüloz: ADL=lignin:

XL=ham yağ:

XA=ham kül GE=kazanılan enerji

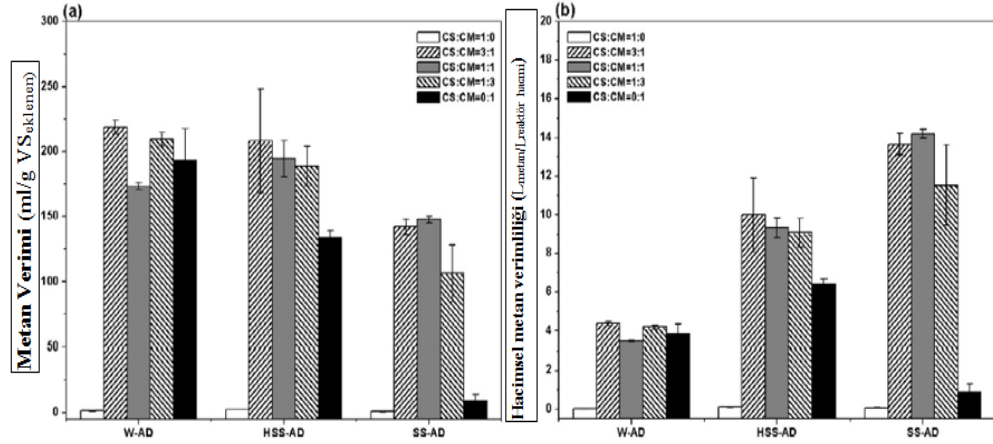
^a Nl= normal litre (273 K, 1.013 bar)

^b [g (kg FM)⁻¹]

Burada mandıra-1 ve mandıra-2 düşük süt verimi, 3 ve 4 orta süt verimi, 5 ve 6 da yüksek süt verimlerinde sığırlardır.

Aynı çalışmada mısırdan elde edilen biyogaz miktarını etkileyen farklı durumlar da değerlendirilmiştir. Bu durumlar; silaj etkisi, hasat zamanı, hasat teknolojisi, gibi durumlardır. Amon ve arkadaşları maksimum metan çıktısını orta süt verimine sahip, dengeli beslenen sığırdan elde etmişler ve hayvan gübresinin oksijensiz çürümesi onun beslenmesinden ve performansından etkilendiği sonucuna varmışlardır. Mısırın da silaj haline getirilmesinin elde edilen biyogaz miktarını artırdığı sonucuna ulaşmışlardır (Amon et al., 2007).

Li ve arkadaşları mısır ve tavuk gübresinin farklı karışım oranlarının ıslak, yarı katı ve katı formlarda elde edilen biyogaz miktarları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada mısır ve tavuk gübresi 1:0, 3:1, 1:3, 0:1 oranlarında karıştırılmış ve biyogaz çıktıları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar mısır ve tavuk gübresinin birlikte oksijensiz çürütme işleminin biyogaz çıktısını artırdığı yönündedir. Li ve arkadaşları en iyi sonucu 218.8 mL/ g UKM olarak 3:1 mısır tavuk gübresi karışımında ve ıslak oksijensiz çürütmede elde etmişlerdir (Li et al., 2013).



Şekil 2. 5. Farklı karışım oranlarının gaz verimleri (Li et al., 2013) Burada CS: mısır koçanı, CM: tavuk gübresi, W-AD: ıslak oksijensiz çürütme, HSS-AD: yarı katı oksijensiz çürütme, SS-AD: katı oksijensiz çürütme koşullarıdır.

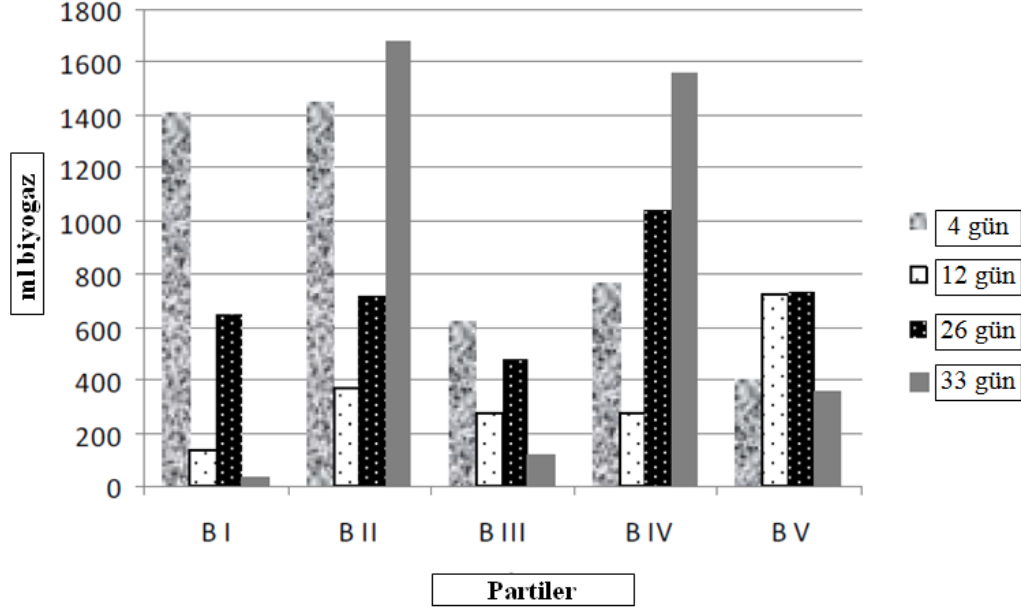
Kafle ve arkadaşları da domuz gübresi ve Çin lahanası atık silajını farklı oranlarda karıştırarak karışım oranının biyogaz üretimine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada sırasıyla domuz gübresi ve Çin lahanası atık silajını 100:0,75:25,67:33,33:67,0:100 oranlarında karıştırarak biyogaz üretimi yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar Çizelge 2. 3’da gösterilmiştir (Kafle et al.,2011).

Çizelge 2. 3. Farklı karışım oranlarının gaz üretimine etkisi (Kafle et al., 2011)

Besleme oranı VS (%)		Substrat g VS/L	Biyogaz verimi mL/gVS eklenen	Metan verimi mL/gVS eknen
SM	CCWS			
100	0	16	425	265
75	25	16	408	235
67	33	16	410	217
33	67	16	342	173
0	100	16	196	69

Hayvan gübreleri biyogaz üretiminde tek başlarına kullanılabildiği gibi farklı organik atıklar için aşı amaçlı da kullanılabilmektedirler. Neo ve arkadaşları (2012) mısır sapı ve buğday samanı atıklarına aşı olarak sığır gübresi ve aktif çamurunu kullanmış ve üretilen biyogaz miktarlarını karşılaştırmışlardır. Kontrol grubu olarak da sadece sığır

gübresinin biyogaz içeriğini baz almışlardır. Hazırladıkları gruplar Çizelge 2. 4’de görülmektedir. Bu gruplara göre yaptıkları testlerde elde edilen sonuçlar da Şekil 2. 6’ de görülmektedir (Neo et al., 2012).



Şekil 2. 6. Karışım türlerinin biyogaz üretimine etkileri (Neo et al., 2012)

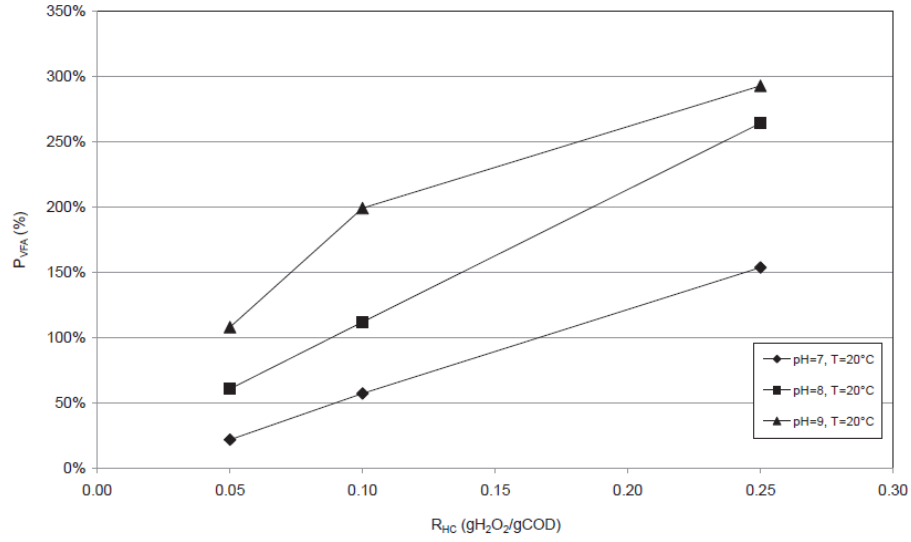
Çizelge 2. 4. Farklı atıklar kullanılarak oluşturulan gruplar (Neo et al., 2012)

Parti 1	Parti 2	Parti 3	Parti 4	Parti 5 Kontrol
Aktif çamur	Aktif çamur	Sığır gübresi	Sığır gübresi	
+	+	+	+	Sığır gübresi
Mısır sapları	Buğday samanı	Mısır sapları	Buğday samanı	

2.2. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Bazı Ön Arıtım Teknikleri

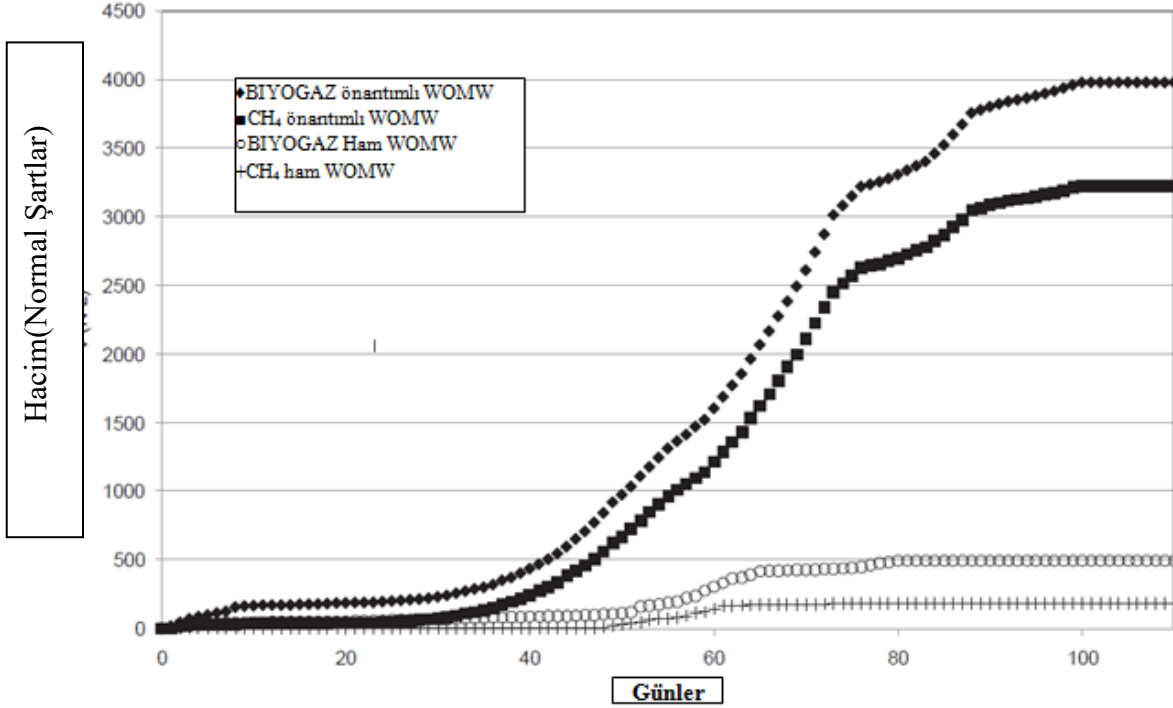
Oksijensiz çürütme yöntemi ile organik atıklardan elde edilen biyogaz miktarını artırmak için çeşitli ön arıtım teknikleri kullanılmaktadır. Ancak her ön arıtım işlemi, elde edilen biyogaz miktarında artış sağlamamaktadır. Kullanılan ön arıtım tekniklerinin etkisi organik maddenin cinsine göre değişiklik göstermektedir.

Siciliano ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ıslak zeytin fabrikası atığına hidrojen peroksit (H_2O_2) ile ön arıtım uygulamışlar ve üretilen biyogaz miktarında bir miktar artış sağlamışlardır. Çalışma $20^\circ C$ sıcaklıkta, 7, 8, 9 pH değerlerinde farklı miktarlarda H_2O_2 kullanılarak yapılmıştır. H_2O_2 miktarı arttıkça üretilen uçucu yağ asidi miktarında da artış gözlenmiştir. Ayrıca pH'ın artması üretilen uçucu yağ asidi miktarını da artırmıştır (Şekil 2. 7).



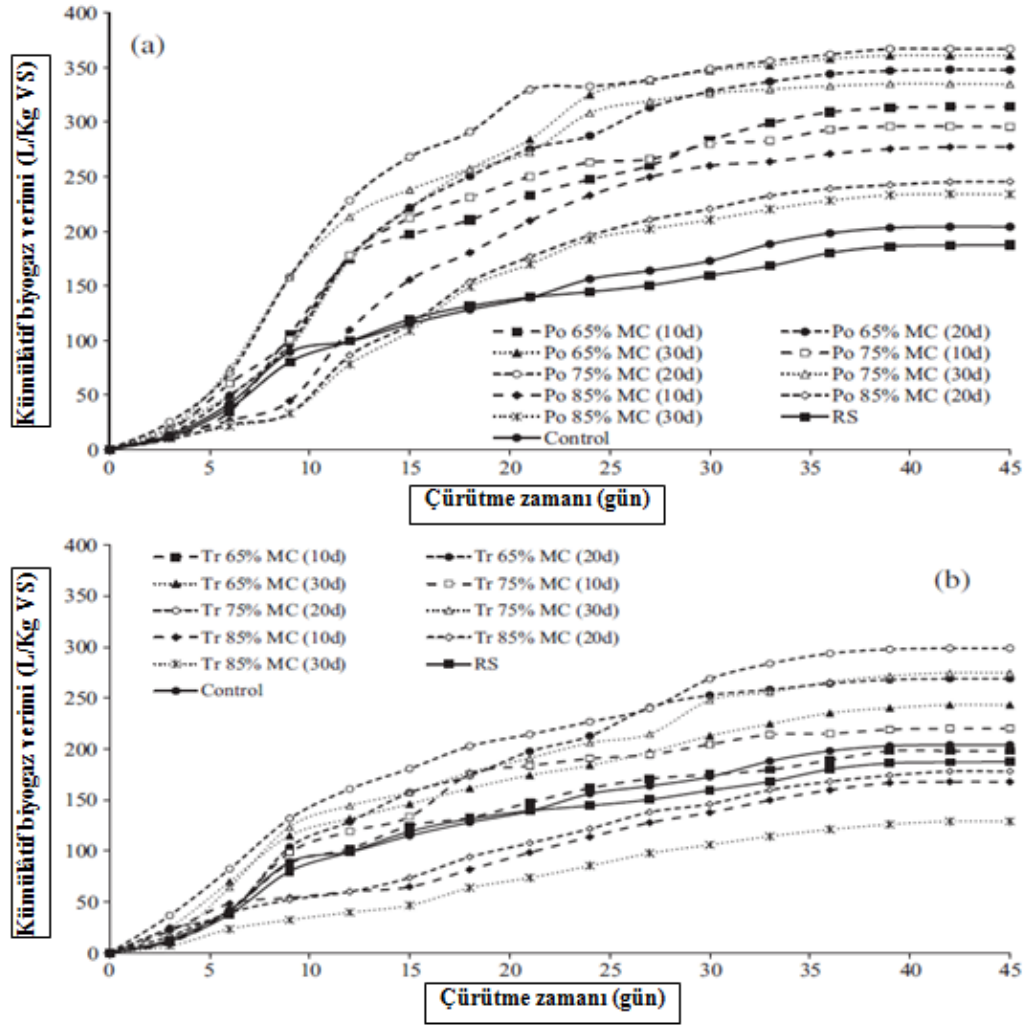
Şekil 2. 7. H_2O_2 ön arıtmanın ve pH'ın gaz üretimine etkisi (Siciliano et al., 2016)

Yapılan ön arıtım işlemi, üretilen uçucu yağ asidi miktarında artış sağlayarak elde edilen biyogaz ve metan miktarını da artırmıştır (Şekil 2. 8).



Şekil 2. 8. Ön arıtmanın etkisi (Siciliano et al., 2016)

Mustafa ve arkadaşları (2016) pirinç samanının biyobozunurluğunu iyileştirmek için 2 farklı mantar türü ile ön arıtım uygulamışlardır. Kullandıkları mantar türleri *Pleurotus ostreatus* ve *Trichoderma reesei*'dir. Önce 100 g lık pirinç samanı 1L'lik erlenmeyer şişelerinde nemlendirilip 121 °C sıcaklıkta 30 dakika süreyle mikrobiyal gelişimin sağlanması için sterilize edilmiştir. Daha sonra her şişeye 25 mL mantar çözeltisi eklenerek nem miktarları ayrı ayrı %65, %75 ve %85 olacak şekilde ayarlanmıştır. 2 adet şişe de kontrol amaçlı mantar eklenmeden %75 nem oranında hazırlanarak bütün şişeler 28 °C sıcaklıktaki inkübatöre yerleştirilmiştir. İnkübasyon süresi 10, 20, 30 gün olacak şekilde 3 farklı sürede ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan bazıları Şekil 2. 9'da görülmektedir. *Pleurotus ostreatus* ile yapılan ön arıtımda kayda değer bir lignin ve hemiselüloz yıkımı gözlenirken bu mantarın selüloz üzerinde etkili olmadığı gözlenmiştir. *Trichoderma reesei* ile yapılan ön arıtımda ise selüloz, hemiselüloz, lignin yıkımları nispeten birbirlerinde yakın çıkmıştır. *Pleurotus ostreatus* ön arıtımından sonra % 75 nem içeriğinde 20 gün süreyle yapılan inkübasyon sonucunda %120'lik bir metan artışı sağlanmıştır. Aynı şekilde *Trichoderma reesei* ön arıtımından sonra %75 nem içeriğinde 20 günlük inkübasyon süresinde %78.3 'lük bir metan artışı gözlenmiştir (Mustafa et al.2016).



Şekil 2. 9. Mantar ön arıtımının biyogaz üretimine etkisi; a) *P. Ostreatus*, b) *T. reesei* (Mustafa et al., 2016)

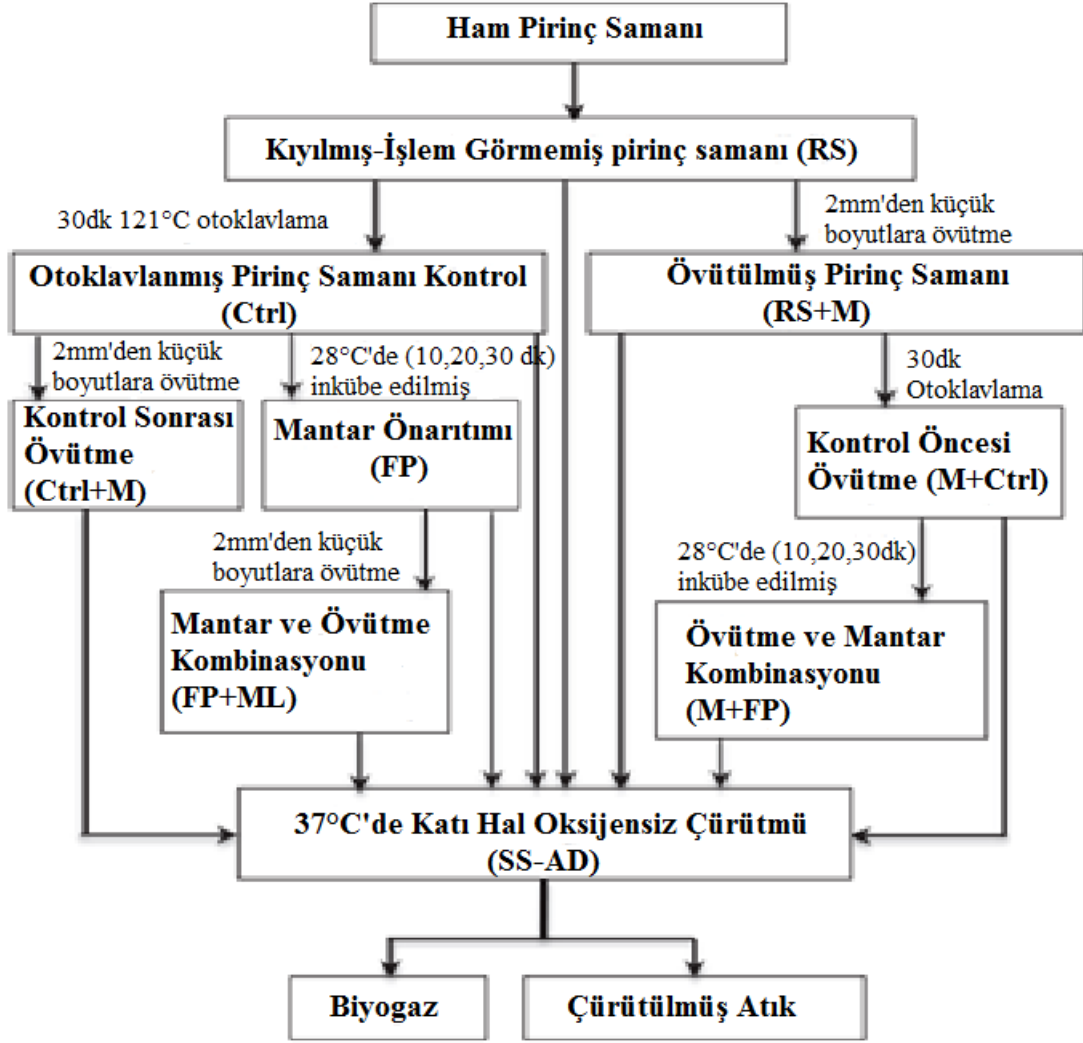
Yapılan ön arıtmalar her zaman elde edilen gaz miktarını artırmamaktadır. Risberg ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ön işlem görmüş ve görmemiş buğday samanını sığır gübresi ile birlikte oksijensiz çürütme işlemine tabi tutmuş, üretilen biyogaz ve metan miktarını, sadece sığır gübresinden üretilen biyogaz ve metan miktarıyla karşılaştırarak, uygulanan ön arıtımın biyogaz üretimine etkisini araştırmışlardır. Risberg ve arkadaşları buğday samanına 210°C sıcaklıkta 10 dakika süreyle buhar patlatma ön işlemi uygulamışlardır. Buldukları sonuç ise literatürde yer alan bazı bilgiler ile çelişkilidir. Risberg ve arkadaşları buhar patlatma ön işlem tekniğinin buğday samanından üretilen biyogaz miktarında artış sağlamadığı yönünde bir sonuç bulmuşlardır (Çizelge 2. 5). Ayrıca

farklı operasyon sıcaklıkları arasında da çok yakın farkların olduğu sonucuna da varmışlardır (Risberg et al., 2013).

Çizelge 2. 5. Buhar patlaması ön arıtımının etkisi (Risberg et al., 2013)

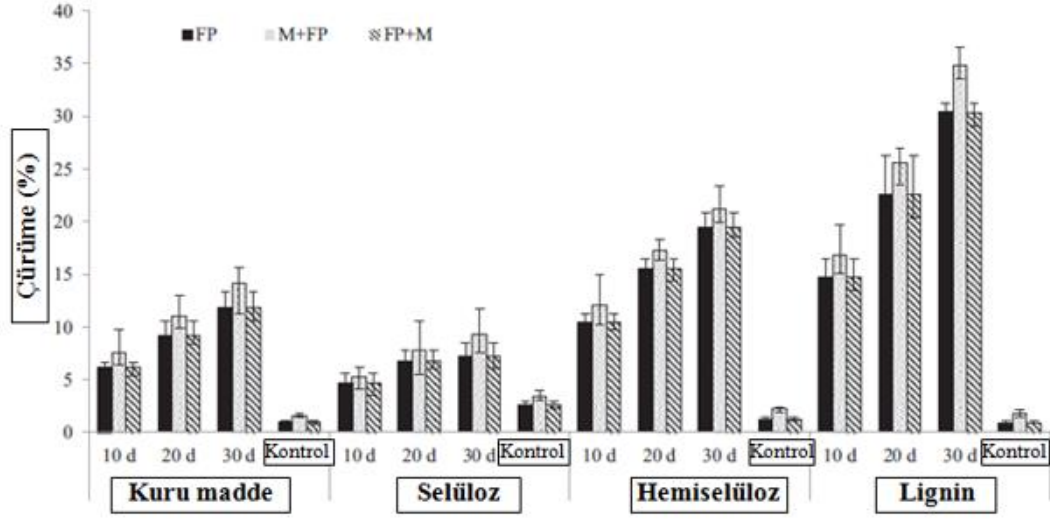
Reaktör	pH	Bozulma derecesi (%)	Biyogaz Üret. (L/gün)	Metan içeriği (%)	Spesifik metan üret. (L/kg VS/gün)
R ^{Lc} SS	7.6-7.8	23-28	0.80-0.86	53-58	0.18-0.21
R ^{Hc} SS	6.9-7.4	33-34	0.88-0.92	50-56	0.17-0.20
RM	7.5-7.8	40-41	0.86-0.89	55-58	0.16-0.17
RS	7.5-7.8	34-35	0.74-0.78	53-57	0.14-0.16
R ^{Tc} SS	7.5-7.8	31-38	0.70-0.72	53-58	0.13-0.15
R ³⁷ SS	7.5-7.8	31-38	0.70-0.72	53-58	0.13-0.15
R ⁴⁴ SS	7.5-7.8	35-37	0.68-0.70	51-57	0.13-0.14
R ⁵² SS	7.7-8.1	36-38	0.68-0.70	51-55	0.13-0.14

Birden fazla ön arıtımı birlikte uygulayarak da elde edilen biyogaz miktarı ve metan içeriği artırılabilir. Bununla alakalı olarak Mustafa ve arkadaşları mantar ve öğütme ön arıtım işlemlerini pirinç samanına birlikte uygulamışlar ve elde edilen biyogazda %165'e kadar artış sağlamışlardır. Yapılan çalışmada bu iki ön arıtım tekniğinin uygulama sırasının da farklı sonuçlar ortaya koyduğu gözlenmiştir. Mustafa ve arkadaşlarının yaptığı ön arıtım tekniklerinin uygulanma sırası Şekil 2. 10'da görülmektedir (Mustafa et al.,2017).



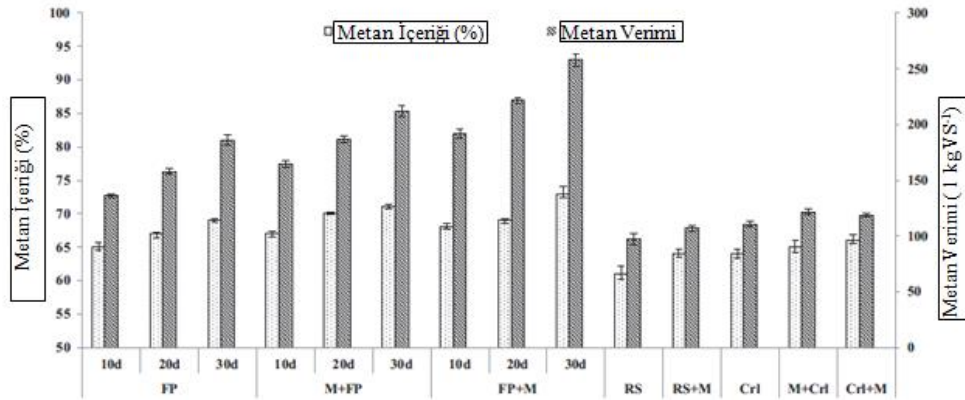
Şekil 2. 10. Mantar ve öğütme ön arıtım uygulama şeması (Mustafa et al., 2017)

Uygulanan bu iki ön arıtım işlemi pirinç samanının temel bileşenlerinin (lignin, selüloz, hemiselüloz) yıkımını sağlamıştır (Şekil 2. 11).



Şekil 2. 11. Mantar ve öğütme ön arıtımın pirinç samanı üzerindeki etkisi (Mustafa et al., 2017)

Mustafa ve arkadaşları en fazla gaz artışını %165'lik bir artış ile mantar ön arıtımından sonra öğütme yaparak sağlamışlardır. Bu işlemlerden sonra elde edilen metan miktarı da 258 L/kg UKM olmuştur.



Şekil 2. 12. Mantar ve öğütmenin metan miktarına etkisi (Mustafa et al., 2017)

Kaur ve Phutela mısır samanının biyobozunurluğunu ve elde edilecek biyogaz miktarını artırmak için sodyum hidroksit ve mikrodalga ön arıtım tekniğini kullanmışlardır. Mısır samanı yüksek lignin içeriğinden dolayı zor bozunan bir bitki türüdür. Bu ön arımlar sayesinde lignin yıkımı gerçekleşmiş ve bozunması kolaylaşmıştır. Dolayısıyla elde edilen biyogaz miktarında da artış sağlanmıştır. Kaur ve Phutela yaptıkları çalışmada mısır

samanını 28°C sıcaklıkta 200 ml'lik %2, 4, 6, 8 ve 10 NaOH çözeltisinde 24 saat süreyle bekleterek ön arıtım uygulamışlardır (Çizelge 2. 6). Daha sonra numunelere 750W, 180°C, 30 dakika koşullarında mikrodalga ön işlemleri uygulamışlardır (Çizelge 2. 7).

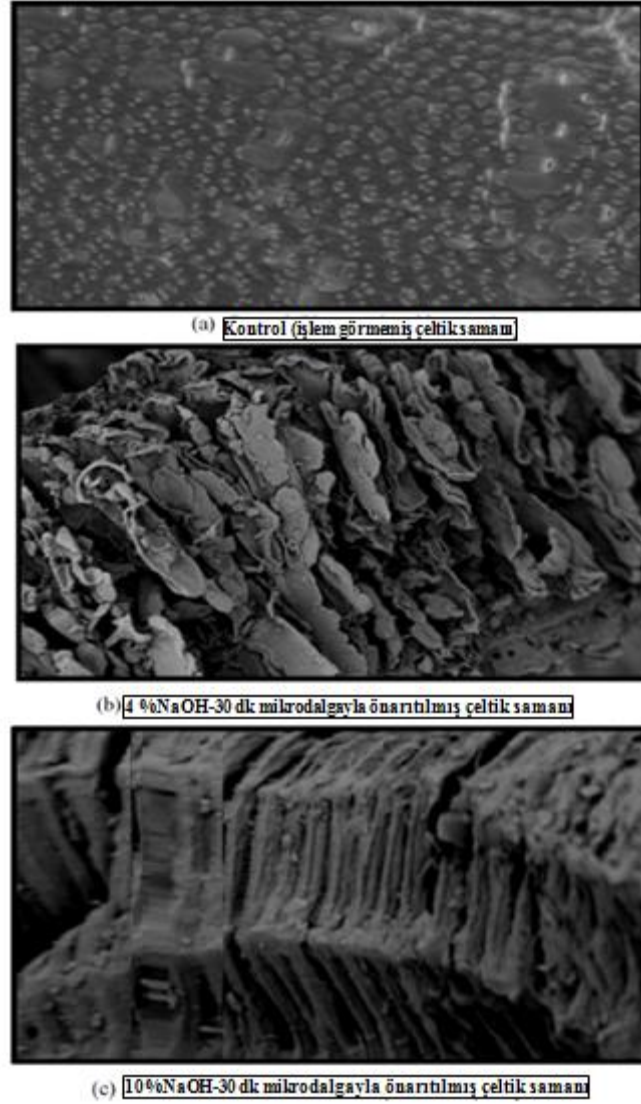
Çizelge 2. 6. NaOH çözeltisinde bekletme ön arıtımının etkisi(Kaur and Phutela, 2016)

Çeltik samanının yaklaşık kimyasal kompozisyonu (%)	İşlem görmemiş çeltik samanı (kontrol)	NaOH konsantrasyonu (%)					CD (P ≤ 0.05)	
		0	2	4	6	8		10
A. Toplam katı	96.7 ± 0.19	96.6 ± 0.12	96.2 ± 0.17	96.0 ± 0.06	95.9 ± 0.23	95.7 ± 0.15	95.5 ± 0.23	0.31
Uçucu katı	89.2 ± 0.21	89.4 ± 0.28	94.5 ± 0.23	95.2 ± 0.25	95.4 ± 0.27	95.7 ± 0.22	96.3 ± 0.26	0.45
Kül	10.8 ± 0.26	10.6 ± 0.21	5.5 ± 0.23	4.8 ± 0.29	4.6 ± 0.20	4.3 ± 0.22	3.7 ± 0.25	0.45
B. Selüloz	43.6 ± 0.09	43.6 ± 0.06	52.4 ± 0.17	65.2 ± 0.12	66.7 ± 0.30	68.0 ± 0.22	69.2 ± 0.12	0.49
Hemiselüloz	23.8 ± 0.11	24.0 ± 0.12	23.6 ± 0.29	17.6 ± 0.23	15.6 ± 0.35	13.9 ± 0.27	12.8 ± 0.29	0.51
Lignin	6.0 ± 0.07	5.6 ± 0.12	4.1 ± 0.35	3.1 ± 0.12	2.9 ± 0.23	2.5 ± 0.24	2.4 ± 0.28	0.49
Silika	5.3 ± 0.16	5.3 ± 0.13	3.2 ± 0.12	2.6 ± 0.19	2.2 ± 0.18	1.9 ± 0.23	1.4 ± 0.11	0.53
C. Toplam şeker (mg/g PS)	54.9 ± 0.24	56.8 ± 0.29	48.1 ± 0.21	46.3 ± 0.17	45.9 ± 0.30	42.7 ± 0.33	39.3 ± 0.17	0.57

Çizelge 2. 7. NaOH-Mikrodalga ön arıtımının etkisi(Kaur and Phutela, 2016)

Çeltik samanının yaklaşık kimyasal kompozisyonu (%)	İşlem görmemiş çeltik samanı (kontrol)	NaOH konsantrasyonu (%)					CD (P ≤ 0.05)	
		0	2	4	6	8		10
A. Toplam katı	96.7 ± 0.19	96.6 ± 0.12	97.1 ± 0.06	97.4 ± 0.23	96.8 ± 0.17	96.1 ± 0.09	95.7 ± 0.29	0.30
Uçucu katı	89.2 ± 0.21	89.5 ± 0.11	92.9 ± 0.13	94.3 ± 0.19	95.5 ± 0.21	96.4 ± 0.23	96.9 ± 0.16	0.43
Kül	10.8 ± 0.26	10.5 ± 0.14	7.1 ± 0.18	5.7 ± 0.12	4.5 ± 0.13	3.6 ± 0.20	3.1 ± 0.15	0.43
B. Selüloz	43.6 ± 0.09	42.6 ± 0.17	53.5 ± 0.24	69.0 ± 0.29	74.1 ± 0.26	73.4 ± 0.23	72.0 ± 0.27	0.47
Hemiselüloz	23.8 ± 0.11	24.0 ± 0.12	20.0 ± 0.19	12.1 ± 0.16	8.9 ± 0.13	8.6 ± 0.15	8.5 ± 0.17	0.50
Lignin	6.0 ± 0.07	5.9 ± 0.12	3.3 ± 0.17	2.1 ± 0.06	1.4 ± 0.23	1.4 ± 0.13	1.3 ± 0.12	0.52
Silika	5.3 ± 0.16	5.3 ± 0.17	1.3 ± 0.12	0.6 ± 0.23	0.6 ± 0.15	0	0	0.59
C. Toplam şeker (mg/g PS)	54.9 ± 0.24	56.8 ± 0.12	42.3 ± 0.17	40.9 ± 0.23	38.7 ± 0.13	36.8 ± 0.22	32.2 ± 0.16	0.35

Ön arıtım yapılan numunelere SEM analizi yapılmış ve sonuçlar ön arıtım yapılmayan örneklerle karşılaştırılmıştır (Şekil 2. 13). SEM görüntülerinden de anlaşıldığı gibi ön arıtım işlemleri organik atıkların yapılarında değişikliğe neden olarak bozunmalarını dolayısıyla da elde edilen biyogaz miktarlarını etkilemektedir.



Şekil 2. 13. Kontrol grubu ve ön arıtılmış numunelerin SEM görüntüleri (Kaur and Phutela, 2016)

Kaur ve Phutela en fazla biyogaz artışını %4 NaOH+30 dakika mikrodalga ön işlemleri uygulanmış numunelerde elde etmişlerdir. Bu uygulamada sağlanan biyogaz artışı da ham numuneye göre %54.7 olmuştur (Kaur and Phutela, 2016).

Ön arıtımda kullanılan kimyasalın pahalı olması ön arıtımın sürekliliği açısından olumsuz bir durumdur. Lignoselülozik bitkilerde selüloz ve hemiselüloza genellikle lignin tarafından çevrelenmiştir. Dolayısıyla bunların çürümeleri yüksek oranda lignin içeriğine bağlıdır. Bazı ön arıtlardan NaOH ön arıtımı lignin yıkımını gerçekleştirebilmesine rağmen pahalı bir kimyasal olduğundan dolayı ön arıtım maliyeti yüksektir. Bunun yanında $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH'a göre daha ucuz bir kimyasaldır. Xiao ve arkadaşları parçacık

boyutunun ve bazik ön arıtımın oksijensiz çürüme üzerine etkileri üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kullanılan organik materyal mısır olurken, kimyasallar da Ca(OH)_2 ve NaOH'dir. Deneylede 4 farklı numune boyutu (0.075-0.25, 0.25-1, 1-5, 5-20 mm) kullanılmıştır. En yüksek ve en düşük metan sırasıyla 0.25-1 ve 5-20 mm numune boyutlarında elde edilmiştir. Bu iki numuneye de %4 Ca(OH)_2 +%2 NaOH ve kontrol için %6 NaOH ön arıtları uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- 0.25-1mm numune boyutu ile %4 Ca(OH)_2 +%2 NaOH işleminden 286,9 mL/g UKM
- 0.25-1mm numune boyutu ile %6 NaOH işleminden 287.0 mL/g UKM
- 5-20mm numune boyutu ile %4 Ca(OH)_2 +%2 NaOH işleminden 268.7 mL/g UKM
- 5-20mm numune boyutu ile %6 NaOH işleminden 272.6 mL/g UKM metan elde edilmiştir.

Yukardaki sonuçlardan Ca(OH)_2 +%2 NaOH ile yapılan ön artım ile %6 NaOH ile yapılan ön arıtmadan elde edilen metan miktarları arasında büyük farklar olmadığı görülmektedir. Sonuçlar NaOH 'ın yerine daha ekonomik olan Ca(OH)_2 'in kullanılabilceğini ortaya koymuştur (Xiao et al., 2013).

Song ve arkadaşları pirinç samanından elde edilen biyogaz miktarını artırmak için bazik ön arıtım parametrelerinin optimize edilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada ön arıtım kimyasalı olarak Ca(OH)_2 kullanılmıştır. Optimize edilen parametreler Ca(OH)_2 konsantrasyonu, ön arıtım zamanı ve aşu miktarıdır. Öncelikle pirinç samanı 20-30 mm boyutlara getirilmiştir. %4, %8 ve %12 konsantrasyonlarda Ca(OH)_2 500 g pirinç samanı içeren deney şişelerine koyulmuştur. Ardından katı/sıvı oranı 1:3'e ayarlanmıştır. Kapağı kapatılan şişeler sırasıyla 3, 7, 11 gün süreyle çevre sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra her şişeden 50g alınarak yıkandıktan sonra 80 °C sıcaklıkta 48 saat kurutulmuştur. Daha sonra oksijensiz çürütme işlemi uygulanmıştır. Ca(OH)_2 ön arıtımında pirinç samanından elde edilen biyogaz miktarı büyük oranda kullanılan kimyasalın konsantrasyonuna, ön arıtım zamanına ve aşu miktarına bağlıdır. En fazla metan üretimi %9.81 Ca(OH)_2 konsantrasyonu, 5.89 gün ön arıtma süresi ve %45.12 aşu miktarında sağlanmıştır. Bu koşullarda elde edilen biyogaz miktarı da 225.3 mL/g UKM olarak bulunmuştur (Song et al.,2013).

2.3. Muz Atığından Biyogaz Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

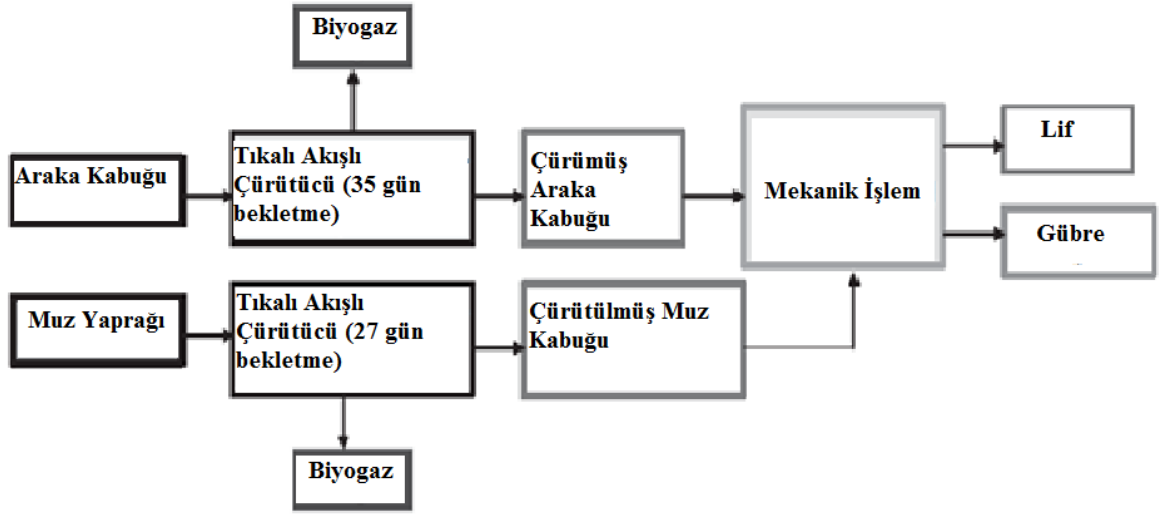
Kalia, V.C. ve arkadaşları oksijensiz çürütme yöntemi ile atık muz gövdesinden biyogaz üretimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan bu çalışmaya göre muz gövdesi %83 oranında organik içerikli bir bitkidir. %15-20 (w/w) oranında lignin ve selüloz içermektedir. Kalia ve arkadaşları %2 ile %16 toplam katı içeriğindeki muz gövdesi atığını hem termofilik hem de mezofilik şartlarda oksijensiz çürütme işlemine tabi tutmuşlardır. Aldıkları sonuçlar Çizelge 2. 8’de görülmektedir (Kalia et al., 2000).

Çizelge 2. 8. Mezofilik ve termofilik şartların gaz üretimine etkisi (Kalia et al., 2000)

Çamur (% TKM) (w/v)	DAI	Verim (1/kgTKM beslemiş)		CH ₄ (% v/v)
		Biyogaz	CH ₄	
Mezofilik Kültür				
2	57	271	196	72
4	57	267	183	69
8	57	206	132	64
16	57	130	81	62
Termofilik Kültür				
2	24	217	171	79
4	24	212	153	72
8	24	229	141	62
16	24	143	84	59

Muzun farklı kısımlarının biyogaz ve metan içeriği birbirinden farklılık göstermektedir. Bununla alakalı olarak Muhammad ve arkadaşları yaptıkları çalışmada muz atığından üretilen biyogazın oransal olarak hangi kısımlarından üretildiğini araştırmışlardır. Bu çalışmada deneyler 37°C mezofilik şartlarda ve 35 günlük bekleme süresinde yapılmıştır. Deneylerde muzun gövde, kabuk ve meyve gibi farklı kısımları kullanılmıştır. Aşı malzemesi olarak önceden çürütülmüş hayvan gübresi kullanılmıştır. Elde ettikleri sonuçlar; muzun toplam metan üretiminin %0.84’ünü gövde, %17.71’ini kabuk ve %81.46’sını meyve kısmı üretmiştir. Gövdenin metan üretim oranı 0.256, kabuğun metan üretim oranı 0.322, meyvenin metan üretim oranı ise 0.367 m³/kg uçucu katı olarak saptanmıştır (Khan et al., 2009).

Oksijensiz çürütme yöntemi ile organik atıklardan sadece biyogaz üretilmez. Biyogaz üretiminin yanı sıra tarım için verimli organik gübre ve lif üretimi de gerçekleştirilebilir. Bu konuyla alakalı Hindistan'da Chanakya ve Sreesha tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'da bolca bulunabilen ve normal şartlarda çürüyüp toprağa karışması oldukça zor olan muz yaprağından ve araka kabuğundan oksijensiz çürütme yöntemi ile 4 farklı ürün (biyogaz, gübre, lif ve böceksavar) elde edilebileceği araştırılmıştır. Muz yaprağı ve araka kabuğunun sırasıyla 27 ve 35 gün bekleme sürelerinde optimum lif oluşumları gözlenmiştir. Ayrıca araka kabuğunun çürümesi diğer organik atıklara benzerlik gösterirken muz yaprağınınki diğer organik atıklarda farklı ir çürüme karakteristiği göstermiştir. Bu çalışmada muz yaprağının ağırlıkça %20 lif, % 70 biyogaz (400ml/g TS), %10 kompost gübre içerdiği saptanmıştır. Aynı şekilde araka kabuğunun da % 50 lif, %45 biyogaz (250ml/g TS), %5 kompost içerdiği saptanmıştır (Chanakya and Sreesha, 2012).



Şekil 2. 14. Muz yaprağı ve araka kabuğuna uygulanan prosesler (Chanakya and Sreesha, 2012)

Çizelge 2. 9. Chanakya ve Sreesha tarafından yapılan çalışmanın sonuçları (Chanakya and Sreesha, 2012)

Günler	Palmiye kabuğu			Muz yaprağı		
	Çürütme sonrası taze ağırlık	Kuru ağırlık	BMP 1% TKM	Çürütme sonrası taze ağırlık	Kuru ağırlık	BMP 1% TKM
	g/gTKM	g/gTS	Biogaz ml/gTK	g/gTKM	g/gTS	Biogaz ml/gTK
0	3.571	1.000	0	6.199	1.000	0
3	3.683	0.814	0	7.950	1.012	42.8
6	3.343	0.657	0	7.902	0.925	82.4
10	3.221	0.636	24	8.561	0.766	146.0
13	2.907	0.593	47.2	7.746	0.733	213.2
17	2.921	0.564	50.1	7.254	0.591	262.0
20	2.879	0.536	72.6	6.079	0.627	300.0
24	2.854	0.500	86	5.264	0.519	328.4
27	3.247	0.550	128.4	6.331	0.495	350.2
31	2.847	0.586	164.8	4.293	0.441	400.1
34	2.669	0.486	192.8	-	-	-
38	2.861	0.550	212.8	-	-	-
41	2.821	0.593	225.5	-	-	-
46	2.736	0.507	231.7	-	-	-
50	2.797	0.529	252.6	-	-	-

Zhengyun ve arkadaşları muz üretiminden elde edilen atıklardan biyogaz üretimi üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada muz sapı ve kabuğunu farklı katı madde oranlarında biyogaz testlerine tabi tutmuşlar ve elde edilen biyogaz miktarlarını incelemişlerdir. Kullandıkları atıkların toplam katı, uçucu katı ve pH değerleri Çizelge 2. 10'da görülmektedir.

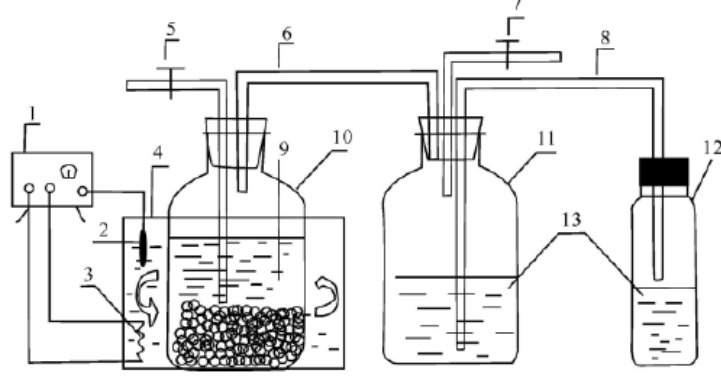
Çizelge 2. 10. Muzun bazı kısımlarının özellikleri (Zhengyun et al., 2013)

Ham maddeler	TS%	VS%	pH
Muz Sapı	7.95	80.53	5.5
Muz Kabuğu	11.51	88.52	5.5
Aşısı	11.59	78.04	7.3

Çalışmada %5 ve %7 katı madde konsantrasyonlarda muz kabuğu ve sapı kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlarda kullanılan numune miktarları Çizelge 2. 11 de görülmektedir.

Çizelge 2. 11. Muzun farklı kısımları kullanılarak hazırlanan deney grupları (Zhengyun et al., 2013)

Gruplar	Maddeler	Oran
Birinci deney grubu	Muz sapı	77 g Muz sapı, 120 ml aşı, hacim 400 ml'ye su ile tamamlandı.
İkinci deney grubu	Muz sapı	177 g muz sapı, 120 ml aşı, hacim 400 ml'ye su ile tamamlandı.
Üçüncü deney grubu	Muz kabuğu	53 g muz kabuğu, 120 ml aşı, hacim 400 ml'ye su ile tamamlandı.
Dördüncü deney grubu	Muz kabuğu	122 g muz kabuğu, 120 ml aşı, hacim 400 ml'ye su ile tamamlandı.
Kontrol grubu	Aşı	120 ml aşı, hacim 400 ml'ye tamamlandı.



Şekil 2. 15. Zhengyun ve arkadaşlarının kullandığı biyogaz düzeneği (Zhengyun et al., 2013)

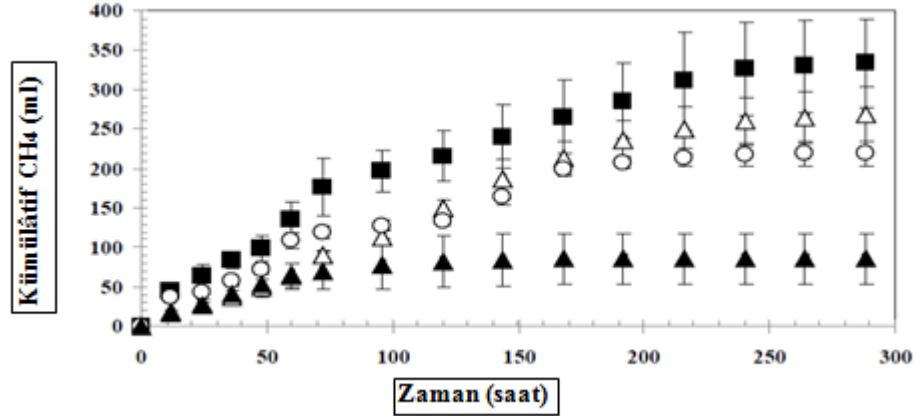
Zhengyun ve arkadaşlarının elde ettiği sonuçlar şöyledir;

- Muz kabuğu ve sapı biyogaz üretimi için kullanılabilir. Kullanılan numune konsantrasyonu önem taşımaktadır.
- % 5 konsantrasyonda muz sapından 616 mL/g TS ve 756 mL/g VS değerlerinde biyogaz elde edilirken %7 konsantrasyonda bu değerler sırasıyla 412 mL/g TS ve 512 mL/g VS olmaktadır. Yani düşük katı madde konsantrasyonunda daha fazla biyogaz eldesi sağlanmıştır.
- % 5 muz kabuğu konsantrasyonda 758 mL/g TS ve 856 mL/g VS değerlerinde biyogaz elde edilmiştir. Konsantrasyonun artması ortamı hızlı bir şekilde asitleştirmiştir.
- Düşük atık konsantrasyonunda muz kabuğundan elde edilen biyogaz miktarları muz sapından elde edilen gaz miktarlarından fazla olmuştur (Zhengyun et al., 2013).

Pisutpaisal ve arkadaşları da muz kabuğundan metan üretimi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışma muz kabuğu %2.5 ile %10 katı madde içeriğinde gerçekleştirilmiştir. Muz numuneleri önce boyut küçültme ön işlemine tabi tutulmuştur. Çalışma 0.5 L lik reaktörlerde pH 7 değerine de mezofilik (37°C) şartlarda yapılmıştır. %7.5 katı madde oranında maksimum biyometan eldesi ve üretim oranı sırasıyla 439 mL/g UKM ve 5.31 mL/saat olarak elde edilmiştir. Çalışma sonunda varılan sonuçlar şu şekildedir;

- Fermantasyon işlemi taze muz kabuğundan biyometan üretimi için ve kabuktaki organik atığın uzaklaştırılması için kullanılabilir.
- Muz kabuğunun boyutu metan üretimi için bakterilerin aktivitesini etkilemektedir.
- Boyut ayarlaması ve mantar ön arıtımının metan üretimini artırabileceği yönünde fikir verilmiştir (Pisutpaisal et al., 2014).

Nathoa ve arkadaşları muz kabuğundan hidrojen ve metan üretimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada tek adımlı ve 2 adımlı reaktör kullanılmıştır. Tek adımlı reaktörde F/M(hammadde/aşı miktarı) oranı 2.5, 5, 7.5, 10 olarak değiştirirken pH 6.7 ile 7.3 arasında tutulmuştur. Elde edilen gazın metan içeriği ise %48 ie %54 arasındadır.



Şekil 2. 16. Tek adımlı reaktörden elde edilen metan miktarı(Nathoa et al., 2014)

İki adımlı reaktörde ise hidrojen fermantasyonu tarafında (1. adımda) pH değeri fermantasyon bitene kadar 5.4'te sabit tutulmuştur. Metan fermantasyonu tarafında (2.adımda) ise pH değeri 7.11 ile 7.22 arasında tutulmuştur.

Çizelge 2. 12. İki adımlı reaktörün özeti (Nathoa et al., 2014)

Hidrojen basamağı				
H_m (mL)	R_m (mL h ⁻¹)	Y (mL g ⁻¹ VS)	%	pH
93.5 ± 19	5.04 ± 1.3	209.9 ± 28	35	5.43 ± 0.4
Metan basamağı				
M_{max} (mL)	R_{max} (mL h ⁻¹)	Verim (mL g ⁻¹ VS)	%	pH
617.6 ± 21	4.4 ± 0.5	284.1 ± 34	67	7.1 ± 0.1

Yapılan çalışma iki adımlı reaktörün tek adımlı reaktörden daha verimli olduğunu ortaya koymuş ve yüksek organik içerikli tarımsal atıklardan hem hidrojen hem de metan üretimi için iki adımlı reaktörün kullanılabilir olduğunu göstermiştir (Nathoa et al., 2014).

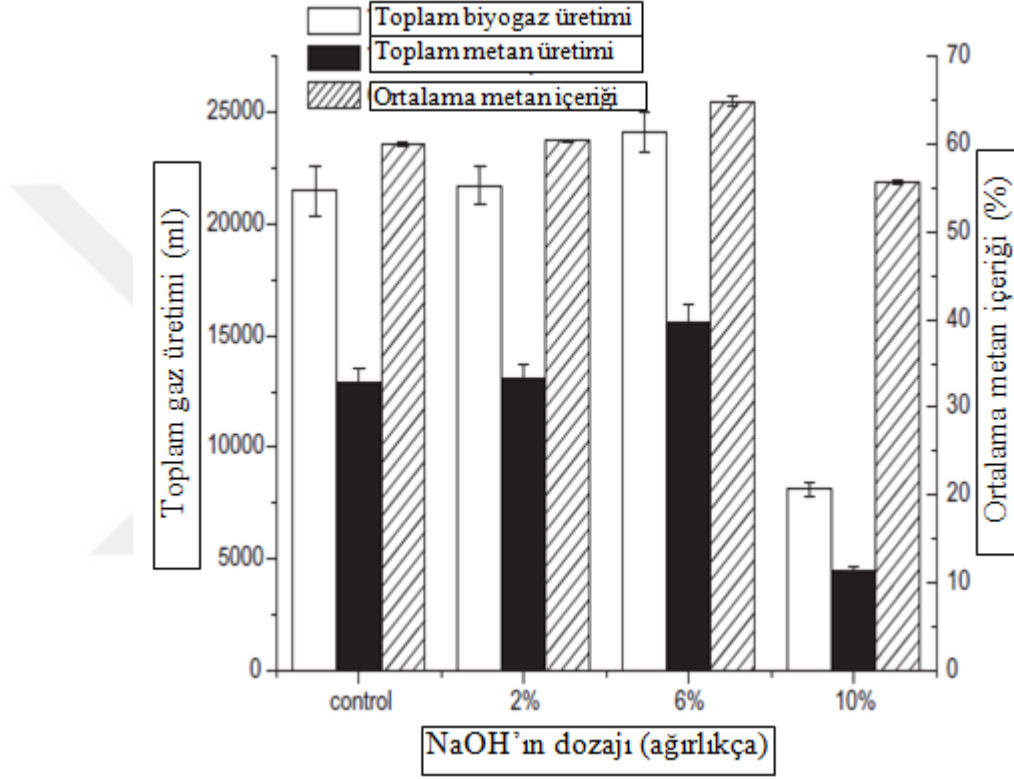
2.4. Muz Atığından Biyogaz Üretiminde Kullanılan Bazı Ön Arıtım Teknikleri

Zhang ve arkadaşları muz ağacı ve domuz gübresinin birlikte oksijensiz çürütülmesinden elde edilecek olan biyogaz miktarını artırmak için muz ağacına bazik ön arıtım işlemi uygulamışlardır. Ön arıtım NaOH ile %2, 6, 10 konsantrasyonlarda 55 °C sıcaklıkta ve 54 saat zaman diliminde gerçekleştirilmiştir. Oksijensiz çürütme işlemi 1:1 oranında muz ağacı ve domuz gübresi karışımı ile yapılmıştır. Çalışma 1000 mL'lik reaktörlerde 500 mL'lik etkin alıştırma hacminde yapılmıştır. Reaktöre %20 toplam katı oranı sağlanacak şekilde saf su ilave edilmiştir. Aş/hammadde oranı da ¼ olarak ayarlanmıştır. Reaktörlerde oksijensiz ortamın sağlanması için 5 dakika boyunca azot gazıyla yıkandıktan sonra kapakları kapatılmıştır. Yapılan ön arıtımın lignin, selüloz ve hemiselüloza etkisi Çizelge 2. 13'te görülmektedir.

Çizelge 2. 13. NaOH ön arıtımının muz ağacının yapısına etkisi (Zhang et al., 2013)

Bileşenler (%)	İşlem görmemiş	%2 NaOH ön arıtılmış	6% NaOH ön arıtılmış	10% NaOH ön arıtılmış
Selüloz	32.36 ± 0.14	33.86 ± 1.53	30.07 ± 4.79	29.56 ± 1.26
Hemiselüloz	14.6 ± 0.68	13.19 ± 1.05	10.65 ± 0.53	9.11 ± 0.29
Lignin	18.36 ± 0.09	17.58 ± 0.40	17.10 ± 0.41	16.59 ± 0.04

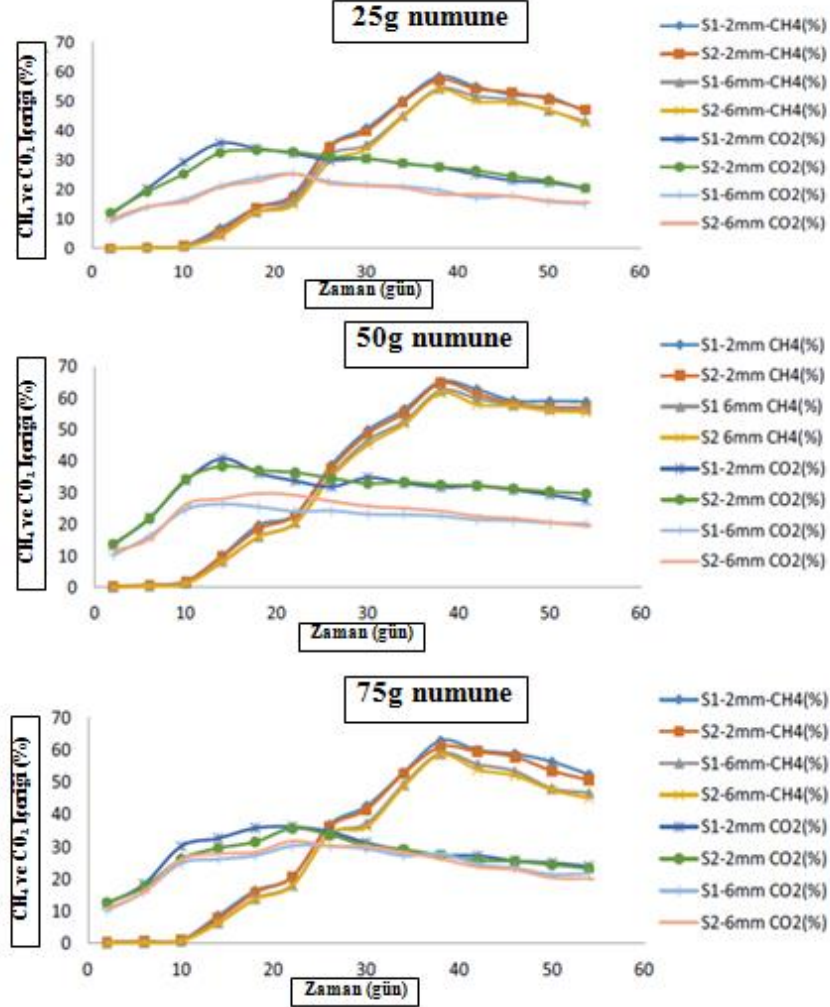
Muz ağacına uygulanan NaOH ön arıtımı bu atığın biyobozunma özelliğini iyileştirerek elde edilen biyogaz ve metan miktarını artırmıştır. En iyi sonuç %6 NaOH dozajında elde edilmiştir. NaOH dozajı %10 olduğunda ise elde edilen biyogaz ve metan miktarlarında düşüş gözlenmiştir. Sonuçlar Şekil 2. 17’te görülmektedir (Zhang et al., 2013).



Şekil 2. 17. NaOH ön arıtımının çıkan gaz miktarlarına etkisi (Zhang et al., 2013)

Muz üretiminde ‘yaprak düşürme’ olarak nitelendirilen ve sıkça karşılaşılan bir durum söz konusudur. Yapraklar çeşitli sebeplerden dolayı (kuruma, uzama sonucu ağırlığı taşıyamama, hastalık vs) kırılır ve kurumaya başlar. Bu yapraklar biyogaz üretme potansiyeline sahiptir. Jena ve arkadaşları düşmüş ve yarı kurumuş bu muz yapraklarından oksijensiz çürütme ile biyogaz üretimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, düşen muz yaprakları toplanarak fiziksel ön arıtım uygulanmış ve boyutları 2-6 mm olarak ayarlanmıştır. Aşı olarak kullanılan çamur bir arıtma tesisinden temin edilmiştir. Reaktörün pH’ı NaOH yardımıyla 7’ye ayarlanmıştır. 500ml aşı çamuruna 25, 50 ve 75 g ağırlıklarında yarı kurumuş muz yaprağı ve %2 oranında üre (azot miktarını artırmak için) eklenerek karışım 1L lik reaktöre konulmuştur. Reaktörün kapağı kapatıldıktan sonra

vakumlanarak reaktör içinde oksijensiz ortam koşulları oluşturulmuştur. En iyi gaz çıkışını 50 g'lık 2 mm numune boyutunda, % 65.28 metan içeriği ve 23.61MJ/m³ ısıl değer olarak elde etmişlerdir. Sonuçlar Şekil 2. 18 de görülmektedir (Jena et al., 2017).



Şekil 2. 18. Farklı numune boyutunda ve miktarlarında üretilen biyogaz miktarları (Jena et al., 2017)

Muz yalancı gövde ve gerçek gövde olmak üzere iki gövdeden oluşmaktadır. Pei ve arkadaşları yaptıkları çalışmada muzun yalancı gövdesine NaOH ile ön arıtım yaparak biyokimyasal biyogaz potansiyelindeki değişimi gözlemiş ve koşulları optimize etmişlerdir. Optimize edilen parametreler NaOH konsantrasyonu, zaman, sıcaklık ve lif uzunluğudur. Yapılan deneyler Çizelge 2. 14 de görülmektedir.

Çizelge 2. 14 .Pei ve arkadaşlarının yaptığım tasarım ve deney sonuçları (Pei et al., 2014)

Numara	Yoğunluk (%)	Zaman (gün)	Sıcaklık (°C)	Uzunluk (cm)	Biyogaz verimi (mLg ⁻¹ V _{Seklenen})	Ongörülen değerler (mLg ⁻¹ V _{Seklenen})
1	3	2	35	1.7	326.7±10.3	344.5
2	9	2	35	1.7	430.2±15.8	408.9
3	3	4	35	1.7	293.9±20.2	350.1
4	9	4	35	1.7	383.9±23.6	414.6
5	3	2	45	1.7	344.7±13.3	344.5
6	9	2	45	1.7	410.7±15.7	408.9
7	3	4	45	1.7	344.8±17.6	350.1
8	9	4	45	1.7	389.6±20.1	414.6
9	3	2	35	4.7	268.2±12.6	279.8
10	9	2	35	4.7	414.5±15.5	390.3
11	3	4	35	4.7	267.0±16.3	285.4
12	9	4	35	4.7	372.9±12.2	395.9
13	3	2	45	4.7	285.2±10.4	279.8
14	9	2	45	4.7	408.4±11.5	390.3
15	3	4	45	4.7	289.8±12.7	285.4
16	9	4	45	4.7	402.9±11.3	395.9
17	0	3	40	3.2	220.4±20.7	183.9
18	12	3	40	3.2	348.9±15.6	358.9
19	6	1	40	3.2	289.2±13.5	323.2
20	6	5	40	3.2	394.8±14.7	334.5
21	6	3	30	3.2	456.6±13.5	417.2
22	6	3	50	3.2	363.8±15.7	417.2
23	6	3	40	0.2	522.7±10.3	458.9
24	6	3	40	6.2	380.2±12.2	375.5
25	6	3	40	3.2	400.6±14.4	417.2
26	6	3	40	3.2	400.2±15.3	417.2
27	6	3	40	3.2	438.4±14.2	417.2
28	6	3	40	3.2	409.2±12.4	417.2
29	6	3	40	3.2	447.8±15.5	417.2
30	6	3	40	3.2	405.3±12.5	417.2

Yapılan optimizasyona göre en fazla biyogaz elde edilen koşullar şu şekildedir; %7.8 NaOH konsantrasyonu, 0.2 cm lif uzunluğu, 3 gün ve 48 °C 'dır. Kontrol grubundan elde edilen biyogaz miktarı 244.7 mL/g UKM iken optimum koşullarda elde edilen biyogaz miktarı kontrol grubundan %89.2 fazla olup 463 mL/g UKM 'dir (Pei et al., 2014).

Ön arıtım biyogaz üretiminde kullanılabildiği gibi biyoetanol üretimi için de kullanılabilmektedir. Gabhane ve arkadaşları muzun farklı kısımlarına farklı ön arıtmalar uygulayarak, bu ön arıtmaların biyoyakıt üretimine ve indirgen şeker eldesine etkisini incelemiştir. Çalışmada muzun yaprak, yumuşak kısım ve yalancı gövdesine ön arıtmalar uygulanmıştır. Kullanılan ön arıtım teknikleri ise asidik ve bazik olarak

otoklavlama, mikrodalga ile ısıtma ve ultrasonik ısıtma ön arıtım teknikleridir. Yaptıkları deneyler ve sonuçları aşağıda görülmektedir.

Çizelge 2. 15. Uygulanan asidik ön arıtmalar. AAC: otoklavlama, AMW: mikro dalga ile ısıtma, AUS: ultrasonik ısıtma (Gabhane et al., 2014)

Tekrarlar	Substrat	Reaksiyon süresi (dk)	Isıtma cihazı ve sıcaklık (°C)	Şeker eldesindeki azalma (%)	
				Gözlenen	Öngörülen
1	PS	15	AAC (121)	5.980	4.842
2	LF	15	AAC (121)	8.500	11.686
3	PH	15	AAC (121)	5.540	8.522
4	PS	30	AAC (121)	20.960	19.695
5	LF	30	AAC (121)	30.760	27.055
6	PH	30	AAC (121)	26.920	24.407
7	PS	60	AAC (121)	15.520	16.991
8	LF	60	AAC (121)	24.310	25.384
9	PH	60	AAC (121)	23.860	23.768
10	PS	15	AMW (180)	11.620	13.632
11	LF	15	AMW (180)	19.010	21.393
12	PH	15	AMW (180)	18.480	19.147
13	PS	30	AMW (180)	30.170	27.073
14	LF	30	AMW (180)	36.660	35.351
15	PH	30	AMW (180)	36.840	33.620
16	PS	60	AMW (180)	20.930	21.544
17	LF	60	AMW (180)	30.270	30.855
18	PH	60	AMW (180)	28.790	30.156
19	PS	15	AUS (50)	7.270	4.395
20	LF	15	AUS (50)	12.620	10.136
21	PH	15	AUS (50)	10.600	5.867
22	PS	30	AUS (50)	13.390	20.947
23	PH	30	AUS (50)	15.900	23.452
24	PS	60	AUS (50)	24.920	21.642
25	LF	60	AUS (50)	28.660	28.930
26	PH	60	AUS (50)	28.220	26.211

Çizelge 2. 16. Uygulanan bazik ön arıtlar. ALAC: otoklavlama, ALMW: mikro dalga ile ısıtma, ALUS: ultrasonik ısıtma (Gabhane et al., 2014)

Tekrarlar	Substrat	Reaksiyon süresi (dk)	Isıtma cihazı ve sıcaklık (°C)	Şeker eldesindeki azalma (%)	
				Gözlenen	Öngörülen
1	PS	15	ALAC (121)	14.96	15.579
2	LF	15	ALAC (121)	20.01	20.131
3	PH	15	ALAC (121)	19.64	19.892
4	PS	30	ALAC (121)	26.04	26.211
5	LF	30	ALAC (121)	32.96	30.981
6	PH	30	ALAC (121)	33.08	30.960
7	PS	60	ALAC (121)	26.96	27.859
8	LF	60	ALAC (121)	31.84	33.065
9	PH	60	ALAC (121)	32.67	33.480
10	PS	15	ALMW (180)	21.71	21.210
11	LF	15	ALMW (180)	24.56	25.736
12	PH	15	ALMW (180)	24.52	25.471
13	PS	30	ALMW (180)	31.05	30.446
14	LF	30	ALMW (180)	34.88	35.191
15	PH	30	ALMW (180)	35.96	35.144
16	PS	60	ALMW (180)	29.67	29.304
17	LF	60	ALMW (180)	34.53	34.484
18	PH	60	ALMW (180)	34.98	34.874
19	PS	15	ALUS (50)	24.36	23.758
20	LF	15	ALUS (50)	29.84	28.340
21	PH	15	ALUS (50)	28.65	28.132
22	PS	30	ALUS (50)	34.78	36.069
23	LF	30	ALUS (50)	39.16	40.869
24	PH	30	ALUS (50)	38.84	40.879
25	PS	60	ALUS (50)	41.98	41.075
26	LF	60	ALUS (50)	47.33	46.311
27	PH	60	ALUS (50)	47.25	46.757

Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki muzun farklı bileşenleri alkali ve asidik ön arıtlara yatkındır. Ancak yine de yaprak ve yumuşak kısımların şeker üretimi yalancı gövdeye göre daha yüksek olmuştur. Yalancı gövdenin yüksek selüloz ve hemiselüloz içeriğine rağmen onun yüksek kristalli yapısından dolayı indirgen şekere dönüşümü etkili olmamıştır. Çeşitli ön arıtlar içinden bazik ultrasonik ısıtma yöntemi uz atıkları için etkili ve ekonomik olacağı görülmektedir (Gabhane et al., 2014).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Muz Atığı

Deneyleerde kullanılan muz atığı Mersin'in Bozyazı ilçesindeki muz seralarından temin edilmiştir. Muzun yalancı gövdesi ve yaprakları ayrı ayrı 5 mm'den daha küçük parçalar halinde kesilmiştir (Şekil 3. 1). Boyut küçültme işlemi biyogaz üretiminde substrat alanının artırılması için yapılmıştır. Kesme işlemi muzun lifli yapısından dolayı otomatik parçalayıcılarda yapılamamış, bıçak ile yapılmıştır. Daha sonra bir muz ağacının ağırlıkça gövde/yaprak oranının yaklaşık 4:1 olduğu ön görülerek boyutları küçültülen gövde ve yapraklar 4:1 oranında homojen bir şekilde karıştırılmıştır (Şekil 3. 2). Hazırlanan karışım küçük paketler halinde deneyleerde kullanılmak üzere, özelliklerini kaybetmemeleri için derin dondurucuda (-20°C) muhafaza edilmiştir (Şekil 3. 3).



Şekil 3. 1. Boyut küçültülmüş muz yaprağı ve yalancı gövdesi



Şekil 3. 2. Muz yaprağı ile yalancı gövdesinin karıştırılması



Şekil 3. 3. Muz atığının derin dondurucuda muhafaza şekli

3.2. Muz Atığının Karakterizasyon Analizleri

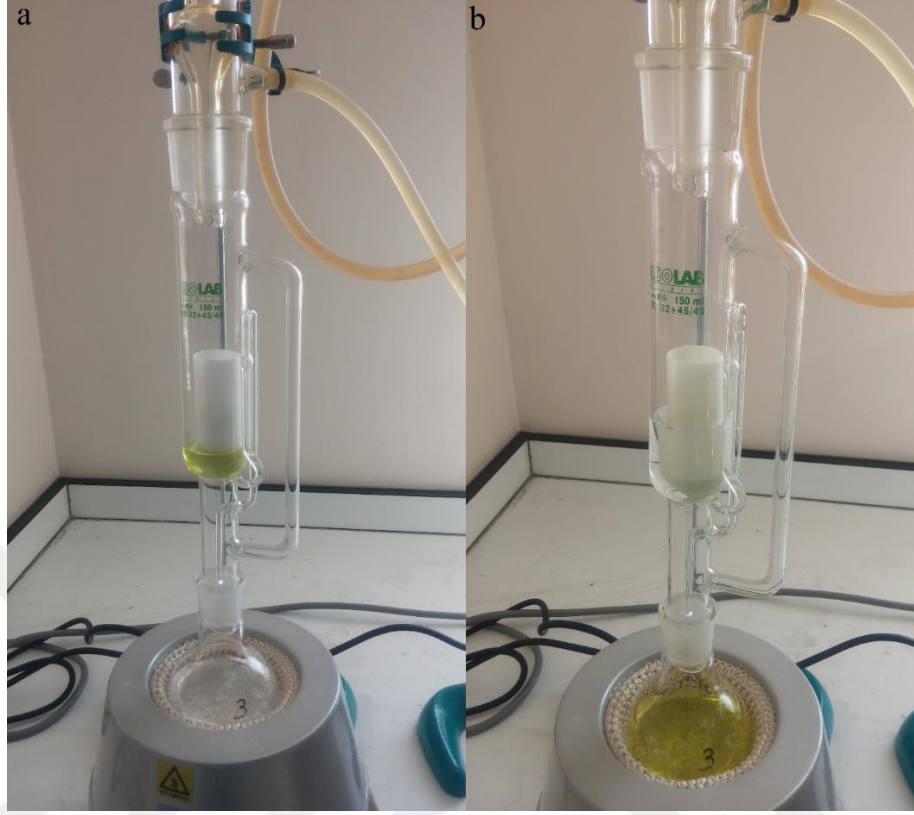
Muz atığının karakterizasyonunun belirlenmesi için toplam katı madde (TKM), uçucu katı madde (UKM), yağ, protein, çözünmüş şeker (çŞeker), hemiselüloz, selüloz, lignin, çözüner madde analizleri ve elementel analiz yapılmıştır.

3.2.1. Toplam katı madde (TKM) ve uçucu katı madde (UKM) analizleri

TKM ve UKM analizleri standart metot 2540-C ye göre hem kurutulmuş hem de yaş muz atığına yapılmıştır. (APHA, 1999) Belli miktarda numune 105 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelene kadar bekletilmiştir. Sabit tartıma geldikten sonra tartılarak ağırlık farkından TKM değeri tespit edilmiştir. TKM değeri tespit edilen numune 550° C sıcaklık ve 2 saat süreyle yakılmış ve ağırlık farkından UKM değeri tespit edilmiştir.

3.2.2. Ekstrakte olabilen madde ve yağ analizi

Ekstrakte olabilen madde ve yağ analizinde soxhlet metodu kullanılmıştır. Soxhlet kartuşu içine koyulan belli miktarda numune üzerine aynı miktarda Na₂SO₄ ilave edilerek kartuşun ağzı hidrofilyk pamuk ile kapatılıp ekstraktör tûpüne yerleştirilmiştir. Önceden 105 °C ta sabit tartıma getirilmiş olan yuvarlak tabanlı balon joje içine 200 mL 40-60° petrol eteri ilave edilerek ekstraktör, balon jochenin üzerine yerleştirilip ikisi birlikte ısıtıcı üzerine koyulmuştur. Eter ısıtma işlemi ile buharlaştırılıp, soğutucu ile yoğuşturularak kartuşun bulunduğu hazneye damlaması sağlanmıştır. Böylece numune eter ile yıkanmış ve renk değişimi meydana gelmiştir (Şekil 3. 4.a). Ekstraksiyon işlemi, ekstraktör tûpü içindeki eter tamamen şeffaf renk alana kadar devam etmiştir (Şekil 3. 4.b). Eter şeffaf rengi alınca evaporasyon işlemi ile eter balon jochenin uzaklaştırılmış ve en az 16 saat 105°C’de bekletildikten sonra tartımı yapılarak mevcut yağ ile ekstrakte olabilen madde miktarı belirlenmiştir.



Şekil 3. 4. Ekstrakte olabilen madde ve yağ analizi yapılan düzenekler; a) Renk değişimi başlangıcı, b) Renk değişiminin tamamlanmış hali

3.2.3. Protein analizi

Protein analizi LOWRY metoduna göre yapılmıştır (Lowry et al., 1951). Analiz için gerekli olan çözeltiler tuz ve folin çözeltileridir. Tuz çözeltileri A, B1, B2 ve C çözeltilerinden oluşmaktadır. A çözeltisi hazırlamak için 20 g Na_2CO_3 ve 4 g NaOH 800 mL distile suda çözüldükten sonra hacim 1000 mL ye distile su ile tamamlanmıştır. B1 çözeltisi hazırlamak için 1 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 50 mL distile suda çözülerek hacim 100 mL ye distile su ile tamamlanmıştır. B2 çözeltisi hazırlamak için 2 g $\text{C}_4\text{H}_4\text{KNaO}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 50 mL distile suda çözülerek hacim 100 mL ye distile su ile tamamlanmıştır. C çözeltisi için ise 50 mL A çözeltisi, 0.5 mL B1 ve 0.5 mL B2 çözeltisi karıştırılmıştır. Folin çözeltisi de 100 mL hazır folin, 100 mL distile suyla 200 mL ye tamamlanarak hazırlanmıştır. Çözeltiler hazırlandıktan sonra cam tüplere 1 mL numune üzerine 3 mL C çözeltisi ve 0.3 mL folin çözeltisi ilave edilerek ışık almayacak şekilde 2 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. 2 saatin

sonunda spektrofotometre de protein programında 750 nm de ölçüm yapılmış ve sonuçlar mg protein/g UKM birimine çevrilmiştir.

3.2.4. çŞeker analizi

Kurutulmuş ham numuneye çŞeker analizi DNS metoduna göre yapılmıştır (Miller, 1959). 0.015 g kurutulmuş ham muz atığının üzerine 3mL distile su eklenerek hazırlanan çözeltinin üzerine 3mL DNS (Dinitrosalisilik asit) eklendikten sonra 5 dakika boyunca 100°C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilip soğuduktan sonra spektrofotometrede çŞeker değeri 575 nm’de okunmuştur.

3.2.5. Selüloz , hemiselüloz , lignin , çözünür madde fraksiyon analizleri

Çözünür madde, selüloz, hemiselüloz, lignin fraksiyon analizleri Van Soest metoduna göre yapılmıştır (Van Soest, 1963). Van Soest metodu art arda yapılan nötral ve asidik deterjan ekstraksiyonu ve ardından selüloz konsantrasyonunun belirlenmesi için güçlü asit ekstraksiyonu temeline dayanmaktadır (Gökgöl, 2016). Numune önce nötral deterjan ile muamele edilmiştir. Burada ayrışan organik madde çözünür fraksiyon olarak kaydedilmiştir. Sonrasında asidik deterjanla muamele edilmiş ve ayrışan kısım hemiselüloz olmuştur. Daha sonra ise %72 lik H₂SO₄ ile 3 saat muamele edilmiş ve burada ayrışan madde de selüloz olmuştur. Son olarak, kalan numunenin 550°C sıcaklıkta 2 saat yakılmasıyla ayrışan kısım da lignin olarak kaydedilmiştir.

3.2.6. Elementel analiz

Kurutulmuş muz atığı elementel analizi (C, H, N, S) ODTÜ AR-GE Eğitim ve Ölçme Merkezi Laboratuvarında hizmet alımı ile yaptırılmıştır.

3.3. Termal Ca(OH)₂ Ön Arıtma Deney Tasarımı

Termal-Ca(OH)₂ ön arıtmanın muz atığının biyogaz üretim potansiyeli üzerindeki etkilerini ve optimum ön arıtma koşullarının belirlenmesi için Design Expert paket programı, Cevap Yüzey Yöntemi kullanılarak deney tasarımı yapılmıştır. Programın önerdiği 14 farklı koşulda dublike olarak yapılan deneyler ve 4 adet merkez deneyleri ile birlikte toplamda 32 adet ön arıtma deneyi yapılmıştır. Programın önerdiği deney seti Çizelge 3. 1’de görülmektedir. Ön arıtım deneyleri için toplam çalışma hacmi 250 mL olarak belirlenmiştir. İlk etapta %5 katı madde miktarında çalışılması düşünülmüş ancak %5 katı madde ile hazırlanan karışım fazla yoğun olmuş ve homojen bir şekilde karıştırma yapılamamıştır. Bunun üzerine katı madde oranı düşürülerek farklı oranlar denenmiş ve %3 katı madde oranının uygun olduğuna karar verilerek ön arıtım deneyleri %3 katı madde oranında yapılmıştır. Termal-Ca(OH)₂ ön arıtma üzerinde etkili olabilecek bağımsız değişkenler ve aralıkları şu şekilde belirlenmiştir;

- Reaksiyon Sıcaklığı: 50 -100°C
- Reaksiyon Süresi: 1-15 saat
- Ca(OH)₂ Konsantrasyonu : %2-8
- Sabit %3 katı madde olarak toplamda 32 adet deney belirlenmiştir.

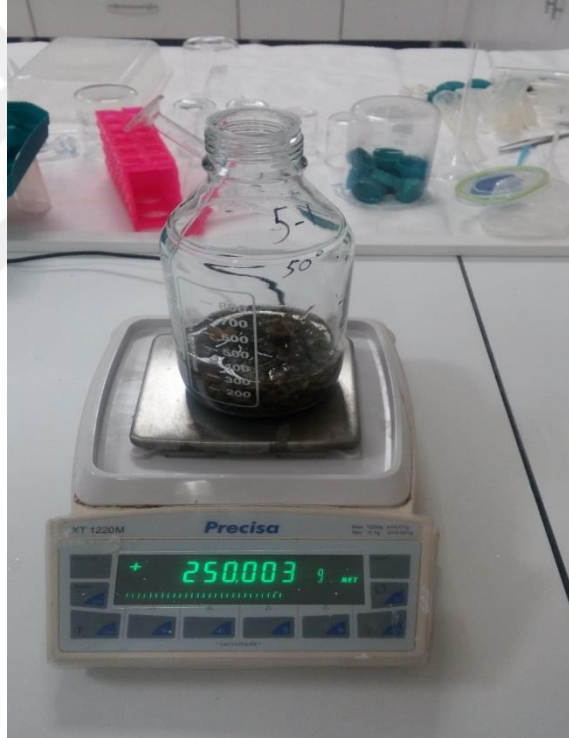
Termal – Ca(OH)₂ ön arıtma prosesinin etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılacak bağımlı değişkenler ise; pH, çŞeker ve Biyokimyasal Metan Potansiyelidir (BMP). Bu analizlerden pH 32 adet ön arıtma deneyi numunesine dublike, diğer iki analiz de triplike olarak uygulanmıştır.

Çizelge 3. 1. Ön arıtım deney tasarımı

Deney grubu	KM (%)	Sıcaklık (C)	Reaksiyon Süresi (saat)	Ca(OH)₂ Miktarı (g Ca(OH)₂/gTKM)
7_1	3	50	1	0.02
7_2	3	50	1	0.02
10_1	3	50	1	0.08
10_2	3	50	1	0.08
2_1	3	75	1	0.05
2_2	3	75	1	0.05
4_1	3	100	1	0.02
4_2	3	100	1	0.02
14_1	3	100	1	0.08
14_2	3	100	1	0.08
1_1	3	50	8	0.05
1_2	3	50	8	0.05
13_1	3	75	8	0.02
13_2	3	75	8	0.02
M1	3	75	8	0.05
M2	3	75	8	0.05
M3	3	75	8	0.05
M4	3	75	8	0.05
9_1	3	75	8	0.08
9_2	3	75	8	0.08
11_1	3	100	8	0.05
11_2	3	100	8	0.05
6_1	3	50	15	0.02
6_2	3	50	15	0.02
5_1	3	50	15	0.08
5_2	3	50	15	0.08
3_1	3	75	15	0.05
3_2	3	75	15	0.05
8_1	3	100	15	0.02
8_2	3	100	15	0.02
12_1	3	100	15	0.08
12_2	3	100	15	0.08

Ön arıtım deneyleri 1000 mL'lik yüksek sıcaklıklara dayanıklı cam şişelerde 250 mL çalışma hacminde yapılmıştır. Şişelere koyulacak numune ve kimyasal miktarı ayrı ayrı

tartılmıştır. Şişenin darası alınarak terazi sıfırlanmıştır. Önce numune sonra da bir miktar suda çözdürülmüş olan kimyasal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) şişelere eklendikten sonra şişe içindeki karışımın ağırlığı 250 g olana kadar distile su ilave edilmiştir (Şekil 3. 5). Daha sonra ön arıtım öncesi pH değeri ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Şişeler sıcaklığı önceden ayarlanmış yağ banyolarına yerleştirilmiştir (Şekil 3. 6). Yağ banyolarının sıcaklığı digital termometre kontrolü ile sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Belirlenen ön arıtım süresi sonunda yağ banyosundan çıkarılan şişeler soğuması için bekleye alınmıştır. Soğuduktan sonra pH ölçümü yapılarak sonraki analizlerde kullanılmak üzere derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.



Şekil 3. 5. Ön arıtım hazırlığı



Şekil 3. 6. Ön arıtım yapılan deney düzeneği

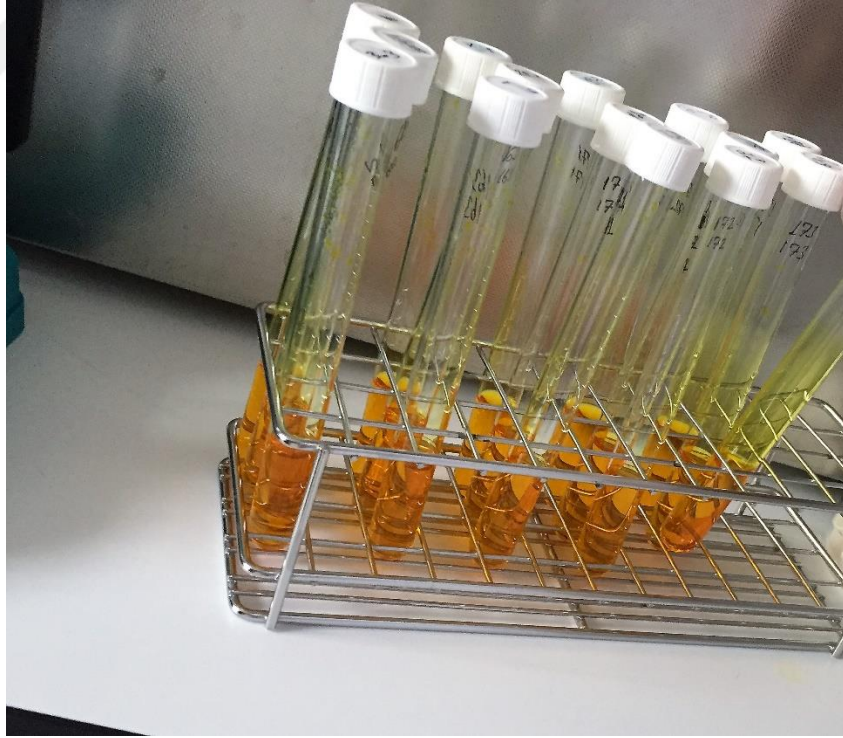
3.4. Termal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Ön Arıtmanın Etkilerinin Belirlenmesi

3.4.1. İndirgen şeker (çŞeker) analizi

İndirgen şeker analizi ön arıtma yapılmış numunelerin sıvı kısımlarına yapılmıştır. Ön arıtılmış katı-sıvı numune önce santrifüj edilerek sıvı kısmı ayrılmıştır. Santrifüj edilen kısım distile su ile 5 kat seyreltilmiştir. DNS metodu kullanarak şeker analizi yapılmıştır (Miller, 1959). Cam tüplere 3 mL seyreltilmiş numuneden 3 mL de DNS (Dinitrosalisilik asit) çözeltisi eklenerek 1 dakika vortexlendikten sonra sıcaklığı önceden 100°C 'ye ayarlanmış su banyosunda 5 dakika beklenmiştir (Şekil 3. 7). Su banyosuna koyulmadan önceki durumu Şekil 3. 8'de görülmektedir. 5 dakikanın sonunda renk değişimini durdurması için her tüpe 1'er mL potasyum sodyum tartarat çözeltisi eklenerek tüpler soğuması için buzlu suya koyulmuştur. Soğuma tamamlandıktan sonra spektrofotometrede 575nm 'de ölçüm yapılmıştır (Şekil 3. 9).



Şekil 3. 7. çŞeker analizinde kullanılan su banyosu ve vortex cihazı



Şekil 3. 8. Su banyosuna koyulmadan önceki karışım



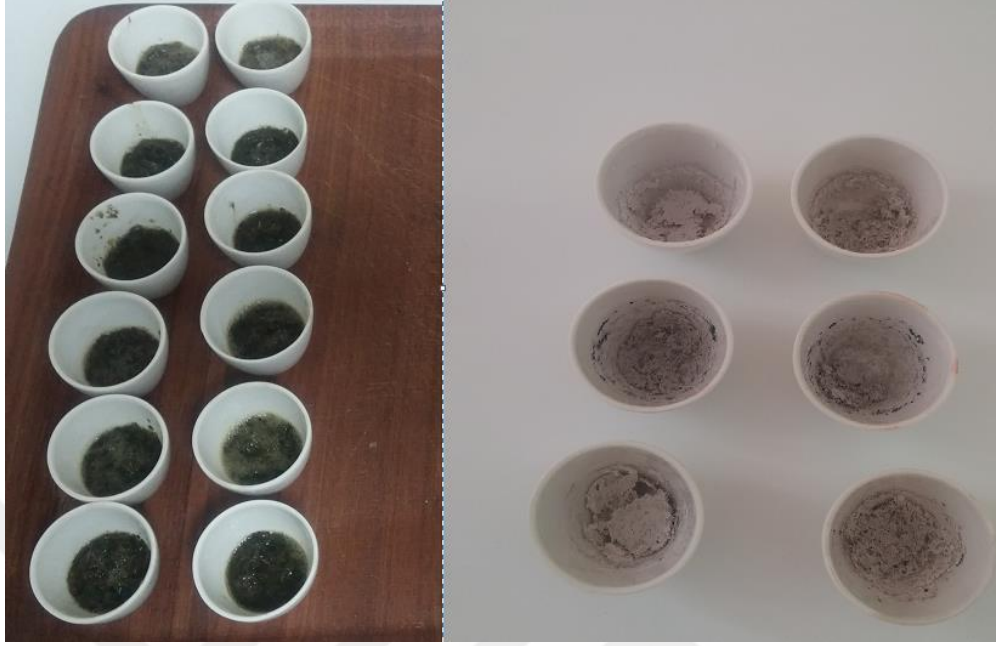
Şekil 3. 9. Spektrofotometre ile şeker ölçümü

3.4.2. Toplam katı madde analizi

Dublike olarak yapılan 14 deney ve 4 merkez deneyi, şeker analizi yapıldıktan sonra eşlenikleri ile karıştırılmış, 15 farklı özellikte numune elde edilmiştir. Bu 15 numunenin toplam katı madde analizi dublike olarak yapılmıştır. Her numuneden belirli miktarlarda örnek tartılmış ve krozelere koyulmuştur. 24 saat süreyle 105°C sıcaklığındaki etüvde sabit tartıma gelmesi beklenmiştir. Daha sonra etüvden çıkarılarak desikatörlerde soğumaya bırakılmıştır. Soğuduktan sonra tekrar tartılmış, krozede kalan katı miktarından yola çıkarak numunenin % katı maddesi hesaplanmıştır.

3.4.3. Uçucu katı madde analizi

TKM analizi tamamlanan numuneler UKM analizi için 550 °C kül fırınında 2 saat yakıldıktan sonra tekrar tartılarak katı madde içindeki uçucu katı madde miktarı belirlenmiştir.



Şekil 3. 10. TKM-UKM yapılan numunelerin ilk ve son halleri

3.4.4. BMP (Biyokimyasal Metan Potansiyeli) testi

Uygulanan ön arıtımın muz atığının biyogaz potansiyeline etkisini görmek için ön arıtılmış numunelere Carrere vd (2009) ile Us ve Perendeci (2012) tarafından uygulanan standart metot kullanılarak BMP testi yapılmıştır (Us and Perendeci, 2012),(Carrère et al.,2009). Kullanılan BMP şişeleri 500 mL hacme sahip olup çalışma hacmi 400 mL olarak belirlenmiştir. Kalan hacim de üretilen gazın depolanması için kullanılmıştır. BMP şişelerine koyulması gereken aktif aşı çamuru miktarı 3-4 gUKM/L ve substrat/aşı çamuru oranı da 0.5 (gUKM Substrat/gUKM aşı çamuru) olması gerekmektedir. Ayrıca aşı çamuru içindeki bakteri faaliyetlerinin devam etmesi için şişelere makro-mikro çözeltiler ve pH değişimini tamponlamak için NaHCO_3 çözeltisi eklenmiştir. Belirtilen bu miktarlara göre her şişeye koyulması gereken numune, aşı miktarı, makro-mikro-tampon çözelti miktarı ve hacmi 400 mL ye tamamlamak için eklenmesi gereken su miktarı hesaplanarak şişelere koyulmuştur. Şişelerin pH'ı 7 ile 8 arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Daha sonra şişelerin içinde oksijensiz ortamın sağlanması için %70 N_2 +%30 CO_2 gaz karışımı ile yıkanarak ağzı gaz sızdırmaz septumlarla kapatılarak 36°C sıcaklıktaki inkübatöre yerleştirilmiştir (Şekil 3. 11). BMP testi her numuneye triplike olarak uygulanmıştır.



Şekil 3. 11. İnkübatöre yerleştirilen BMP şişeleri

3.4.4.1. Aşı çamuru

BMP (Biyokimyasal Metan Potansiyeli) deneylerinde kullanılan anaerobik aşı çamuru Antalya merkeze 17 km uzaklıkta bulunan Antalya Büyükşehir Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisinden temin edilmiştir. Aşı çamurunun yoğunluğu yaklaşık 1.1 g/cm^3 olarak hesaplanmış ve her BMP şişesine 43.3 mL koyulmuştur. Çamur laboratuvarında oda koşullarında ağzı kapalı olarak muhafaza edilmektedir.

3.4.4.2. Makro-Mikro-Tampon çözeltiler

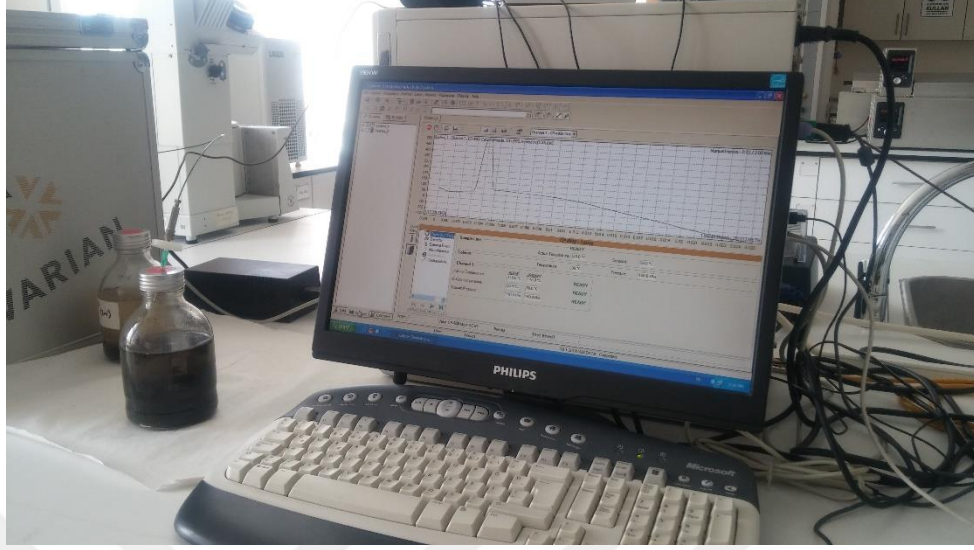
BMP şişelerinde bakteri aktivitelerinin devam etmesi için gerekli olan makro ve mikro çözeltiler ile pH değişiminin tamponlanması için gerekli olan tampon çözeltilerinin hazırlanma koşulları Çizelge 3. 2’de verilmiştir. Bu çizelgeye göre hazırlanan makro, mikro ve tampon çözeltilerinden her BMP şişesine sırasıyla 2.6, 4 ve 20.8 mL koyulmuştur.

Çizelge 3. 2. Makro-Mikro-Tampon çözelti hazırlama tablosu

makro element çözeltisi	(g/L)
NH ₄ Cl	26,6
KH ₂ PO ₄	10
MgCl ₂ , 6H ₂ O	6
CaCl ₂ , 2H ₂ O	3
Mikro element Çözeltisi	
FeCl ₂ , 4H ₂ O	2
CoCl ₂ , 6H ₂ O	0,5
MnCl ₂ , 4H ₂ O	0,1
NiCl ₂ , 6H ₂ O	0,1
ZnCl ₂	0,05
H ₃ BO ₃	0,05
Na ₂ SeO ₃	0,05
CuCl ₂ , 2H ₂ O	0,04
Na ₂ MoO ₄ , 2H ₂ O	0,01
Tampon Çözeltisi	
NaHCO ₃	50

3.4.4.3. Biyogaz kompozisyonunun belirlenmesi

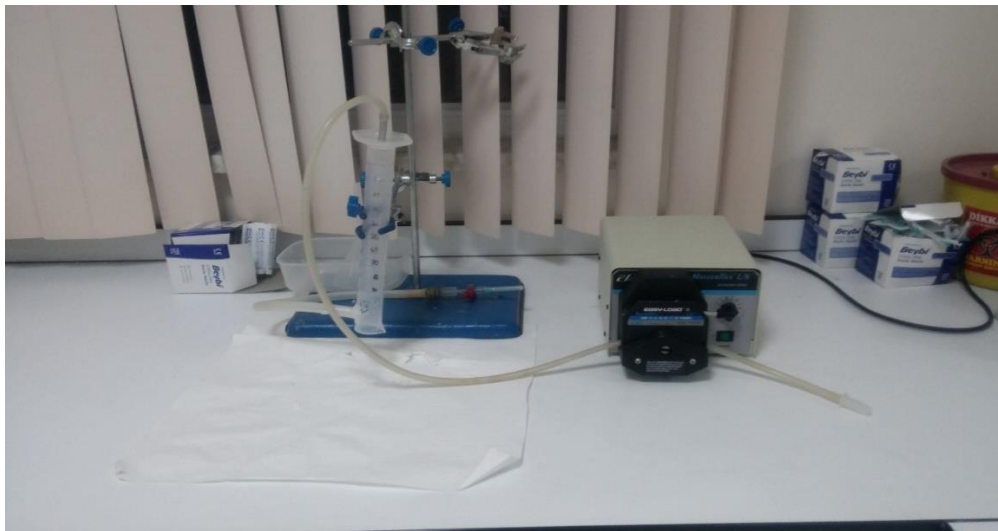
BMP şişelerinde üretilen gaz Varian CP-4900 Mikro gaz kromatografi (GC) cihazı ile analiz edilmiştir (Şekil 3. 12). Analiz ilk 3 gün art arda yapılmış sonraki günlerde ise belli aralıklarla yapılmıştır. Mikro GC analizi şu şekilde yapmaktadır: Cihaz BMP şişesinden 4 mL gaz çekmektedir. Taşıyıcı gaz olarak helyum kullanılmaktadır. Cihaz içindeki sıcaklık farkından dolayı helyum biyogazdan ayrışarak biyogaz içindeki N₂, CH₄, CO₂ oranı yüzde olarak belirlenmektedir. Cihazın enjektör sıcaklığı 110 °C, kolon sıcaklığı 50°C ve kolon basıncı da 150 kPa değerlerindedir.



Şekil 3. 12. Gaz analizinin yapılışı

3.4.4.4. Toplam gaz ölçümü

Mikro GC ile gazın analizi yapıldıktan sonra bir önceki ölçümden sonra üretilen gaz miktarı sıvı-gaz yer değiştirme mantığı ile ölçülerek kaydedilmiştir. Gaz ölçümü yapılan düzeneğe Şekil 3. 13 de görülmektedir. Burada yer değiştirme sıvısı olarak CO₂'in suda çözünmesini engellemek için pH 1 seviyesinde asidik bir çözelti kullanılmıştır. Çözeltiyi dereceli silindire çekmek için peristaltik pompa kullanılmıştır.



Şekil 3. 13. Günlük toplam gazın ölçüldüğü gaz-sıvı yer değiştirme düzeneği

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Muz Atığının Karakterizasyonu

Ham muz numunelerinin karakterizasyonunun belirlenmesinde toplam katı madde analizi (TKM), uçucu katı madde analizi (UKM), van soest (selüloz, hemiselüloz, lignin, çözümler madde) fraksiyon analizi, yağ analizi, protein analizi ve elementel analiz yapılmıştır. Elementel analiz ODTÜ merkezi Laboratuvarında diğer analizler ise Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği Biyoteknoloji Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Ayrıca TKM ve UKM analizi hem yaş muz atığına hem de kurutulmuş muz atığına yapılırken diğer analizler kurutulmuş muz atığına yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4. 1 de verilmiştir.

Çizelge 4. 1. Muz atığının karakterizasyon sonuçları

Analiz	Birim	Sonuç
Toplam katı madde (TKM) Yaş Numune	g/kg	79,86
Toplam katı madde (TKM) Kuru Numune	g/kg	949,81
Uçucu katı madde (UKM) Yaş Numune	g/kg	68,72
Uçucu katı madde (UKM) Kuru Numune	g/kg	836,37
Yağ	%	1,74
Protein	mg protein/g UKM	73,32
çŞeker	mg glikoz/g UKM	221,97
Van soest Fraksiyonu		
Çözümler madde fraksiyonu	%	40,498
Hemiselüloz	%	23,098
Selüloz	%	27,065
Lignin	%	9,339
Elemental Analiz		
C	%	39,34
H	%	5,35
N	%	2,02
S	%	-

Yaş ve kurutulmuş muz atığının TKM değerleri sırasıyla % 7.98 ve %94.98 iken UKM değerleri sırasıyla %6.87 ve %83.64 olarak bulunmuştur. Literatürde Sözer ve Yıldız (Sözer and Yıldız, 2011) yaptıkları çalışmada kuru muz atığının TKM ve UKM değerlerini

sırasıyla %88,45 ve %85,51 bulmuşlardır. Kalia ve arkadaşları (Kalia et al., 2000) da yaptıkları çalışmada güneşte kurutulmuş muz ağacının TKM ve UKM değerlerini sırasıyla %92 ve %83 değerlerinde bulmuşlardır. Li ve arkadaşları (C. Li et al., 2016) da yaş muz ağacının TKM ve UKM değerlerini sırasıyla %5.53 ve %4.47 olarak bulmuşlardır. Bu tez çalışmasında kullanılan yaş ve kurutulmuş muz atığının TKM ve UKM değerleri literatürdeki bilgilerle paralellik göstermektedir.

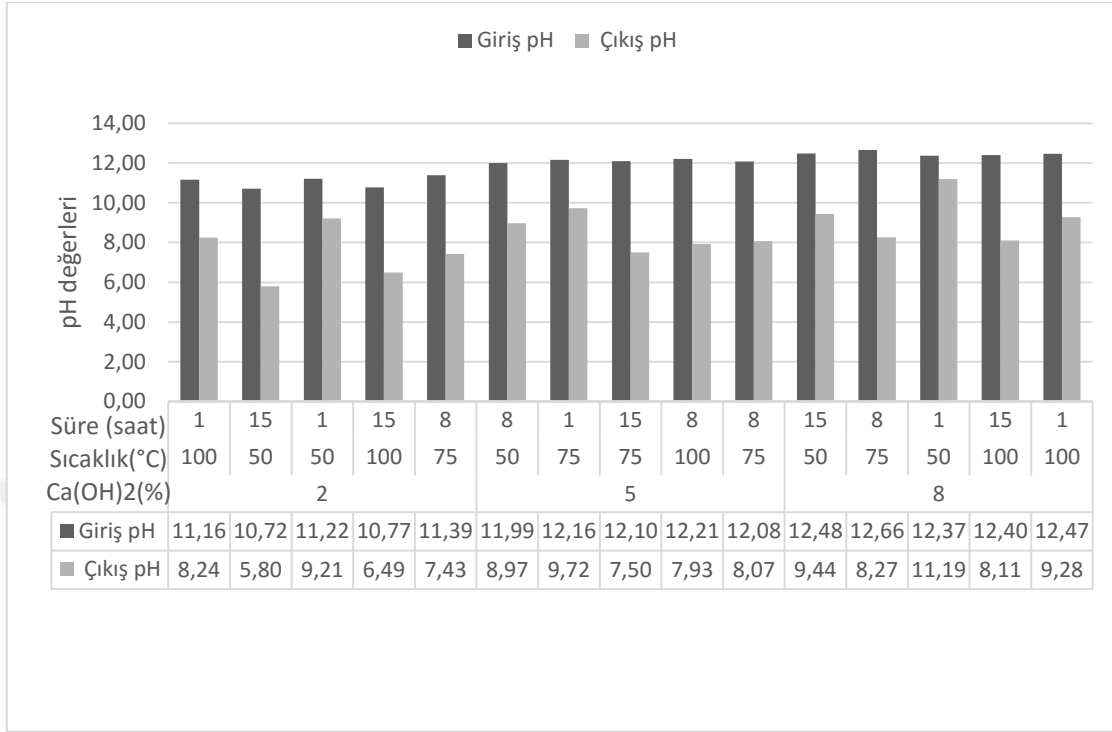
Zhang ve arkadaşları (Zhang et al., 2013) kurutulmuş muz ağacının selüloz, hemiselüloz ve lignin içeriğini sırasıyla %32.36, %14.6 ve %18.36 bulmuşlardır. Fernandes ve arkadaşları (Fernandes et al., 2013) yaş muz yaprağının selüloz, hemiselüloz ve lignin içeriğini sırasıyla %53.5, %28.5 ve 15.4 olarak bulurken yarı kurumuş muz yaprağının selüloz, hemiselüloz ve lignin içeriğini sırasıyla %26.7, %25.8 ve %17 olarak bulmuşlardır. Fernandes ve arkadaşları (Fernandes et al., 2013) yarı kurutulmuş muz yaprağının elementel analiz sonuçlarını % 43.5 C, % 6.3 H, % 1.3 N ve %0.2 S olarak bulmuştur. Benzer şekilde Li ve arkadaşları (Li et al., 2016) muzun yalancı gövdesinin elementel analiz sonuçlarını %38.44 C, %5.03 H, % 1.24 N ve %0.09 S olarak bulmuşlardır. Bu tez çalışmasında kullanılan muz atığının lignoselülozik ve elementel özellikleri literatürdeki değerlere yakınlık göstermektedir.

4.2. Termal Ca(OH)₂ Ön Arıtmanın Etkileri

Uygulanan termal Ca(OH)₂ ön arıtmasının etkisini görebilmek için çŞeker analizi ve BMP testi yapılmıştır. Ayrıca ön arıtma sonrası ortam pH'ındaki değişimin gözlenmesi için pH ölçümü yapılmıştır. BMP testinde şişelere koyulacak olan UKM miktarını belirlemek için ön arıtma uygulanan numunelerin TKM ve UKM belirlenmesi de yapılmıştır.

4.2.1. Ortam pH'nın Değişimi

Ön arıtma sonrası ortam pH'ındaki değişimi görebilmek için ön arıtmadan önce ve sonra pH ölçümü yapılmış ve bir miktar değişim gözlenmiştir. Bu değişimler kimyasal miktarına, sıcaklığa ve süreye göre farklılıklar göstermiştir. pH ölçüm sonuçları ve pH'taki % azalma miktarı Şekil 4. 1'de görülmektedir.



Şekil 4. 1. pH ölçüm sonuçları

Numunelerin ön arıtımında kullanılan Ca(OH)_2 bazik olduğu için giriş pH değerleri 7'den yüksek çıkmıştır. Kullanılan kimyasal miktarı arttıkça pH değeri de buna bağlı olarak artış göstermiştir. %2 Ca(OH)_2 konsantrasyonunda pH değerleri 10.72 ile 11.39 arasında değerler alırken %5 Ca(OH)_2 konsantrasyonunda 11.99 ile 12.21 arasında, %8 Ca(OH)_2 konsantrasyonunda ise 12.37 ile 12.66 arasında değerler almıştır.

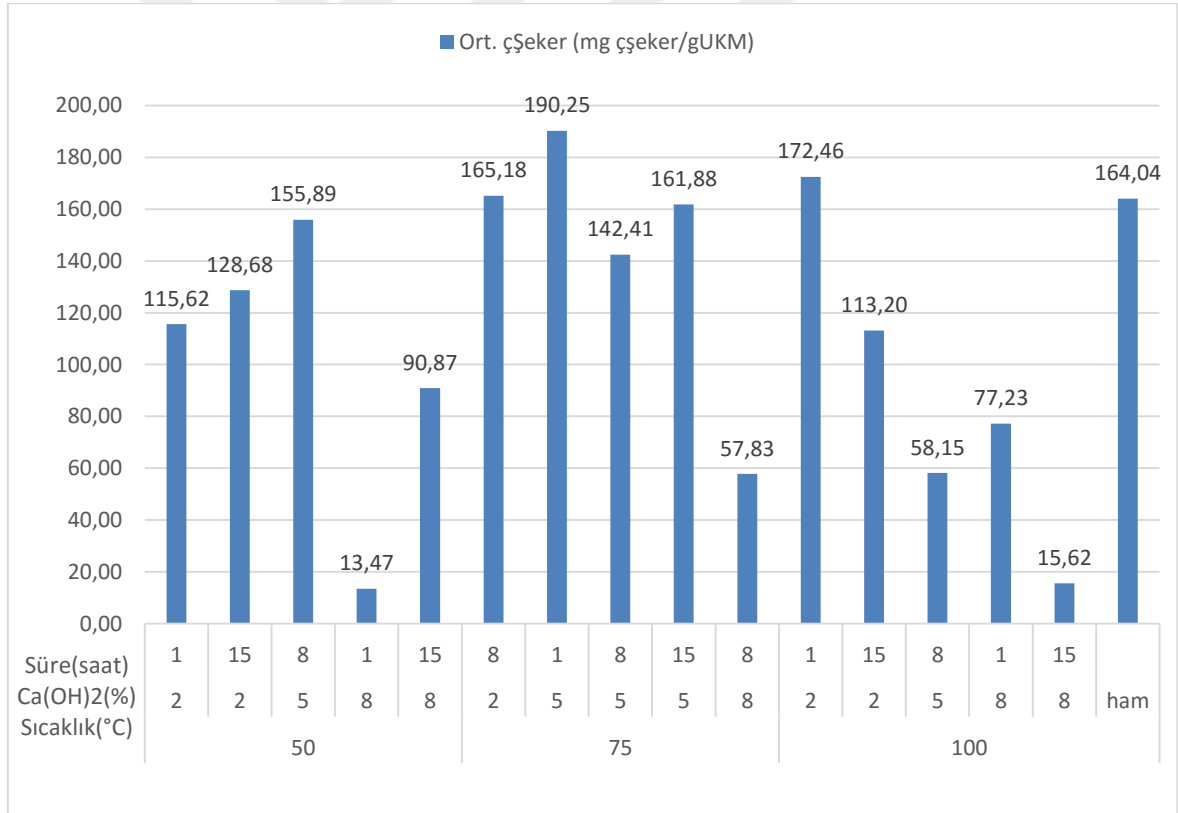
Farklı sıcaklık ve farklı reaksiyon süreleri sonunda numunelerin pH'larında bir miktar azalma görülmüştür. pH değerlerinin azalmasında hem süre hem de sıcaklık etkili olmuştur. En fazla pH değişimi 15 saatlik deney süresi, %2 Ca(OH)_2 konsantrasyonu ve 50 °C reaksiyon sıcaklığı koşulunda gerçekleşmiş olup, en az değişim ise 1 saatlik reaksiyon süresi, %8 Ca(OH)_2 konsantrasyonu ve 50 °C reaksiyon sıcaklığında gerçekleşmiştir.

Literatürde Liang ve arkadaşları (Liang et al., 2013) da Ca(OH)_2 kullanarak yaptıkları ön arıtma deneylerinde 0.05 g $\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$ numune, 0.08 g $\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$ numune, 0.1 g $\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$ numune ve 0.12 g $\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$ numune kimyasal konsantrasyonlarında 10 ile 12 arasında pH değerleri bulmuşlardır. Benzer şekilde Zhang ve arkadaşları (Zhang et al., 2016) %1.5 %3 ve %5 Ca(OH)_2 kullanımında pH değerlerini sırasıyla 12.12, 12.66,

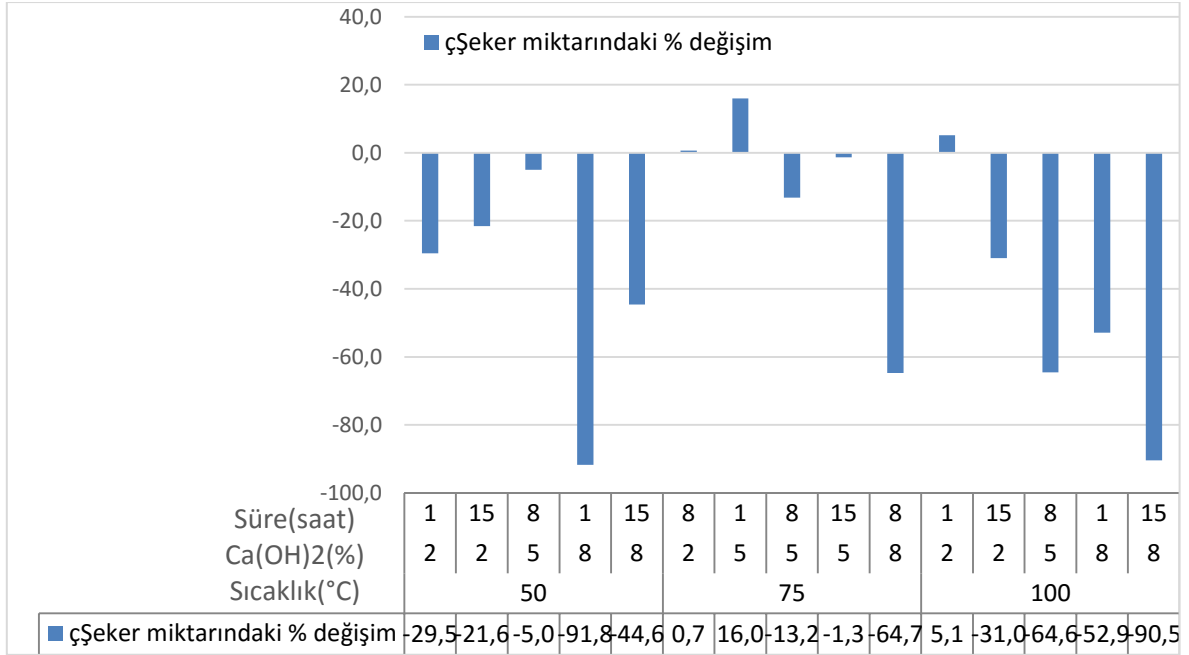
12.85 bulmuşlardır. Bu tez çalışmasında bulunan pH değerleri literatürdeki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılan çalışmalarla paralellik göstermektedir.

4.2.2. Ön arıtma prosesinin indirgen şeker miktarına etkisi

Ön arıtım yapılan numunelerin sıvı kısmına aktarılan şeker miktarları karşılaştırıldığında; aktarılan şeker miktarının en az olduğu ön arıtım koşulları 50°C sıcaklık, %8 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonu ve 1 saat reaksiyon süresi iken, en fazla olduğu ön arıtım koşulları ise 75°C sıcaklık, %5 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonu ve 1 saatlik reaksiyon süresi olarak bulunmuştur.



Şekil 4. 2. Ön arıtmanın çŞekere etkisi.



Şekil 4. 3. çŞeker miktarındaki % değişim

Şekil 4. 2 de görülebileceği gibi, 75°C reaksiyon sıcaklığı, 8 saat süre, %2 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda çŞeker miktarı 165.18 mgçŞeker/gUKM iken, Ca(OH)₂ konsantrasyonu %5 ve %8 olunca çŞeker miktarı sırasıyla 142.41 mgçŞeker/gUKM ve 57.83 mgçŞeker/gUKM olmaktadır. Aynı sıcaklık ve sürede, kullanılan kimyasal miktarının artması çŞeker miktarında azalışa neden olmuştur. Ayrıca uzun sürelerde kimyasal miktarı ile birlikte sıcaklığın da artması çŞeker miktarının azalış oranında da artışa sebep olmuştur. 50°C sıcaklık ve 15 saat reaksiyon süresinde Ca(OH)₂ konsantrasyonu %2 den %8 e çıkarken çŞeker miktarı %30 azalarak 128.68 mgçŞeker/gUKM den 90.87 mgçŞeker/gUKM ye düşmüştür. Aynı şekilde 15 saatlik deney süresinde Ca(OH)₂ konsantrasyonu %2 den %8 e çıkarken sıcaklık da 100°C yapıldığında çŞeker miktarı %85 azalarak 113.20 mgçŞeker/gUKM den 15.62 mgçŞeker/gUKM ye düşmüştür.

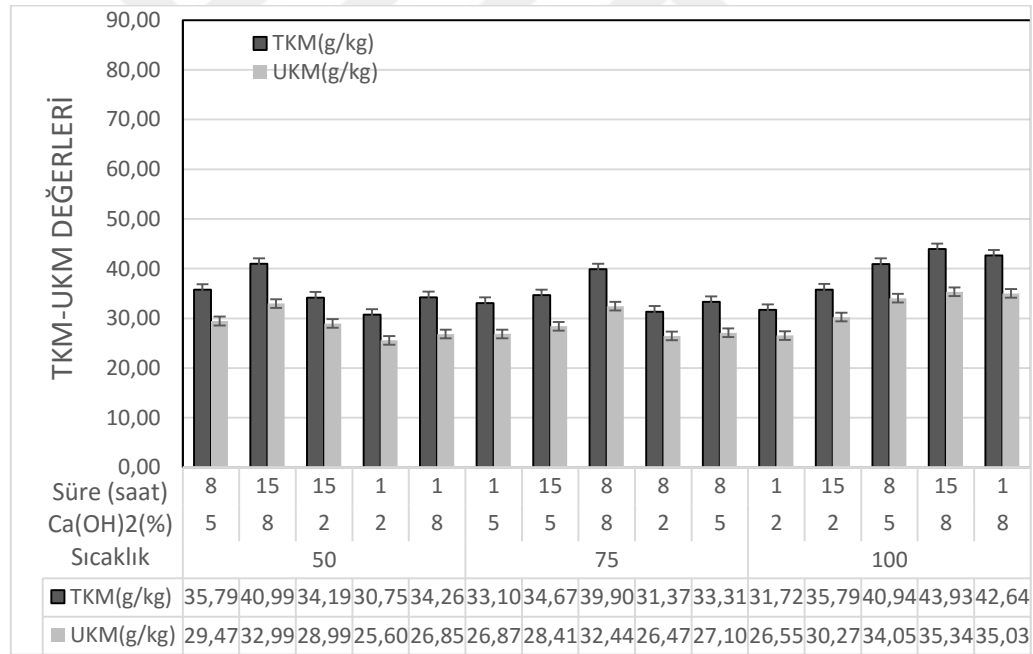
Şekil 4. 2 'deki grafikten görüleceği gibi %8 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda ve 15 saat deney süresinde sıcaklık 50°C dan 100°C a çıkarıldığında çŞeker miktarı 90.87 mgçŞeker/gUKM den 15.62 mgçŞeker/gUKM ye düşmektedir. Benzer şekilde 15 saatlik deney süresi ve %2 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda da sıcaklık 50°C dan 100°C a çıkarıldığında çŞeker miktarı 128.68 mgçŞeker/gUKM dan 113.20 mgçŞeker/gUKM ye

düşmektedir. Buna karşın 1 saatlik deney süresi ve %8 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda sıcaklık 50°C dan 100 °C a çıkarıldığında çŞeker miktarı 13.47 mgçŞeker/gUKM den 77.23 mgçŞeker/gUKM ye çıkmıştır. Yine 1 saatlik deney süresi ve %2 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda da sıcaklık 50°C den 100°C ye çıkarıldığında çŞeker miktarı 115.62 mgçŞeker/gUKM dan 172.46 mgçŞeker/gUKM ye çıkmıştır. Sonuç olarak aynı konsantrasyonda Ca(OH)₂ kullanılan kısa süreli deneylerde; sıcaklık artışı çŞeker miktarını da arttırmış, fakat uzun süreli deneylerde sıcaklık artışı çŞeker miktarını azaltmıştır.

50°C sıcaklık, %8 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda süre 15 saat ve 1 saat olunca çŞeker miktarı sırasıyla 90.87 mgçŞeker/gUKM ve 13.47 mgçŞeker/gUKM olmaktadır. Benzer şekilde 50°C sıcaklık, %2 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda süre 15 saat ve 1 saat olunca çŞeker miktarı sırasıyla 128.68 mgçŞeker/gUKM ve 115.62 mgçŞeker/gUKM olmaktadır. Ancak 100°C reaksiyon sıcaklığı, %8 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda süre 15 saat ve 1 saat iken çŞeker miktarı sırasıyla 15.62 mgçŞeker/gUKM ve 77.23 mgçŞeker/gUKM olarak ölçülmüştür. Yine 100 °C sıcaklıkta %2 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda süre 15 saat ve 1 saat iken çŞeker miktarı sırasıyla 113.20 mgçŞeker/gUKM ve 172.46 mgçŞeker/gUKM olarak ölçülmüştür. Yani düşük sıcaklıklarda sıcaklık ve Ca(OH)₂ konsantrasyonu sabit iken deney süresi arttıkça çŞeker miktarı da artmıştır. Fakat yüksek sıcaklıklarda tam tersi bir durum söz konusudur; aynı sıcaklık ve Ca(OH)₂ konsantrasyonunda süre ile çŞeker miktarı ters orantılıdır.

4.2.3. Ön arıtma uygulanmış hasat atıklarının TKM ve UKM konsantrasyonları

Ön arıtılmış numunelere yapılan TKM ve UKM analizi sonuçlarına göre maksimum TKM ve UKM değerleri maksimum ön arıtma koşullarında yani 100°C reaksiyon sıcaklığı, 15 saat reaksiyon süresi ve %8 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda sırasıyla 43.93 g/kg KM ve 35.34 g/kg KM olarak elde edilmiştir. Minimum TKM ve UKM değerleri ise minimum ön arıtma koşullarında yani 50°C reaksiyon sıcaklığı, 1 saat reaksiyon süresi ve %2 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda sırasıyla 30.75 g/kg KM ve 25.60 g/kg KM olarak elde edilmiştir. Ayrıca sonuçlar incelendiğinde her hangi iki bağımsız değişken sabit tutulup üçüncü değişkenin artırılmasının TKM ve UKM değerlerinin de artmasına neden olduğu görülmektedir (Şekil 4. 4).

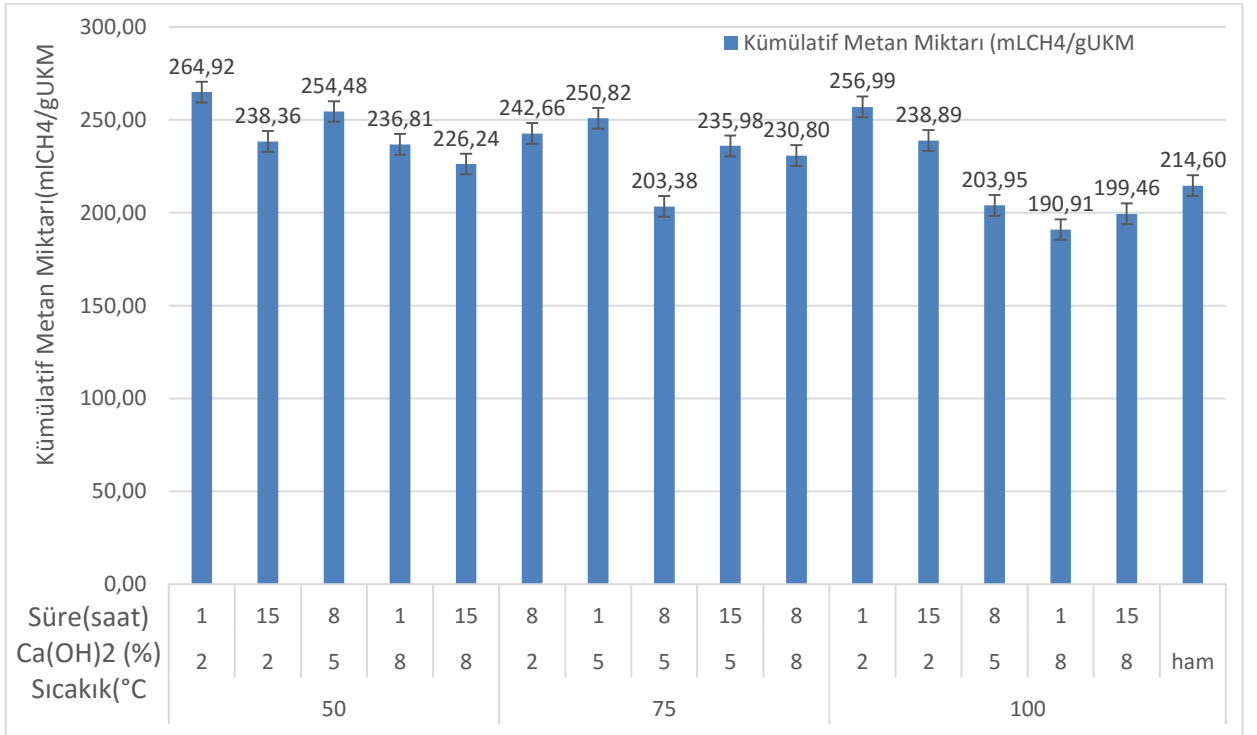


Şekil 4. 4. Ön arıtma uygulanmış muz atığının TKM ve UKM değerleri

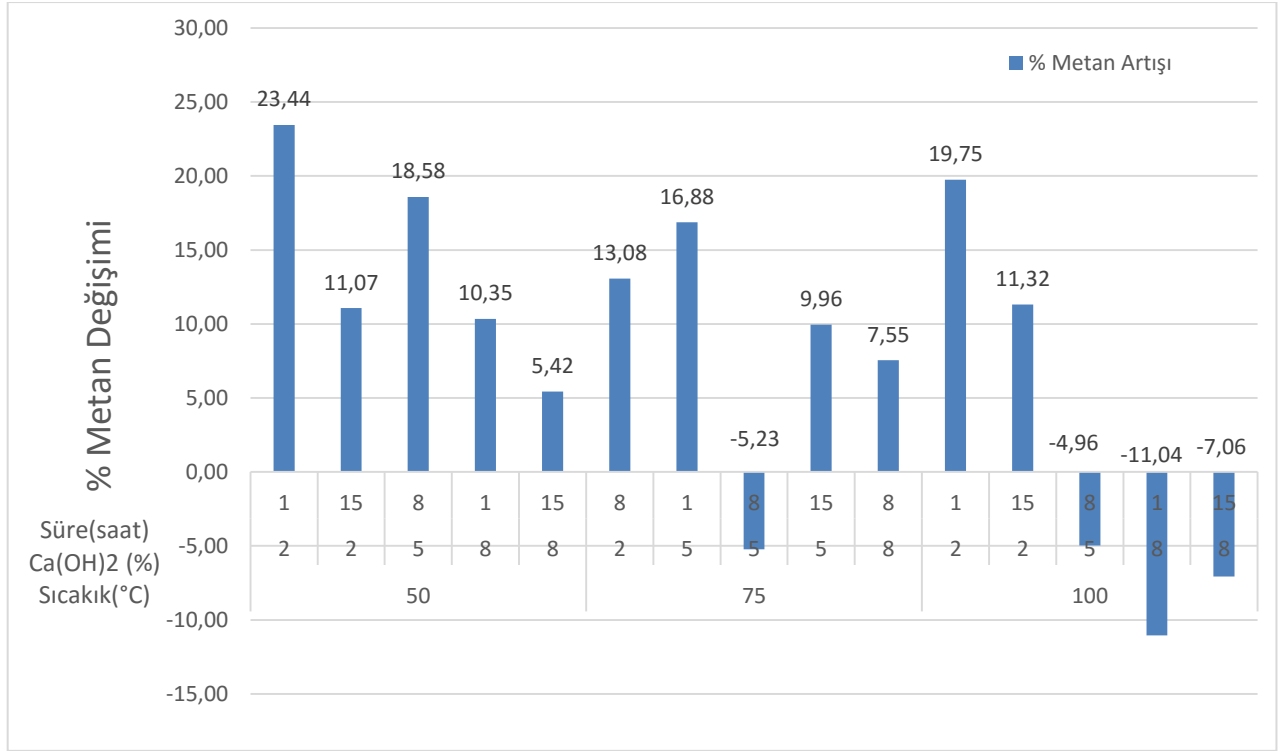
Literatürde Pei ve arkadaşları (Pei et al., 2014) NaOH kullanarak muzun yalancı gövdesine bazik ön arıtma uygulamış ve numunenin TKM ve UKM değerlerinde ham numuneye göre bir miktar azalış gözlemlemişlerdir. Bu tez çalışmasında bulunan sonuçlarda da TKM ve UKM değerlerinde ham numuneye göre bir azalma söz konusudur.

4.2.4. BMP(Biyokimyasal Metan Potansiyeli)'ne etkileri.

Muz atığına uygulanan ön arıtmanın BMP üzerine etkilerini görebilmek için ön arıtılmış numunelere ve ham muz atığına triplike olarak 32 günlük BMP testi uygulanmıştır. BMP testi sonunda elde edilen metan miktarı Şekil 4. 5 de ve ham numuneye göre metan miktarındaki % değişim ise Şekil 4. 6 da verilmiştir.



Şekil 4. 5. Elde edilen BMP sonuçları



Şekil 4. 6 Metan miktarındaki % değişim

Şekil 4.4 te görüldüğü gibi en yüksek BMP değeri 50 °C reaksiyon sıcaklığı, %2 Ca(OH)₂ konsantrasyonu ve 1 saat deney süresinde ön arıtma uygulanmış muz atığından 264.92 mL CH₄/g UKM olarak elde edilmiştir. En düşük BMP değeri ise 100 °C reaksiyon sıcaklığında %8 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda ve 1 saat deney süresinde ön arıtma uygulanmış muz atığından, 190.91 mLCH₄/g UKM olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.5 incelendiğinde, bazı ön arıtma koşullarının muz atığının BMP değerini olumlu yönde etkilediği, bazılarının da olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. 100°C reaksiyon sıcaklığında yapılan 5 ön arıtma koşullarından 3ü muz atığının BMP değerini olumsuz yönde etkilemiştir. Buradan; yüksek sıcaklıklarda yüksek Ca(OH)₂ konsantrasyonunun atığın BMP sini negatif etkilediği sonucuna varılabilir.

%5 Ca(OH)₂ konsantrasyonu ve 8 saat deney süresinde 50°C ve100 °C reaksiyon sıcaklıklarda ön arıtılmış muz atığının BMP değerleri sırasıyla 254.48 mL CH₄/ gUKM ve 203.95 mL CH₄/ gUKM olmuştur. Benzer şekilde %8 Ca(OH)₂ konsantrasyonu ve 15 saat deney süresinde 50°C ve 100 °C reaksiyon sıcaklıklarda ön arıtılmış muz atığının BMP değerleri sırasıyla 226.24 mL CH₄/ gUKM ve 203.95 mL CH₄/ gUKM olmuştur. Aynı

şekilde %8 Ca(OH)₂ konsantrasyonu ve 1 saat deney süresinde 50°C ve 100 °C reaksiyon sıcaklıklarda ön arıtılmış muz atığının BMP değerleri sırasıyla 236.81 mL CH₄/ gUKM ve 190.91 mL CH₄/ gUKM olmuştur. Bu değerler dikkate alındığında yüksek Ca(OH)₂ konsantrasyonlarında eşit sürelerde ön arıtılmış muz atığının BMP değerleri sıcaklıkla ters orantılı olmaktadır.

%2 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda yapılan ön arıtmaların BMP üzerindeki etkileri incelendiğinde sürenin artmasının BMP değerlerini düşürdüğü görülmektedir. %2 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda ve 50°C reaksiyon sıcaklığında deney süresi 1 saatten 15 saate çıkarılınca BMP değerleri sırasıyla 264.92 mL CH₄/ gUKM ve 238.36 mL CH₄/ gUKM olmaktadır. Aynı şekilde %2 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda ve 100°C reaksiyon sıcaklığında deney süresi 1 saatten 15 saate çıkarılınca BMP değerleri sırasıyla 256,99 mL CH₄/ gUKM ve 238.89 mL CH₄/ gUKM olmaktadır. Yine %2 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda ve 75°C reaksiyon sıcaklığında 8 saat deney süresinde BMP değeri 242.66 mL CH₄/ gUKM olmaktadır. %2 Ca(OH)₂ konsantrasyonunda eşit sürelerde sıcaklık değişimi BMP değerini çok fazla etkilememektedir.

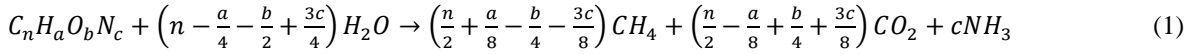
50°C reaksiyon sıcaklığı ve 15 saat reaksiyon süresinde Ca(OH)₂ konsantrasyonu %2 den % 8 çıkarıldığı zaman BMP değeri de 238.36 mL CH₄/ gUKM den 226.24 mL CH₄/ gUKM ye düşmüştür. Benzer şekilde 100°C reaksiyon sıcaklığı ve 1 saat reaksiyon süresinde Ca(OH)₂ konsantrasyonu %2 den % 8 çıkarıldığı zaman BMP değeri de 256,99 mL CH₄/ gUKM den 190.91 mL CH₄/ gUKM ye düşmüştür. Sıcaklık 75°C olup, reaksiyon süresi de 8 saat iken Ca(OH)₂ %2 den %8 e çıkarıldığında BMP değeri de 242.66 mL CH₄/ gUKM den 230.80 mL CH₄/ gUKM ye düşmüştür. Yani eşit süre ve sıcaklıkta yapılan ön arıtma deneylerinde Ca(OH)₂ konsantrasyonunun artması BMP değerleri üzerinde negatif etki yapmıştır.

Zhang ve arkadaşları (Zhang et al., 2013) %2, %6, %10 NaOH konsantrasyonlarında 55 °C sıcaklıkta 54 saat süreyle ön arıtılmış muz ağacı ile domuz gübresinin birlikte oksijensiz çürütülmesi üzerine yaptıkları çalışmada %2 ve %6 NaOH konsantrasyonunda ön arıtılmış muz numunesiyle yapılan deneylerde ön arıtma yapılmayan numuneye göre daha fazla metan elde etmişler ancak %10 NaOH konsantrasyonunda üretilen metan miktarı azalmıştır. Yani eşit süre ve sıcaklıkta yüksek konsantrasyonda NaOH kullanımı metan üretimini olumsuz etkilemiştir.

Literatürde Khor ve arkadaşları (Khor et al., 2015) düşük sıcaklıklarda farklı biyokütlelere $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile ön arıtma yapmışlar ve %7.5 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonunda, 20 saat deney süresinde 10°C reaksiyon sıcaklığında %37.3 lük metan artışı sağlamışlardır. Yüksek sıcaklıklarda ise ön arıtmanın etkisinin daha az olduğunu görmüşlerdir.

4.3. Teorik ve Pratik BMP Değerlerinin Karşılaştırılması

Biyokimyasal metan potansiyeli (BMP) testi atıkların metan üretim miktarlarının tespitinde en yaygın uygulanan yöntem olup, biyogaz tesislerinin tasarım ve işletilmesine esas teşkil etmektedir. Ancak, BMP testi zaman alıcı ve uzmanlık isteyen bir test olduğu için atıkların biyogaz üretim potansiyelinin tespitinde farklı teorik metotlar da kullanılabilir. Bu metotlardan en yaygın kullanılan atıkların elementel analiz içeriklerine bağlı olarak metan potansiyelinin hesaplanmasında kullanılan stokiyometrik eşitliği temel alan Buswell eşitliğidir. Ayrıca, atıkların elementel analiz içeriklerine bağlı olarak teorik kalorifik değerinin hesaplanmasında kullanılan modifiye Dulong Eşitliği ile de teorik metan potansiyeli hesaplanabilmektedir (Browne and J.D., 2013),(Perendeci, 2013). Eşitlik 2’de görülen B_U atığın nihai metan potansiyelini ifade etmektedir.



$$B_U = \frac{22,4 \left(\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4} - \frac{3c}{8}\right)}{12n+a+16b+14c} lCH_4/gVS \quad (2)$$

B_U değeri, elementel kompozisyonu belirlenen atığın, atık içeriğinin tümü biyolojik olarak parçalanabilir ve metana dönüşebilecek ise sahip olduğu nihai metan miktarını göstermektedir. Her ne kadar elementel kompozisyonun ölçülmesi oldukça hızla olduğu için Buswell Eşitliği ile metan potansiyelinin belirlenmesi avantajlı gözükse de, Buswell Eşitliği atıkların tamamı organik olmadığı ve biyolojik olarak parçalanabilir ve parçalanamayan kısımlar arasında bir ayrım yapılamadığı için bu eşitlik ile atığın metan potansiyelinden daha yüksek değerler hesaplanmaktadır (Lesteur et al., 2010),(Perendeci, 2013).

Dulong formülü, bir yakıtta bulunan oksijenin su (H₂O) olarak bulunduğu ve bütün diğer elementlerin saf halde aynı yanma ısısına sahip oldukları kabulü ile atığın üst ısı değerinin hesaplanması için kullanılmaktadır. Yakıtın yanma ısısı Dulong formülü ile atığın elementel içeriğinden aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır (Tchobanoglous, T.H., and S.A., 1993), (Perendeci, 2013).

$$NKD = 145xC + 610x \left(H - \frac{1}{8}O \right) + 40 + S + 10xN \quad (3)$$

Burada NKD muz atığının üst ısı değerini kcal/kg olarak ifade etmektedir.

Muz atığının 32 gün sürdürülen BMP testinden elde edilen metan miktarı, elementel analiz sonucuna göre Buswell eşitliği ile hesaplanan teorik nihai metan potansiyeli ve Dulong eşitliği ile hesaplanan üst ısı değeri Çizelge 4. 2 de verilmiştir.

Çizelge 4. 2. Muz atığının pratik ve teorik metan potansiyeli ve üst ısı değeri

Atık	Ham Muz Atığı
Deneysel BMP Değeri (mLCH ₄ /gUKM)	214,60
Teorik Metan Miktarı-Buswell Eşitliği(B _U) (mLCH ₄ /gUKM)	318
Üst Isıl Değer Dulong Eşitliği (kcal/kg)	2736

Çizelge 4.2 incelendiğinde ön arıtma prosesi ile muz hasat atıklarından teorik olarak elde edilebilecek metan miktarına yaklaşıldığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Çeşitli organik atıklardan oksijensiz çürütme işlemi ile biyogaz üretimi, yeni enerji kaynağı arayışının gündemde olduğu günümüzde araştırmacılar tarafından oldukça ilgi gören konulardan birisidir. Atıklardan biyogaz üretimi yapılarak, hem doğa dostu bir enerji üretilmiş hem de atık bertarafı yapılmış olmaktadır. Ayrıca biyogaz üretiminden artakalan kısım da organik gübre olarak tarım faaliyetlerinde kullanılabilir.

Bu tez çalışmasında muz atığının biyokimyasal metan potansiyeli araştırılmıştır. Metan üretiminin artırılması amacıyla atığa termal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ön arıtması uygulanmış ve sonuçlar ham atık ile karşılaştırılmıştır. Ön arıtma işlemi %3 katı madde miktarında, farklı sıcaklık, farklı $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonu ve farklı sürelerde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında uygulanan ön arıtmanın, atığın BMP değerine bazı koşullarda pozitif bazı koşullarda ise negatif etki yaptığı görülmüştür. Ham muz atığının BMP si 214,60 mL CH_4 /gUKM olarak bulunmuştur. Uygulanan ön arıtma 100°C sıcaklık ve yüksek $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonunda negatif etki yapmış diğer koşullarda ise pozitif etki yapmıştır. En yüksek BMP değeri 50°C reaksiyon sıcaklığı, 1 saat reaksiyon süresi ve %2 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonunda, yani minimum ön arıtma koşullarında, 264.92 mL CH_4 /gUKM olarak bulunmuştur. Bu değer ham numunenin BMP değerinden %23.44 daha fazladır. En düşük BMP değeri ise 190.91 mL CH_4 /gUKM olarak 100°C reaksiyon sıcaklığı %8 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsantrasyonu ve 1 saat deney süresinde bulunmuştur. Bu değer ham muz atığının BMP değerinden %11.04 daha düşük bir değerdir. Sıcaklığın ve kullanılan kimyasal maddenin, ön arıtma maliyetini artıracak göz önüne alınırsa en yüksek BMP değerinin, en düşük ön arıtma sıcaklığı ve en az kimyasalın kullanıldığı koşullarda elde edilmiş olması arzulanan bir sonuçtur. Ayrıca ön arıtma süresinin kısa olması da olumlu bir durumdur.

Literatürde Lin ve arkadaşları (Lin et al., 2011) sebze meyve atığının BMP değerini 300 mL CH_4 /gUKM olarak, Gököl (Gököl, 2016) ham sera atığının BMP değerini 228.9 mL CH_4 /gUKM olarak, Pei ve arkadaşları (Pei et al., 2014) muzun yalancı gövde lifinin BMP değerini 244.7 mL CH_4 /gUKM olarak, Velmurugan ve Ramanujam sebze atıklarının BMP değerini 387 mL CH_4 /gUKM olarak, Sözer ve Yıldız (Sözer and Yıldız, 2011) kuru

muz atığı ile sığır gübresi karışımının BMP değerini 149 mLCH₄/gUKM olarak bulmuşlardır. Bu tez çalışmasında bulunan ham muz atığının BMP değeri (214.60 mLCH₄/gUKM) literatürdeki diğer atıkların BMP değerleriyle kıyaslandığında, bulunan değerin ortalama BMP değerleri arasında olduğu görülmektedir.

Uygulanan ön arıtma işlemi ile sağlanan BMP artışı literatürdeki bazı ön arıtma işlemlerinde sağlanan artışa göre düşük seviyede kalmıştır. Ancak ön arıtmada kullanılan kimyasalların maliyetleri dikkate alındığında Ca(OH)₂ in daha ucuz olması sebebiyle muz atığının BMP değerini artırması amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

5.2. Öneriler

Enerji üretim maliyetini azaltmanın bir yöntemi de enerjinin üretildiği yerde kullanılmasıdır. Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlara göre muz atığının BMP si diğer organik atıkların BMP sine göre ortalama bir değere sahiptir. Muz atığının temin edildiği bölgede yıllık üretilen atık miktarı da dikkate alındığında, bölgenin azımsanamayacak kadar bir enerji potansiyelinin olduğu görülmektedir. Bu potansiyel değerlendirilerek hem enerji üretim maliyeti hem de ülkemizin enerjide dışa bağımlılığı azaltılabilir.

Muz atığından üretilen biyogaz miktarını artırmak için atığa Termal-Ca(OH)₂ ön arıtması uygulanabilir. Düşük kimyasal kullanarak, düşük sıcaklıkta ve deney süresini kısa tutarak uygulanan ön arıtma daha verimli olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abbasi, T., Tauseef, S. M., and Abbasi, S. A. (2012). “*Biogas energy.*” Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1040-9>
- Agbor, V. B., Cicek, N., Sparling, R., Berlin, A., and Levin, D. B. (2011). Biomass pretreatment: Fundamentals toward application. *Biotechnology Advances*, 29(6), 675–685. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.05.005>
- Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Zollitsch, W., and Mayer, K. (2007). Biogas production from maize and dairy cattle manure-Influence of biomass composition on the methane yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118(1–4), 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.007>
- APHA. (1999). *Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association* (Vol. 21th ed.). <https://doi.org/ISBN 9780875532356>
- Artsupho, L., Jutakradsada, P., Laungphairojana, A., Rodriguez, J. F., and Kamwilaisak, K. (2016). Effect of Temperature on Increasing Biogas Production from Sugar Industrial Wastewater Treatment by UASB Process in Pilot Scale. *Energy Procedia*, 100(September), 30–33. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.143>
- Browne, J. D., and J.D., M. (2013). Assessment of the resource associated with biomethane from food waste. *Applied Energy*, 104, 170–177.
- Carotenuto, C., Guarino, G., Morrone, B., and Minale, M. (2016). Temperature and ph effect on methane production from buffalo manure anaerobic digestion. *International Journal of Heat and Technology*, 34(Special Issue 2). <https://doi.org/10.18280/ijht.34S233>
- Carrère, H., Sialve, B., and Bernet, N. (2009). Improving pig manure conversion into biogas by thermal and thermo-chemical pretreatments. *Bioresource Technology*, 100(15), 3690–3694. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.01.015>
- Chanakya, H. N., and Sreesha, M. (2012). Anaerobic retting of banana and arecanut wastes in a plug flow digester for recovery of fiber, biogas and compost. *Energy for Sustainable Development*, 16(2), 231–235. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.01.003>
- Chulalaksananukul, S., Sinbuathong, N., and Chulalaksananukul, W. (2012). Bioconversion of Pineapple Solid Waste under Anaerobic Condition through Biogas Production,

17(5), 734–742.

- Dahiya, A. (2015). *Bioenergy, Biomass to Biofuels*. Bioenergy. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407909-0.00002-X>
- Fernandes, E. R. K., Marangoni, C., Souza, O., and Sellin, N. (2013). Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. *Energy Conversion and Management*, 75, 603–608. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.08.008>
- Gabhane, J., Prince William, S. P. M., Gadhe, A., Rath, R., Vaidya, A. N., and Wate, S. (2014). Pretreatment of banana agricultural waste for bio-ethanol production: Individual and interactive effects of acid and alkali pretreatments with autoclaving, microwave heating and ultrasonication. *Waste Management*, 34(2), 498–503. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.013>
- Ghosh, T., and Prelas, M. A. (2011). *Energy Resources and Systems* (Vol. 2 Renewabl).
- Gökgöl, S. (2016). *Sera Atıklarından Metan Üretim Veriminin Artırılması İçin Alkali Hidrojen Peroksit (Ahp) Ön Arıtma Prosesinin Optimizasyonu*. Akdeniz Üniversitesi.
- Granatstein, D., Kirby, E., Ostenson, H., and Willer, H. (2016). Global situation for organic tree fruits. *Scientia Horticulturae*, 208, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.008>
- Hilkiah Igoni, A., Abowei, M. F. N., Ayotamuno, M. J., and Eze, C. L. (2007). Effect of Total Solids Concentration of Municipal Solid Waste on the Biogas Produced in an Anaerobic Continuous Digester. *Agricultural Engineering International*, X, 1–11.
- İlkiliç, C., and Deviren, H. (2011). Biyogazın Üretimi ve Üretimi Etkileyen Faktörler. 6. *Uluslararası İleri Teknoloji Sempozyumu*.
- İEA. (2016). *Share of total primary energy supply* in 2014 Turkey*.
- Jena, S. P., Mishra, S., Acharya, S. K., and Mishra, S. K. (2017). An experimental approach to produce biogas from semi dried banana leaves. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 19, 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.01.001>
- Kafle, G. K., Park, J. T., Kim, S. H., and Sung, K. I. (2011). Biogas Production from the Mixture of Chinese Cabbage Silage and Swine Manure. *Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences*, 23(4), 43–46.
- Kalia, V. C., Sonakya, V., and Raizada, N. (2000). Anaerobic digestion of banana stem waste. *Bioresource Technology*, 73(2), 191–193. <https://doi.org/10.1016/S0960->

- Kaur, K., and Phutela, U. G. (2016). Enhancement of paddy straw digestibility and biogas production by sodium hydroxide-microwave pretreatment. *Renewable Energy*, 92, 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.083>
- Khan tahir, M., Maurer, C., Argyropoulos, D., Brule, M., and Mueller, J. (2009). Anaerobic Digestion of Banana Waste, a Potential Source of Energy in Uganda. In *Biophysical and Socio-economic Frame Conditions for the Sustainable Management of Natural Resources*. Hamburg.
- Khor, W. C., Rabaey, K., and Vervaeren, H. (2015). Low temperature calcium hydroxide treatment enhances anaerobic methane production from (extruded) biomass. *Bioresource Technology*, 176, 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.11.037>
- Kumar, S. (2012). *Biogas. Published by InTech Janeza Trdine* (Vol. 9). Rijeka.
- Lesteur, M., Bellon-Maurel, V., Gonzalez, C., Latrille, E., Roger, J. M., Junqua, G., and Steyer, J. P. (2010). Alternative methods for determining anaerobic biodegradability: A review. *Process Biochem*, 45, 431–440.
- Li, C., Liu, G., Nges, I. A., Deng, L., Nistor, M., and Liu, J. (2016). Fresh banana pseudo-stems as a tropical lignocellulosic feedstock for methane production. *Energy, Sustainability and Society*, 6(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s13705-016-0093-9>
- Li, Y., Zhang, R., Chen, C., Liu, G., He, Y., and Liu, X. (2013). Biogas production from co-digestion of corn stover and chicken manure under anaerobic wet, hemi-solid, and solid state conditions. *Bioresource Technology*, 149, 406–412. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.091>
- Liang, Y. gan, Zheng, Z., Luo, X. zhang, Si, Y. bin, Cao, D. ju, Nie, E., and Chen, B. (2013). Lime pretreatment to improve methane production of smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*). *Chemical Engineering Journal*, 217, 337–344. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.11.135>
- Lin, J., Zuo, J., Gan, L., Li, P., Liu, F., Wang, K., ... Gan, H. (2011). Effects of mixture ratio on anaerobic co-digestion with fruit and vegetable waste and food waste of China. *Journal of Environmental Sciences*, 23(8), 1403–1408. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60572-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60572-4)
- Lowry, H. O., Rosebrough, J. N., Farr, L., and Randall, R. (1951). Protein measurement

- with the Folin reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 264–675.
[https://doi.org/10.1016/0304-3894\(92\)87011-4](https://doi.org/10.1016/0304-3894(92)87011-4)
- Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426–428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Montañés, R., Pérez, M., and Solera, R. (2014). Anaerobic mesophilic co-digestion of sewage sludge and sugar beet pulp lixiviation in batch reactors: Effect of pH control. *Chemical Engineering Journal*, 255, 492–499.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.074>
- Mustafa, A. M., Poulsen, T. G., and Sheng, K. (2016). Fungal pretreatment of rice straw with *Pleurotus ostreatus* and *Trichoderma reesei* to enhance methane production under solid-state anaerobic digestion. *Applied Energy*, 180, 661–671.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.135>
- Mustafa, A. M., Poulsen, T. G., Xia, Y., and Sheng, K. (2017). Combinations of fungal and milling pretreatments for enhancing rice straw biogas production during solid-state anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 224, 174–182.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.028>
- Nathoa, C., Sirisukpoca, U., and Pisutpaisal, N. (2014). Production of hydrogen and methane from banana peel by two phase anaerobic fermentation. *Energy Procedia*, 50, 702–710. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.086>
- Neo, S., Vintilă, T., and Bura, M. (2012). Conversion of Agricultural Wastes to Biogas using as Inoculum Cattle Manure and Activated Sludge. *Animal Science and Biotechnologies*, 45(1), 328–334.
- Pei, P., Zhang, C. M., Li, J. H., Chang, S., Li, S. Z., Wang, J. L., ... Chen, X. L. (2014). Optimization of NaOH Pretreatment for Enhancement of Biogas Production of Banana Pseudo-Stem Fiber using Response Surface Methodology. *Bioresources*, 9(3), 5073–5087.
- Perendeci, N. A. (2013). *Adana İlinde Oluşan Tarımsal ve Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi Sonunda Kalan Materyalin Karakterizasyonu ve Toprak İyileştirici Olarak Kullanımının Değerlendirilmesi TTGV Proje Raporu.*
- Pisutpaisal, N., Boonyawanich, S., and Saowaluck, H. (2014). Feasibility of biomethane production from banana peel. *Energy Procedia*, 50, 782–788.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.096>

- Risberg, K., Sun, L., Leven, L., Horn, S. J., and Schnurer, A. (2013). Biogas production from wheat straw and manure - Impact of pretreatment and process operating parameters. *Bioresource Technology*, 149, 232–237. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.054>
- Siciliano, A., Stillitano, M. A., and De Rosa, S. (2016). Biogas production from wet olive mill wastes pretreated with hydrogen peroxide in alkaline conditions. *Renewable Energy*, 85, 903–916. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.029>
- Song, Z. lin, Yag, G. he, Feng, Y. zhong, Ren, G. xin, and Han, X. hui. (2013). Pretreatment of rice straw by hydrogen peroxide for enhanced methane yield. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(7), 1258–1266. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60355-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60355-X)
- Sözer, S., and Yaldiz, O. (2011). Muz serası atıkları ve sığır gübresi karışımlarından mezofilik fermantasyon sonucu üretilebilecek biyogaz miktarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24, 75–78. Retrieved from www.ziraatdergi.akdeniz.edu.tr
- Steinhauser, A., and Deublein, D. (2011). *Biogas from waste and renewable resources*.
- Sun, M.-T., Fan, X.-L., Zhao, X.-X., Fu, S.-F., He, S., Manasa, M. R. K., and Guo, R.-B. (2017). Effects of organic loading rate on biogas production from macroalgae: performance and microbial community structure. *Bioresource Technology*, 235, 292–300. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.075>
- Tchobanoglous, G., T.H., H., and S.A., V. (1993). Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues. *McGraw Hill International Editions, Civil Engineering Series McGraw Hill Inc.*
- TÜİK. (2016). TÜİK 2016 Tarımsal Üretim İstatistikleri. Retrieved from http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001
- Us, E., and Perendeci, N. A. (2012). Improvement of methane production from greenhouse residues: Optimization of thermal and H₂SO₄ pretreatment process by experimental design. *Chemical Engineering Journal*, 181–182, 120–131. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.11.038>
- Van Soest, P. J. . (1963). Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. II. A Rapid

- Method for the Determination of Fiber and Lignin. 830 *JOURNAL OF THE A.O.A.C.* (Vol., 46(5), 829. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.078>
- Velmurugan, B., and Ramanujam, R. A. (2011). Anaerobic Digestion of Vegetable Wastes for Biogas Production in a Fed-Batch Reactor. *Int. J. Emerg. Sci*, 1(3), 478–486.
- Wellinger, A., Murphy, J., and Baxter, D. (2013). *The biogas handbook Science, production and applications.* IEA Bioenergy. Woodhead. <https://doi.org/10.1533/9780857097415.frontmatter>
- Xiao, X., Zhang, R., He, Y., Li, Y., Feng, L., Chen, C., and Liu, G. (2013). Influence of particle size and alkaline pretreatment on the anaerobic digestion of corn stover. *BioResources*, 8(4), 5850–5860. <https://doi.org/10.15376/biores.8.4.5850-5860>
- Yaldiz, O. (2004). *Biyogaz Teknolojisi*. Antalya: Akdeniz Üniversitesi Basım Evi.
- Zhang, C., Li, J., Liu, C., Liu, X., Wang, J., Li, S., ... Zhang, L. (2013). Alkaline pretreatment for enhancement of biogas production from banana stem and swine manure by anaerobic codigestion. *Bioresource Technology*, 149, 353–358. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.070>
- Zhang, Y., Liang, Y., Chen, J., and Chen, H. (2016). Effect of lime loading on the performance of simultaneous lime treatment and dry anaerobic digestion of smooth cordgrass. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(20), 3048–3054. <https://doi.org/10.1080/15567036.2015.1124941>
- Zheng, Y., Zhao, J., Xu, F., and Li, Y. (2014). Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. *Progress in Energy and Combustion Science*, 42(1), 35–53. <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2014.01.001>
- Zhengyun, Z., Rui, X., Huanyun, D., Qiuxia, W., Bin, Y., Jiahong, H., ... Fuxian, W. (2013). Biogas yield potential research of the wastes from banana manufacturing process under mesophilic anaerobic fermentation. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 5(19), 4740–4744.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Kerim MARTİN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Bozyazı 01/01/1989
Telefon : 5379620348
E-mail : kmartin@konya.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Bozyazı Anadolu Lisesi/Bozyazı	2006
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi/Konya	2012
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi/Konya	-----
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013-2014	Sütçü İmam Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2014-	Necmettin Erbakan Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

1. Büyükeren R., Altıntaş H. B., Martin K., Kahraman A., Binalardaki Fotovoltaik Uygulamasının Teknik, Çevresel ve Ekonomik İncelenmesi: Meram Tıp Fakültesi Hastanesi Örneği, TMMOB Elektrik Mühendisliği Odası 8. Yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu, 15- 16 Ekim 2015
2. Oğuz H., Martin K. “The Determination of Biogas Production Potential from Banana Waste in Turkey” ICENS (International Conference on Engineering and Natural Science, 24-28 May 2016,