

T.C
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ ve FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİYOGAZ ÜRETİMİNDE KULLANILAN BUĞDAY SAMANININ NaOH YERİNE VAN
GÖLÜ SUYU İLE ÖN MUAMELESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ezgi PİRO

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİYOGAZ ÜRETİMİNDE KULLANILAN BUĞDAY SAMANININ NaOH YERİNE VAN
GÖLÜ SUYU İLE ÖN MUAMELESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hazırlayan
Ezgi PİRO

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hülya DURMAZ BEKMEZCİ

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Zehra ŞAPCI AYAS

Doç. Dr. Deniz UÇAR

Dr. Öğr. Üyesi Hülya DURMAZ BEKMEZCİ

ONAY

Ezgi PİRO tarafından hazırlanan "**Biyogaz Üretiminde Kullanılan Buğday Samanının NaOH Yerine Van Gölü,S uyu ile Ön Muamelesinin Değerlendirilmesi**" adlı tez çalışması 02/09/2019 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ve/veya oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Zehra ŞAPCI AYAS (Başkan)

Dr. Öğr. Üyesi Hülya DURMAZ BEKMEZCİ
(Danışman)

Doç. Dr. Deniz UÇAR (Üye)

İmza



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14/10/ 2019 gün ve 52/06 sayılı kararı ile onaylanmıştır.




Doç. Dr. Fatih Ahmet ÇELİK
Enstitüsü Müdürü V.

BITLİS EREN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum " **Biyogaz Üretiminde Kullanılan Buğday Samanının NaOH Yerine Van Gölü Suyu İle Ön Muamelesinin Değerlendirilmesi**" adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 02/10/2019

Öğrencinin Adı Soyadı

İmza

Ezgi Pı20


ÖZET

BİYOGAZ ÜRETİMİNDE KULLANILAN BUĞDAY SAMANININ NaOH YERİNE VAN GÖLÜ SUYU İLE ÖN MUAMELESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ezgi PİRO

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hülya DURMAZ BEKMEZCİ

Eylül 2019, 62 sayfa

Biyogaz üretiminde kullanılan substratlardan sindirimi zor olan lignoselülozik materyaller reaktör performansını olumsuz etkilemektedir. Bunların sindirimini kolaylaştırarak reaktör performansını arttırmak amacıyla çeşitli ön muamele yöntemleri uygulanır. Bu yöntemlerden biri olan alkali yöntemde, biyokütle (substrat) sodyum hidroksit gibi bazik bir çözelti ile ön muamele işlemine tabi tutulur.

Bu çalışmada, lignoselülozik materyal olarak bölgede temini kolay ve bol bulunan buğday samanı tercih edilmiştir. Van Gölü suyunun, yüksek alkali özelliğe sahip olması nedeni ile NaOH'a alternatif olarak kullanılabilirliği bu kapsamda incelenmiştir. Ön muamele işleminde, buğday samanı beş gün boyunca NaOH'a (R4, R5, R6) ve Van Gölü suyuna (R1, R2, R3) maruz bırakılmış ve ardından aşı çamuru ile birleştirilerek biyogaz çıkışı sonlanana kadar izlenmiştir. Çıkan gaz miktarları R1= 2094,50 mL CH₄, R2= 2171,97 mL CH₄, R3= 481,22 mL CH₄, R4= 325,66 mL CH₄, R5= 2623,81 mL CH₄, R6= 809,69 mL CH₄ olarak kaydedilmiştir. Verilere göre Van Gölü suyu, beklendiği gibi NaOH'a yakın bir performans sergilemiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan ekonomik değerlendirmeye göre biyogaz üretimi için lignoselülozik bir substrat olan buğday samanının ön muamelesinde Van Gölü suyunun, NaOH yerine kullanılmasının ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyogaz, Lignoselülozlar, Buğday samanı, Alkali Metot, Van Gölü

ABSTRACT

EVALUATION OF PRE-TREATMENT OF WHEAT STRAW USED IN BIOGAS PRODUCTION WITH VAN LAKE WATER IN LINE OF NaOH

Ezgi PİRO

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Hülya DURMAZ BEKMEZCİ

September 2019, 62 pages

Lignocellulosic materials which are difficult to digest from the substrates used in biogas production adversely affect reactor performance. Various pretreatment methods are employed to improve the reactor performance by facilitating their digestion. In the alkali method, one of these methods, the biomass (substrate) is pretreated with a basic solution such as sodium hydroxide.

In this study, wheat straw, which is easy to supply and abundant in the region, was preferred as lignocellulosic material. Due to the high alkaline properties of Lake Van water, its usability as an alternative to NaOH was investigated in this context. In the pretreatment process, wheat straw was exposed to NaOH (R4, R5, R6) and Van Lake water (R1, R2, R3) for five days and then combined with sludge to monitor biogas output. The amount of gas released was recorded. According to the data, the water of Lake Van performed as close to NaOH as expected.

In this study, economic evaluation was also made. In the pretreatment of wheat straw, a lignocellulosic substrate for biogas production, it was concluded that the use of Lake Van water instead of NaOH was economical.

Keywords: Biogas, Lignocelluloses, Wheat straw, Alkali Method, Lake Van

TEŞEKKÜR

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hülya DURMAZ BEKMEZCİ'ye ve Arş. Gör. Ozan K. BEKMEZCİ'ye bana sunmuş oldukları her türlü manevi ve maddi imkânlardan dolayı teşekkür ediyorum.

Her zaman yanımda olan ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Tayfun MANTO, Erbil ÖZDEMİR, E. Ömer ÇETİN, Ümit KORKUTATA, Abdulbari İNANÇ, Ahmet UĞUR ve Hazal Filiz AYAZ YİĞİT'e teşekkür ederim.

Dostluklarımı ve bu tezi yazmam için manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Meryem MEMİŞ DOĞAN ve eşi Halil DOĞAN'a, Arş. Gör. Murat BİNİCİ'ye ve Arş. Gör. Fırat ALTUN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere gerekli olan aşı çamurunu temin etmemde yardımcı olan Adabağ Çiftliği işletmecisi Fethi ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Akademik hayatımın zorlu sürecinde bana maddi ve manevi desteklerinden ötürü sevgili annem Fevziye PİRO, babam Ali PİRO ve canım kız kardeşim Zilan PİRO'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Biyogaz.....	3
1.1.1. Biyogazın Özellikleri.....	4
1.1.2. Anaerobik İşlem	4
1.2. Anaerobik Fermantasyon İşlemleri	6
1.2.1. Hidroliz.....	6
1.2.2. Asit Üretimi	7
1.2.3. Metan Üretimi	7
1.3. Biyogaz Üretimi için Kullanılan Atıklar	8
1.4. Biyogaz Üretim İşletmelerinin Gelişimi	8
1.5. Biyogaz Üretiminin Amacı ve Önemi	9
1.6. Biyogazın Kullanım Alanları	10
1.6.1. Biyogazın Isıtma için Kullanılması	10
1.6.2. Biyogazın Enerji Amaçlı Kullanılması	10
1.6.3. Biyogazın Motorda Kullanımı.....	10
1.7. Biyogaz Üretimini Etkileyen Değişkenler.....	11
1.7.1. Sıcaklık	11
1.7.2. pH	12
1.7.3. Hidrolik Alıkonma Süresi (HAS).....	13
1.7.4. Hammadde ve Toplam Katı Miktarı (TK).....	13
1.7.5. Zehirli Maddeler.....	13
1.7.6. Basınç, Aşılama ve Köpüğün Etkisi	14
1.7.7. Karıştırmanın Etkisi.....	15

1.7.8. Karbon/Azot Oranı (C/N).....	15
1.8. Lignoselülozların Atık Maddeler Arasındaki Yeri.....	15
1.9. Lignoselülozların Ön Muamelesinde Etkili Parametreler	16
1.9.1. Kristallilik.....	19
1.9.2. Erişilebilir Yüzey Alanının Etkisi	19
1.9.3. Ligninin Etkisi	20
1.9.4. Hemiselülozun Etkisi.....	20
1.10. Lignoselülozik Substratların Ön Muamele Yöntemleri	21
1.10.1. Fiziksel Ön Muamele	21
1.10.1.1. Öğütme İşlemi	21
1.10.1.2. Işınlama	22
1.10.2. Fiziko-Kimyasal Ön Muamele	22
1.10.2.1. Buhar Patlaması.....	22
1.10.2.2. Amonyak ile Lignoselülozik Yapının Değiştirilmesi (AFEX).....	22
1.10.2.3. CO ₂ Patlaması	23
1.10.3. Sıcak Su ile Ön Muamele	23
1.10.4. Mikrodalga-Kimyasal Ön İşlem	24
1.10.5. Kimyasal Ön Muamele.....	24
1.10.5.1. Alkali Hidroliz.....	24
1.10.5.2. Alkali Peroksit	25
1.10.5.3. Organosolv İşlemi	25
1.10.5.4. Islak Oksidasyon	25
1.10.5.5. Ozonoliz Ön Muamelesi.....	26
1.10.5.6. Asit Hidrolizi ile Ön Muamele	26
1.10.6. Biyolojik Ön Muamele	26
2. MATERYAL VE YÖNTEM	28
2.1. Çalışmada Kullanılan Mevcut Ekipmanlar.....	28
2.2. Çalışmada Kullanılan Maddeler	29
2.2.1. Aşı Çamuru ve Buğday Samanı.....	29
2.3. Alkalinite Kaynakları	31
2.4. Deney Sisteminin Kurulması.....	32
2.4.1. Reaktörler	32
2.4.2. CO ₂ Tutucu.....	33
2.4.3. Gazölçer.....	34

2.4.4. Ön-Muamele.....	35
2.4.5. Biyokimyasal Metan Potansiyeli Testi.....	35
2.4.5.1. Protokol 1 (Reaktör Kapaklarının Hazırlanışı).....	36
2.4.5.2. Protokol 2 (Azot Gazıyla Yıkama İşlemi).....	36
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	38
3.1. Buğday Samanı ve Aşı Çamurunun Karakterizasyonu	38
3.2. Reaktör İçerikleri.....	39
3.3. NaOH ve Van Gölü Suyu ile Ön Muamelenin Sonuçları.....	41
3.3.1. NaOH ve Van Gölü Suyu ile Ön Muamelenin pH Üzerine Etkileri	41
3.3.2. Biyokimyasal Metan Potansiyeli Testleri.....	41
4. SONUÇ	48
5. KAYNAKLAR.....	49
6. EKLER	56
ÖZGEÇMİŞ.....	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Biyogazın bileşimi.....	4
1.2. Bazı gazların sudaki çözünürlüğü ve sıcaklık arasındaki ilişkiler.....	12
1.3. Anaerobik bozunma süreçlerinde zararlı maddeler ve zararlı derişimleri.....	14
1.4. Bazı lignoselülozik materyallerin selüloz, hemiselüloz ve lignin içerikleri.....	17
2.1. Çalışmada kullanılan mevcut ekipmanlar.....	28
2.2. Reaktör içerikleri.....	35
3.1. Buğday samanı ve aşı çamuru karakterizasyon sonuçları.....	39
3.2. Buğday samanının NaOH ve Van Gölü suyu ile ön muamele öncesi ve sonrası pH sonuçları.....	41
3.3. Biyogaz tesisinin yatırım ve işletme maliyetleri.....	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

SEKİL	Sayfa
1.1. Türkiye hububat alanları	2
1.2. Biyogaz üretim aşamaları	5
1.3. Anaerobik çürütücü metan üretim adımlarındaki organik madde dönüşümleri ve rol alan mikroorganizma grupları	6
1.4. Hidroliz sürecinin aşamaları.....	6
1.5. Anaerobik parçalanma prosesi için sıcaklık aralıkları.....	11
1.6. Metanojenlerin aktivitelerinin pH'a bağımlılığı.....	12
1.7. Ön-muamelenin lignoselülozik yapı üzerindeki potansiyel etkisinin şematik görüntüsü.....	16
2 Aşı çamurunun alındığı yer.....	29
2 a. Malatya Doğanşehir ilçesinden temin edilen buğday samanı, b. Buğday samanını saman haline getirme çalışması, c. Buğday samanının saman haline getirilmesi, d. Buğday samanı saman haline geldikten sonra tozundan arındırmak için yapılan eleme işlemi	30
3 Aşı Çamuru ve Van Gölü suyunun alındığı yer.....	31
4 Deney düzeneği	32
5 pH ya bağlı sülfür türlerinin dağılımı	33
6 Gazölçer şişeleri	36
3.1. 2 set (3 tekrarlı) reaktör şişelerinin metan miktarları	42
3.2. Çalışma bulguları ile kurulabileceği ön görülen tesis prototipi.....	43

KISALTMALAR DİZİNİ

AFEX	Ammonia fiber expansion
BMP	Biyokimyasal metan potansiyeli
BOİ ₅	Biyolojik oksijen ihtiyacı testi
BS	Buğday samanı
C/N	Karbon azot oranı
ÖM	Ön muamele
TK	Toplam katı
TKM	Toplam katı madde
TUKM	Toplam uçucu katı madde
VGS	Van Gölü suyu

1. GİRİŞ

Dünya var olduğu ilk andan beri üzerinde yaşayan insanlar sürekli bir arayış ve tüketim içerisindedir. Zamanın doğanın aleyhine işlemesi, insan soyunun daha fazla tüketme arzusu ve bununla beraber gelen tembellik ve daha fazla ürün talebi sanayi devrimini başlatmıştır. Sanayinin günden güne gelişim göstermesi tüketimi de günden güne arttırmıştır. Bunun sonucunda oluşan atıkların kimisi çöp diye nitelendirdiğimiz olguyu oluştururken kimi atıklar ise değerlendirilebilir ve dönüştürülebilir kategori içerisinde yerlerini almışlardır.

Enerji miktarındaki artış, dünyanın hızlı nüfus artışı ve insanların yaşam kalitesinin yükselmesi ile doğru orantılıdır. Enerji tüketimi ihtiyacı da bu oranda artış göstermektedir. Enerjinin sürekliliğini sağlamak için; enerji kaynakları uygun şekilde kullanılmalı, farklı kaynakların kullanımı arttırılmalıdır. Bunun için de sürdürülebilir enerji kaynaklarına gereksinim vardır. Sürdürülebilir enerji kaynakları arasında biyogaz üretimi önemli bir yere sahiptir (Özkan vd., 2017).

Tüketim sorunu doğal kaynakların azalmasına sebep olmuştur. Dolayısıyla, yeni kaynaklar aranmaya başlanmıştır. Her ne kadar, biyogaz üretimi arkeolojik çalışmalar ışığında bakıldığı zaman Babiller dönemine kadar uzanıyor olsa da (He, 2010), bilinen ilk biyogaz tesisi 18. yüzyılın ortalarında Hindistan'ın Bombay kentinde bir hastanede yapılmıştır (Kemaussuor vd., 2018). Bu ilk tesisin ardından birçok ülkede birçok amaç için (ısınma, sıcak su vb.) biyogaz üretim tesisi kurulmaya başlanmıştır. Zamanla anaerobik biyogaz üretimine ilgi gittikçe artmıştır.

Biyogaz; organik maddelerin oksijensiz ortamdaki fermantasyonu sonucu açığa çıkan, metan, karbondioksit ve eser miktarda bulunan diğer gazların karışımından meydana gelen yanıcı bir gazdır. Birim hacimdeki biyogaz içinde metan gazı %40-90 oranındadır.

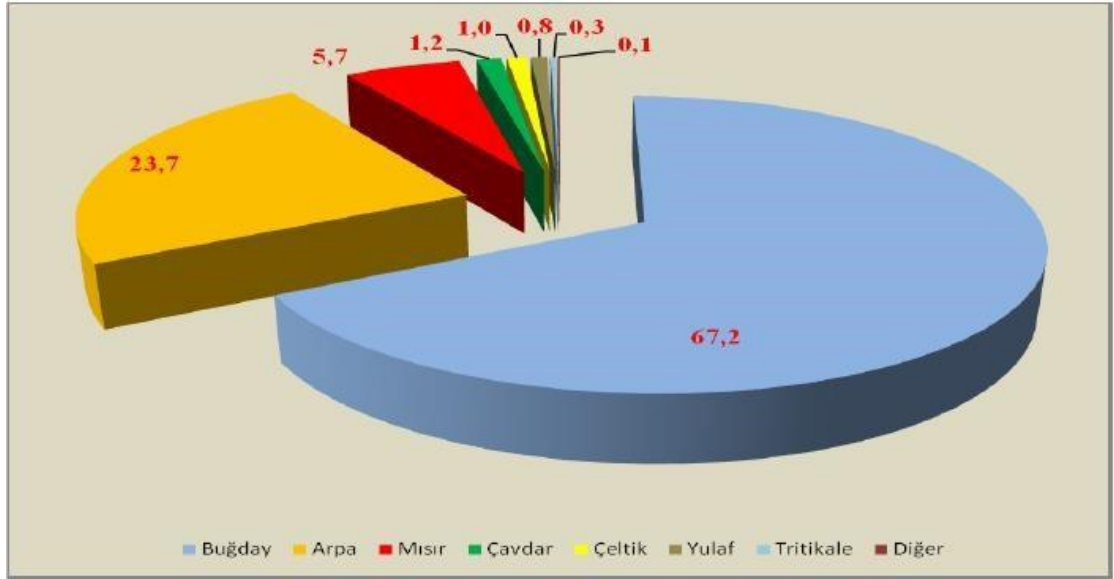
Biyogaz üretim teknolojisi, gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerde sürekli gündemde olan ve önemi hızla artan alternatif bir enerji kaynağıdır. Ülkemizde kullanılan fosil yakıtlar çevreye ciddi zararlar vermektedir. Hem dışa bağımlılığı azaltmak, hem de çevre sağlığını korumak açısından biyogaz üretim teknolojisine yönelmek olumlu neticelerle sonuçlanabilir. Bu bağlamda, ülkemizde mevcut olan yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması hem ekonomik ve hem de çevresel açıdan oldukça önem arz etmektedir (Topal ve Topal, 2008).

21. yüzyılda artan tüketimle birlikte oluşan organik atıklar, planlı bir şekilde değerlendirmeye alınamadığı zaman düzenli veya vahşi depolama sahalarında heba olup gitmektedir. Bu durumun minimum seviyeye indirilmesi için, organik atıkların, yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan biyogaz üretiminde substrat olarak kullanılması uygun olacaktır. Bu çalışmada substrat olarak, organik atıklardan olan buğday samanı kullanılmıştır.

Buğday samanı, yapısı karmaşık olduğu için, sindirimi de komplekstir. Buğday samanının mikroorganizmalar tarafından daha rahat sindirilebilir hale gelebilmesi için reaktöre besin maddesi olarak verilmeden önce ön muamele işlemiyle sindirilebilirliğinin artırılması biyogaz verimini artıran bir yöntemdir.

Biyogaz üretiminde substrat olarak buğday samanı gibi tarımsal yan ürünlerin kullanılacak olması enerji üretimine katkı sağlayacaktır. Bu gibi organik atıkların enerji üretiminde ve sonrasında tarımsal gübre olarak kullanımı, tarımsal yan ürünün değerlendirilmesi açısından önemli rol oynayacaktır.

İnsan ve hayvan sayısının gün geçtikçe artış göstermesi beslenme ihtiyacının karşılanma sorununu ortaya çıkarmıştır. Bu nedenden tahılların üretimine ayrı bir önem kazandırılma girişimlerinde bulunulmuştur. Hızlı nüfus artışıyla birlikte buğdayın önemi ve gereksinimi de her geçen gün artış göstermiştir. Bu artışın olmasının temel sebebi, buğdayın çabuk adapte olabilmesi ve tarım da makineleşmenin yaygın olmasıdır (Baysal vd., 2014). Buğdayın ekmek hammaddesi olarak kullanılması da artış görülmesini sağlayan diğer unsurlardan birisidir (Anonim 2014).



Şekil 1.1. Türkiye Hububat Alanları (Anonim 2014)

Buğday ekimi ülkemizde %34'lük oranla tarım alanlarının kullanımında ilk sırayı almaktadır. Ülkemiz sınırları içerisinde 11,3 milyon hektarlık bir alanda tahıl üretimi gerçekleştirilmektedir. 11,3 milyon hektarlık alanın %67'sinde buğday üretilmektedir (Anonim, 2014). Türkiye' deki tahıl dağılımı Şekil 1.1.'de verilmiştir.

Bu verilerden yola çıkılarak buğday samanı, bölgemizde yaygın olarak bulunan lignoselülozik bir tarımsal yan üründür diyebiliriz. Bu yan ürünün biyogaz üretiminde substrat

olarak kullanılması değerlendirilebilir.

Buğday samanı lignoselülozik yapısı olan bir substrattır. Hidrojen bağları ve OH⁻ gruplarının karşılıklı bağlanması ile oluşan büyük bir molekül yapısı vardır. Bu büyük molekül yapılarının enzimatik sindirime uygun hale gelmesi için ön muamele işleminin yapılması reaktör performansını olumlu yönde etkiler (Kang vd., 2012). Bunların sindirimini kolaylaştırarak reaktör performansını arttırmak amacıyla çeşitli ön muamele yöntemleri uygulanır. Bu yöntemlerden biri olan alkali metotta, biyokütle (substrat), sodyum hidroksit (NaOH) gibi bazik bir çözelti ile ön muamele işlemine tabi tutulur.

Bu çalışmada, ön muamele işleminin stabil bir şekilde gerçekleşmesi için şişelere yerleştirilen substratlar inkübatör odasında beş günlük temas süresinde NaOH'a (R4, R5, R6) ve Van Gölü suyuna (R1, R2, R3) maruz bırakılmıştır.

Bu çalışmanın amacı; NaOH ve Van Gölü suyu ile ön muamele edilmiş buğday samanının biyogaz üretim performansına etkilerinin karşılaştırılmasıdır. Van Gölü suyu, beklendiği gibi NaOH'a yakın bir performans sergilemiş ve ekonomik değerlendirme yapılmıştır. Ekonomik değerlendirmeye, biyogaz üretimi için lignoselülozik bir substrat olan buğday samanının ön muamelesinde Van Gölü suyunun, NaOH yerine kullanılabilir olduğunun gösterilmesi amaçlanmaktadır.

1.1. Biyogaz

Organik maddelerin oksijensiz ortamda fermantasyonu sonucu elde edilen yanıcı bir gaz karışımıdır. Biyogaz oluşurken metan (CH₄) haricinde %60-70, karbondioksit (CO₂) %30-40, hidrojen sülfür (H₂S), eser miktarda azot (N₂) ve hidrojen (H₂) oluşumu da gözlenir (Namık, 2008). Biyogazın içeriği;

- Beslenen maddenin özelliklerine,
- Reaktörün yükleme hızına
- Sistemin işletilmesi koşullarına,
- Reaktördeki bakteriyel etkinliklerle değişiklik göstermekte, buda üretilecek biyogaz miktarını ve elde edilecek enerjiyi etkilemektedir.

Biyogaz kullanımı Asurlar'a kadar dayanmaktadır. Asurlular ve akabinde İranlılar banyolarını ısıtmak için biyogaz kullanmışlardır. 17. yüzyılda Jan Baptista Van Helmont organik maddelerin bozulması ile gaz oluştuğunu gözlemlemiştir. 1776'da Alessandra Valto organik maddelerin bozulma hızı ile yanıcılık özelliği gösteren gaz arasında bir bağlantı olduğunu tespit

etmiştir. Anaerobik fermantasyon işlemi 1895 yılında İngilizler tarafından gerçekleştirilmiştir. Metan bakterilerinin tanımı Buswell tarafından yapılmıştır. Bu tanımını yapan Buswell, biyogaz üretiminin de bu bakterilerce sağlandığını belirlemiştir. Bu alandaki çalışmalar II. Dünya Savaşı'ndan sonra hız kazanmıştır (İlker, 2009).

1.1.1. Biyogazın Özellikleri

Biyogaz, anaerobik ortamda organik maddelerin parçalanmasıyla açığa çıkan renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alev ile yanan gazdır. Biyogaz kalitesi, organik maddenin cinsi, sıcaklık, hidrolik alıkonma süresi vb. durumlara bağlı olarak değişebilir (Nurgül, 2007). Biyogazın değerini içerisinde bulunan metan gazı belirler. Metan değeri %40'dan az olursa yanma için uygun olmamaktadır (Harasimowicz vd., 2007). Biyogaz bileşimi ve içerik oranları Çizelge 1.1.'de gösterilmiştir.

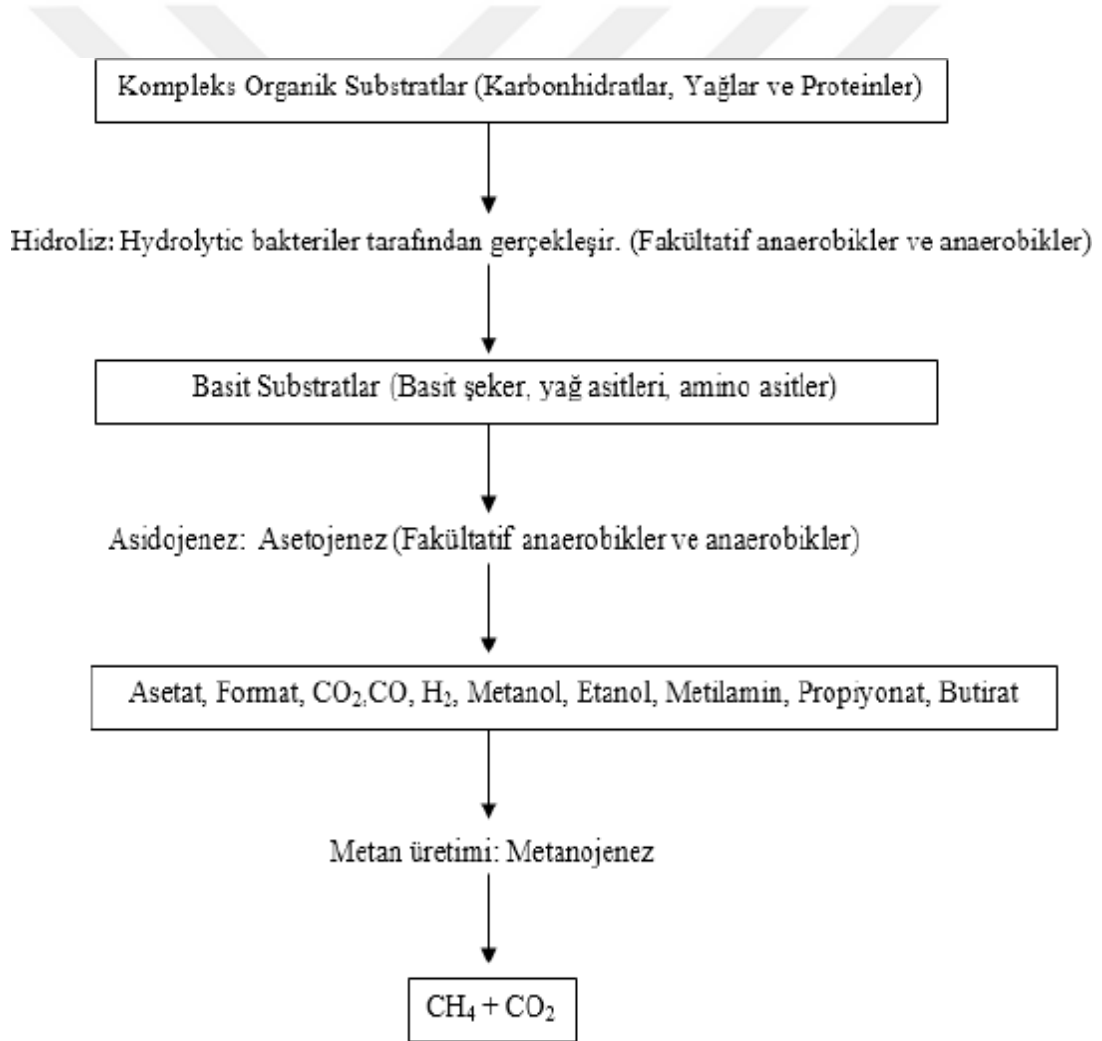
Çizelge 1.1. Biyogazın bileşimi (Al Seadi, 2008)

Bileşik	Kimyasal simgesi	İçerik (%)
Metan	CH ₄	50-75
Karbondioksit	CO ₂	25-45
Su buharı	H ₂ O	2 (20°C) -7 (40°C)
Oksijen	O ₂	<2
Azot	N ₂	<2
Amonyak	NH ₃	<1
Hidrojen	H ₂	<1
Hidrojen sulfur	H ₂ S	<1

1.1.2. Anaerobik İşlem

Biyolojik bir süreç olan anaerobik işlem karmaşık yapıları organik maddelerin oksijensiz ve mikroorganizmaların olduğu ortamda ayrışması temeline dayanır. Uygulamanın yoğun olduğu yerler kuvvetli organik madde yüküne sahip alanlardır. Bu alanlar gıda sanayi (bira fabrikası, nişasta üretimi, şeker fabrikası), çöp depolama alanında açığa çıkan sızıntı suları ve evsel nitelikli suların arıtılması, tarımsal atıksuların (hayvan çitlikleri gibi) arıtılması gibi yerlerdir. Bu tür atıksuların arıtımını gerçekleştirilmeden direkt alıcı ortama verildiğinde yüksek oranda çevre

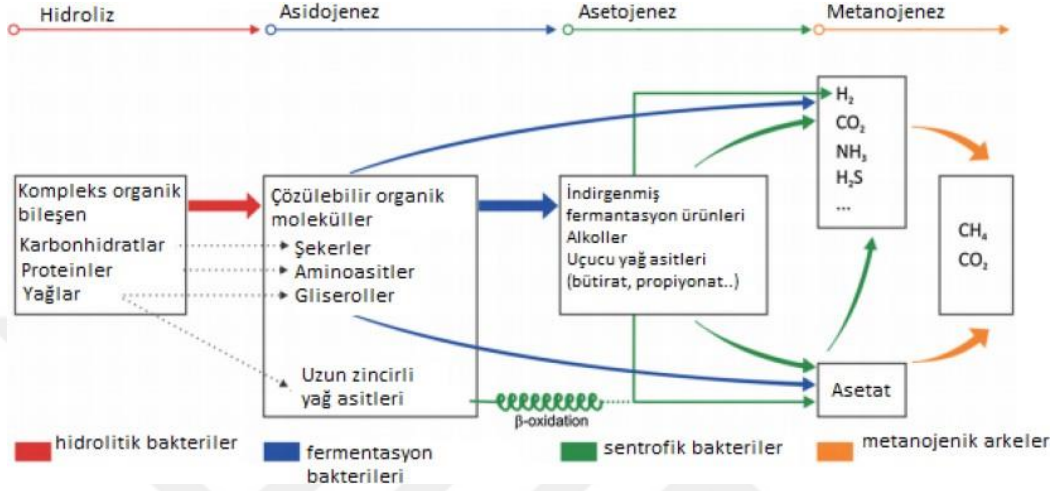
kirliliğine neden olmaktadır. Aerobik sisteme göre avantajının ve faydasının daha fazla olmasından dolayı anaerobik sistem sık kullanılan bir sistem niteliğini kazanmıştır. Günümüz şartlarında enerji maliyetinin sorun teşkil etmesiyle birlikte anaerobik sistem daha etkili olmuştur. Anaerobik sistemde çıkan metan gazının ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle kullanımı yaygınlaşmıştır. Anaerobik sistemde atıkların bünyesinde bulunan organik maddeler enerji amacı ile kullanılabilir ve biyogaza dönüştürülebilir durumdadır. Bu çürütme işlemi birçok biyokütle türünde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yıldız vd., 2013). Özellikle tarım ürünleri, tarımsal sanayi atıklarını arıtma ve enerji geri kazanımında biyolojik bozulma yaygın bir durumdur. Biyogaz, metan ve karbondioksitten oluşan, anaerobik sindirimin gerçekleşmesiyle açığa çıkan bir gazdır. Açığa çıkan metan ısı üretiminde ve enerji kullanımında faydalı bir gazdır. Anaerobik işlem sonucu oluşan çamur gübre olarak kullanılabilir (Nasl ve Mutlu, 2015).



Şekil 1.2. Biyogaz üretim aşamaları (Chandra vd., 2012)

1.2. Anaerobik Fermantasyon İşlemleri

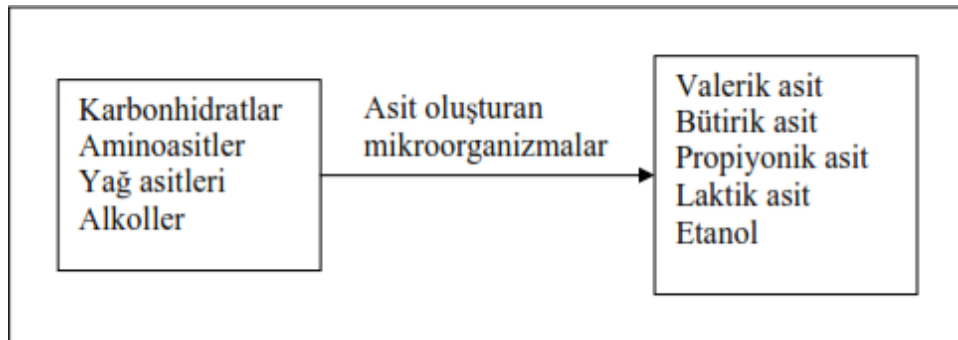
Anaerobik sistem de metan oluşumu hidroliz, asit oluşumu ve metan üretimi olmak üzere 3 safhada gerçekleşir. Bu safhalarda, hidroliz bakterileri, asit oluşturan bakteriler ve metan üreten bakteriler iş görmektedir (Şekil 1.3.).



Şekil 1.3. Anaerobik çürütücü metan üretim adımlarındaki organik madde dönüşümleri ve rol alan mikroorganizma grupları (Cabezas vd., 2015)

1.2.1. Hidroliz

Büyük molekülü maddelerin mikroorganizmalar yardımıyla küçük ve daha basit yapılı moleküllere dönüşmesi hidroliz süreci olarak adlandırılır. Bu süreç oldukça yavaş ilerleyen bir süreçtir. Asit oluşumuna yardımcı olan mikroorganizmalar hidrolize uğramış polimerik maddelerin (glukoz, amin asit, alkol vb.) organik asitlere (bütrik, valerik, propiyonik) ve alkole dönüşmesini sağlarlar.



Şekil 1.4. Hidroliz sürecinin aşamaları

Hidroliz hızını etkileyen temel faktörler; sıcaklık, pH ve mikroorganizma alıkonma süresi (çamur yaşı) dir. Yağ ve bazı selülozlu atıklar yavaş hidrolize olduğundan hız sınırlayıcı bir etken olabilir (Öztürk, 1999).

1.2.2. Asit Üretimi

Asit üretimi safhasında, hidroliz ürünleri asit oluşum safhasında faaliyet gösteren mikroorganizmaların kullanabileceği yapılara dönüştürülür. Bunlar organik moleküller yani valerik asit, bütirik asit, propiyonik asit ve asetik asittir. Bu organik moleküller organik asitlere ve metanole dönüşmektedir. Bu safhada amino asitler, sitrik asit ve H₂'ye, çözülmüş karbonhidratlar etanol, H₂ ve CO₂'e yağ asitleri de asetat ve H₂'ye dönüşmektedir (İlker, 2009).

Organik asit ve çözücülerin asetik asit, hidrojen ve karbondioksite parçalanması ile asetik asit bakterileri çoğalmaları için gerekli enerjiyi sağlamış olurlar. Asit üreten bakteriler termodinamik nedenlerden dolayı yalnızca H₂ kullanan mikroorganizma alt grupları ile yaşarlar. H₂ üreten asetojenik bakteriler olarak da adlandırılmaktadırlar. Çok belirgin olmasa da sülfat giderimi yapan bakteriler metan üretim safhasını çeşitli sebeplerden etkileyebilmektedir. Sülfür bakterileri bazen sülfatı H₂S'e dönüştürürken, bazen de organik asit ve alkollerini asetik asite oksitleyebilir. H₂S metan üreten bakteriler için gerekli bir besin kaynağıdır ve yeterli olmadığı durumlarda sülfatı kullanması gerekir. SO₄⁻² derişiminin artış gösterdiği durumlarda sülfat giderimi ile açığa çıkan H₂S gazı zehirlidir. Sülfür bakterileri metan bakterileri ile hidrojen için mücadeleye girerler ve metan basamağının hızını yavaşlatırlar. Ortamda yeterli miktarda SO₄⁻² bulunmaması durumunda, sülfat gideren bakteriler asetik asit üretimine katkı göstermiş olurlar (Öztürk, 1999).

Metan üretim hızı asit üretim hızına kıyasla yavaştır, bu sebepten çözülmüş organik madde konsantrasyonunda hızlı bir artış asit üretiminin artmasına ve sistemde asit birikmesine neden olur. Asit üretimi safhasında oluşan fazla asit metan üretimi basamağında baskılanmaya neden olur. Asitojenez basamağında protein ve amino asitlerin intihalinde (ayrışmasında) amonyum (NH₄) açığa çıkar. Amonyum derişimi havasız ortamlarda inhibisyona neden olacak düzeylerde olmasa da azot bakımından zengin endüstriyel atık sularda ve özellikle yüksek pH'da sorun teşkil edebilir (Öztürk, 1999).

1.2.3. Metan Üretimi

Asit oluşum basamağında oluşan asitler, H₂ ve asetat, metan oluşturan mikroorganizmalar tarafından kullanılarak metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), hidrojen sülfür (H₂S), hidrojen (H₂) ve

amonyak (NH₃) gazlarının açığa çıkmasını sağlarlar (İlker, 2009).

Anaerobik şartlar ile açığa çıkan metan gazını yaklaşık olarak %30 CO₂ ve H₂, %70 de asetik asidin parçalanmasıyla oluşmaktadır. Ortamda yeteri kadar H₂ ve CO₂ varsa metan üretimi devam eder (İlker, 2009).

1.3. Biyogaz Üretimi İçin Kullanılan Atıklar

Biyogaz üretiminde birçok hammadde kullanılabilir. Özellikle nem oranı yüksek olan katı organik atıkların sıklıkla kullanıldığı bilinmektedir. Biyogaz üretiminde kullanılacak organik atıklar şu şekilde sıralanmıştır (Al Seadi, 2008).

- Hayvan dışkısı
- Mezbahane atıkları
- Kanalizasyon
- Tarımsal atıklar
- Gıda endüstrisi katı atıklar
- Belediye atıkları
- Biyolojik atık su artıma çamurları
- Organik madde derişimi yüksek atık sular
- Ticari ve endüstriyel kaynaklı organik katı atıklar

1.4. Biyogaz Üretim İşletmelerinin Gelişimi

Biyogazın geçmişi çok eskilere dayanmaktadır. Milattan önceki yazıtlarda, biriken ve çürümeye başlamış organik maddelerin üst kısımlarında mavi alevli ateş yandığına dair bilgiler vardır. 1808 yılında Sir Humphry Davy bilimsel anlamda gerçekleştirilmiş biyogaz alanındaki ilk çalışmayı yapmıştır. Bu çalışmada büyükbaş hayvan gübresinin oksijensiz ortamda tutularak biyogaz üretimi gerçekleştirilmiştir. Ticari olarak biyogazın üretilip kullanılması ise 1840 yılında Yeni Zelandanda'nın Otowa kentinde, 1859 yılında Hindistan'ın Bombay kentinde bir grup tarafından biyogaz tesislerinin inşası ile başlamıştır. 1895 yılında İngiltere'nin Exeter kentinde kanalizasyon sistemlerinden gelen suyun kullanılmasıyla üretilen biyogaz sokak lambalarında aydınlatma amacıyla kullanılmıştır. 1895'ten itibaren biyokütle enerjisi, enerji planlamalarında önemli bir potansiyel olmuş ve anaerobik arıtımla ilgili çalışmalar, projeler ve programlar gelişmeye başlamıştır. 1990'lardan sonra gelişmiş ülkeler enerji ihtiyaçlarının bir bölümünü

merkezi biyogaz üretim tesisinden karşıladıklarını rapor etmişlerdir.

Türkiye'deki biyogaz üretimi altmışlı yıllarda araştırma enstitüleri ve Devlet Üretim Çiftliklerinde başlamıştır. Ancak teknolojik yetersizliklerden dolayı işletilememiştir. Türkiye'de biyogaz ile alakalı çalışmalar yok denecek kadar azdır. Başlangıçta akademik çalışmaların konusu olmuştur. 1960'lı yıllardan sonra lisansüstü çalışmalarla başlamış ve daha sonra Eskişehir Toprak Su Araştırma Enstitüsünde bir biyogaz üretici kurulmuştur (Baytekin, 2013).

1.5. Biyogaz Üretiminin Amacı ve Önemi

Organik madde içeren atıkların mikrobiyolojik olarak değerlendirmeye alınması; çevresel kirliliği önlemek ve temiz enerji üretimini gerçekleştirmek için önem arz etmektedir. Biyogaz üretiminin temel amacı çevre dostu enerji üretimidir. Diğer önemli amaçları ise şöyle sıralanabilir;

- Organik atıkların kontrol altında depolanmasının sağlanması,
- Organik atıkların birikmesiyle oluşan koku probleminin ortadan kalkması ve
- Tarımda organik gübre kullanımını kolaylaştırmasıdır.

Biyogaz üretiminin amaçları kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Kaliteli enerji elde edilmesi,
- Gübrenin akışkanlığının azaltılması,
- Atmosferde bulunan metan ve amonyak oranının azaltılması,
- Bitkinin ihtiyacı olan besin maddeleri kaybının azaltılması,
- Bitki besin maddeleri yararlılığının artırılması,
- Bitkiye faydalı olması,
- Organik maddelerin dezenfeksiyonu,
- Organik katı ve sıvı atık sorununun çözümüne yardımcı olunması,
- Yaz ve kış sıcaklık dengesinin sağlanması,
- Ormanların yakacak olarak kullanımının engellenmek (Fatma, 2011)

Dünya genelinde tarımsal ve hayvansal atıklar ya direkt yakılıyor ya da tarım topraklarına gübre olarak kullanılıyor. En genel kullanım alanı atıkların yakılarak kullanılmasıdır. Atıkların doğrudan yakılması ile istenilen ısı üretilmediği gibi sonrasında gübre olarak kullanılması da olanaksızdır. Biyogaz sistemlerinde organik madde enerji elde edilmesinde kullanılırken sonrasında oluşan posa uygun kalitede ise toprağa kazandırılabilir. (Fatma, 2011).

1.6. Biyogazın Kullanım Alanları

Biyogaz kullanım alanları doğal gaz ile benzerlik göstermektedir. Biyogaz kullanımı genellikle ısıtma ve aydınlatma üzerinde olsa da mekanik enerjiye çevrilmesi de olasıdır.

1.6.1. Biyogazın Isıtma için Kullanılması

Biyogaz içerisinde yüksek oranda bulunan metan gazı yanma özelliğine sahiptir. Biyogazın 1/7 oranında hava ile karıştığı durumlarda tam yanma faaliyeti gerçekleşir. Bu durumdan gazlı yakıt ile çalışan fırın ve ocakların yanı sıra şofben ve termosifonda fayda görebilir. Biyogaz sobalarda kullanıldığı zaman içerisinde bulunan hidrojen sülfürün ortama yayılma durumu olabilir. Bu durumun önüne geçmek için sobaların yerine kalorifer sistemlerinin kullanılması tercih edilmektedir.

1.6.2. Biyogazın Enerji Amaçlı Kullanılması

Biyogazın üretimi ile birlikte çıkan gaz ısıtma için kullanımın yanı sıra enerji amaçlı da kullanılmaktadır. Biyogaz, sıvılaştırılmış petrol gazıyla çalışan lambalar ile etkileşime girerek aydınlatma amacıyla kullanılmaktadır.

1.6.3. Biyogazın Motorda Kullanımı

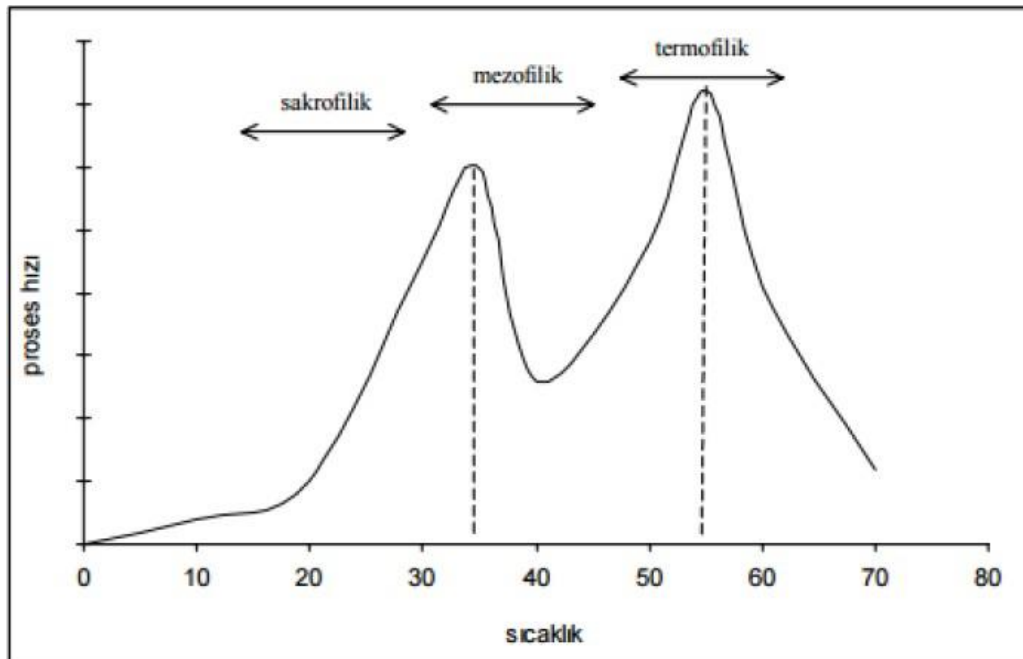
Biyogaz, benzinle çalışan araçlarda herhangi bir katkı maddesi olmaksızın kullanılabilmesi gibi içerisinde bulunan metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilir. Dizel motorlarda kullanımı gerçekleştirilecekse %18-20 oranında motorin ile karıştırılması gerekmektedir.

Biyogazın motorlu araçlarda yakıt olarak kullanılabilmesi için biyogazın içerisinde bulunan metan yüzdesinin %96-97'ye kadar yükseltilmesi ve içerisinde bulunan hidrojen sülfürün 17 ppm'in altına düşürülmesi gerekmektedir. %97 metan saflığındaki 1m³ biyogaz 1L benzine eşdeğerdir (Dirkse, 2007).

1.7. Biyogaz Üretimini Etkileyen Değişkenler

1.7.1. Sıcaklık

Biyogaz oluşumunda önemli rol alan mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerinde sıcaklık oldukça önemli bir etkidir. Metan oluşumuna yardımcı olan bakteriler psikrofilik (25°C altı), mezofilik (25°C-45°C), termofilik (45°C-70°C) olarak üç sınıfta toplanabilir (Al Seadi, 2008). Termofilik sıcaklıkta çürüme hızı daha yüksek olduğundan alıkoyulma süresinde kısadır. Termofilik sıcaklık aralığında fermantasyon süresinin kısa olması, yüksek enerji gereksiniminin olması ve amonyak inhibisyonunun oluşmasından dolayı fazla kullanılmamaktadır. Yavaş yavaş değişen sıcaklığa mikroorganizmalar uyum sağlayabilseler de ani sıcaklık değişimleri mikroorganizmalar üzerinde inhibisyon etkisi yapar (Al Seadi, 2008). Sistemin ani sıcaklık değişimleriyle karşı karşıya olması, çeşitli metabolik grupların farklı etkilenmesinden dolayı dengesizliğe neden olur (Ekinci, 2007). Büyük sıcaklık değişimleri, amonyak zehirlenmesini etkiler ve bu durumdan kurtulmak için proses sıcaklığının azaltılması yeterli olabilir (Al Seadi, 2008). Sonuç olarak, biyogaz reaktörünün içindeki sıcaklığın ani değişimi bakteriyel faaliyetleri olumsuz yönde etkileyecektir. Bu durum biyokimyasal tepkime hızını yavaşlatacaktır. Reaktör sıcaklığını sabit ısıda tutabilmek için, üretilen metan gazının tesis içerisinde ısı enerjisi olarak kullanılması bu duruma katkı sağlayacaktır (Nasl ve Mutlu, 2015).



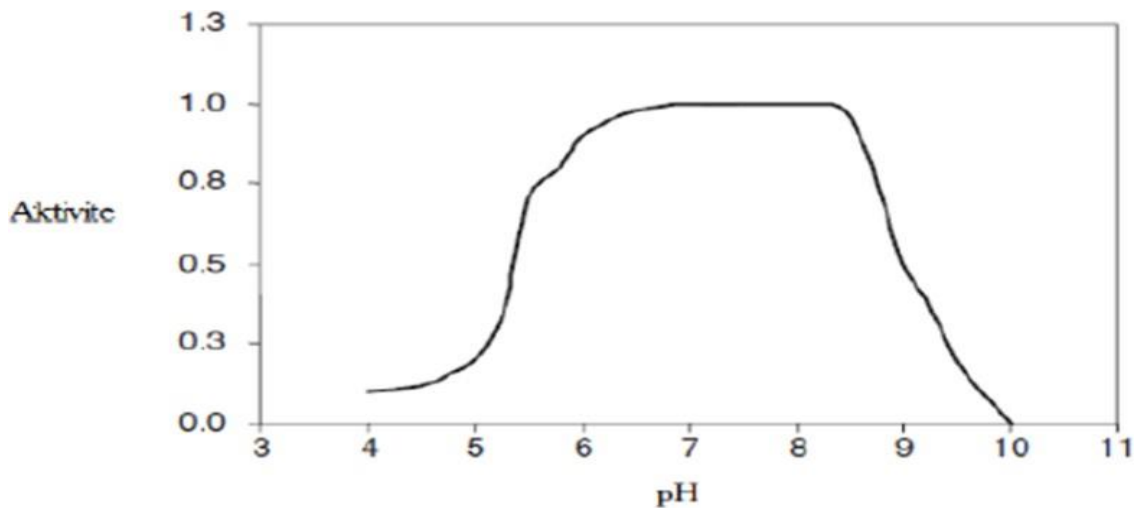
Şekil 1.5. Anaerobik parçalanma süreci için sıcaklık aralıkları (Öztürk, 2005)

Çizelge 1.2. Bazı gazların sudaki çözünürlüğü ve sıcaklık arasındaki ilişkiler (İlkiliç ve Deviren, 2011)

Gaz	Sıcaklık	Çözünürlük mmol/l su	Çözünürlük (%) oranı
H ₂	35 – 50	0,749 - 0,725	%3,3
CO ₂	35 – 50	26,6 - 19,6	%36
H ₂ S	35 – 50	82,2 - 62,8	%31
CH ₄	35 – 50	1,14 - 0,962	%19

1.7.2. pH

pH bir çözeltinin asit veya alkali olma özelliğinin şiddetini gösteren bir terimdir. pH değeri anaerobik şartlardaki metan mikroorganizmalarının gelişimini etkiler. Bunun yanı sıra anaerobik sindirim işlemi için önem teşkil eden bileşiklerin ayrılmasını etkiler. Anaerobik sistemde asetojenler 5,5- 8,5 aralığında etkilerini sürdürürken metanojenler için uygun pH aralığı 7,0-8,0 dır. Mezofilik sindirimde uygun pH aralığı 6,5-8,0 arasındadır. Bu değer 6,0'ın altına ya da 8,3 ün üstüne çıkarsa süreç ciddi şekilde etkilenebilir (Al Seadi, 2008). pH değerinde düşme görüldüğü anda pH ayarlaması yapılmalıdır. pH düştüğünde reaktör beslemesine ara verilecek, su ile seyreltme, kireç, yanmış kül ekleme, fermantörden bir miktar çamur çekip yerine bir miktar taze hammadde koyma gibi işlemler yararlı olur (İlkiliç ve Deviren, 2011).



Şekil 1.6. Metanojenlerin aktivitelerinin pH'a bağımlılığı (Gökçen, 2012)

1.7.3. Hidrolik Alkonma Süresi (HAS)

Biyogaz elde etmek için organik atıkların bakteriler tarafından çürütülmesi gerekmektedir ve bu çürümenin tamamen olması için gerekli olan süre hidrolik alkonma süresidir. HAS organik maddenin bileşimine, sıcaklığına, katı oranına ve reaktör türüne bağlıdır (Öztürk, 2005). HAS'ı uygulanacak sıcaklığa göre seçmek gerekir. Bu süre yeterli olmazsa reaktör içerisindeki bakteriler hızlı bir şekilde inhibe olurlar ve uçucu yağ asidi derişimi arttığı için biyogaz üretimi düşer (İlkiliç ve Deviren, 2011).

1.7.4. Hammadde ve Toplam Katı Miktarı (TK)

Biyogaz üretimini etkileyen önemli faktörlerden birisi de; reaktöre beslenen hammaddenin katı madde derişimi ve hammaddenin kimyasal yapısıdır. Reaktör içerisindeki fermantörün katı madde içeriği metanojenlerin hareketliliğini etkiler. Mikroorganizmalar büyük molekül yapısını zor ve uzun sürede parçalarlar ve bu sebepten hidroliz basamağı da etkilenmiş olur. Hidroliz basamağının etkilenmesiyle birlikte gaz üretimi de olumsuz yönde etkilenmektedir (İlker, 2009).

Biyoreaktöre hammadde beslemesi yapmadan önce hammaddelerin büyük ve küçük parçacıklarının eş dağılımının olması için parçalayıcı kullanılarak ortam şartlarının oluşması sağlanabilir. Lignoselülozik malzemelerin kompleks yapısından dolayı büyük parçalı olan malzemelerin enzimatik açıdan daha kolay sindirilebilmesi için küçük parçalar haline getirilmesi ile de sistem verimi arttırılmış olur. Biyogaz üretim hızının düşmesi, düşük katı derişimlerinde havasız ortam koşullarının sağlanmasının zorluğundan ve yüksek katı derişiminde bakteriyel etkinliğin yavaşlamasından dolayı olur (Ekinci, 2007). Bu sebeple katı madde oranı uygun aralıkta seçilmelidir. Bu seçimden ziyade birde hammaddelerin su ile seyreltilerek katı madde miktarının uygun aralığa getirilmesi gerekmektedir.

1.7.5. Zehirli Maddeler

Biyoreaktör içerisinde bulunabilecek antibiyotikler, tuzlar, dezenfektanlar, herbisitler, çözücü maddeler, ağır metaller süreç akışını ve mikroorganizma faaliyetlerini olumsuz yönde etkileyebilirler. Bu maddeler düşük miktarlarda bile olsa bozulma performansını ya da zehirli derişimde bozulma sürecini durduran maddelerdir. Antibiyotiğin biyoreaktör içerisine girmesi genel olarak çiftlik dışkısı veya hayvandan gelebilecek yağlar yoluyla gerçekleşebilmektedir. Süreci etkilemesi olası başka bir madde serbest amonyak (NH_3) ve çok düşük miktardaki

amonyum (NH_4^+), dengede bulunan bakteriler için zararlı etki gösterebilir (Yenilenebilir Hammaddeler İhtisas Ajansı, 2012).

Çizelge 1.3. Anaerobik bozunma süreçlerinde zararlı maddeler ve zararlı derişimleri (Yenilenebilir Hammaddeler İhtisas Ajansı 2012)

Zararlı maddeler	Engelleme derişimi	Tanımlama
Oksijen	> 0,1 mg/L	Bağlayıcı anaerobik metanojen arkelerin engellemesi
Hidrojen sülfür	> 50 mg/L H_2S	pH değerindeki düşüş engelleme etkisini arttırır.
Uçucu yağ asitleri	> 2.000 mg/L HAc (pH = 7,0)	Engelleme etkisi pH değerinde düşüş olduğu zaman artar.
Amonyum azot	> 3500 mg/L NH_4^+ (pH = 7,0)	Engelleme etkisi pH değerindeki düşüş ve sıcaklıkdaki yükselme ile artar.
Ağır metaller	Cu > 50 mg/L Zn > 150 mg/L Cr > 100 mg/L	Engelleyici etkiye yalnızca çözünebilir metaller neden olur. Zehirin temizlenmesi sülfidin çökeltmesi ile olur.

1.7.6. Basınç, Aşılama ve Köpüğün Etkisi

Reaktör içerisinde oluşması ihtimal basıncın anaerobik bakterilere ve dolayısı ile biyogaz üretim performansına etkisi söz konusudur. Basınç artışının gözlenmesi ile birlikte metana göre 40 kez daha fazla çözünebilir CO_2 'nin sıvı içindeki derişiminde artış olduğu tespit edilmiştir. Bu gaz çıkışı sistemde kalıcı köpük tabakasının oluşmasına neden olur. Köpük oluşumundaki diğer nedenler; inhibasyon sonrası iyileşme veya organik yükteki ani yükselmeden kaynaklanan durumlardır. Organik yüklemenin ani yükselmesi ile birlikte ortamda CO_2 artışı gözlenecek ve bu da köpük oluşumuna neden olacaktır. Köpük oluşumu, çamur alıkonma süresi ya da sıcaklık artışıyla azalır. Yağ gideriminin geliştirilmesiyle beraber köpük oluşum oranı düşmektedir (İlkiliç ve Deviren, 2011).

1.7.7. Karıştırmanın Etkisi

Biyogaz kalitesinin yani CH₄ oranının artması için substratın başka yardımcı substrat veya substratlar ile karıştırılması iyi sonuçlar verebilmektedir.

Karıştırılan atığın birçok avantajı vardır. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir (İlkiliç ve Deviren, 2011).

- Bakteri nüfusu ve atığın karışması ile tepkime hızını artırmak,
- Reaktör içerisindeki katı partiküllerin çökmesine ve köpük oluşum sürecine engel olmak,
- Sıcaklığın eşit bir şekilde reaktör içerisine dağılmasını sağlamaktır.

Karışımın olmadığı reaktörlerde homojen bölgeler oluşmadığı için katı bekleme süresi ile HAS'ları değişkenlik gösterir ve katı bekleme süresinde artış gözlenir. Bu durum daha sonra reaktör içerisindeki etkin hacmin azalmasına ve tıkanıklığın oluşmasına neden olmaktadır. Sık sık ve hızlı karıştırmanın da olumsuz yanları vardır. Bu olumsuzluk bakterilerin birbirleriyle olan etkileşimi kaybettirmekte ve işlevlerindeki aksamadan dolayı sistem verimi düşmektedir. En uygun karıştırma süresi dört saatte bir yavaş karıştırma (İlkiliç ve Deviren, 2011).

1.7.8. Karbon/Azot Oranı (C/N)

Kullanılan hammaddelerden verimli metan elde edebilmek için mikroorganizmaların en uygun besin desteğinin sağlanması gerekmektedir. Mikroorganizmaların verimli metan üretimine destek olan en uygun besin maddeleri karbon (C) ve azot (N)'tur. Azot mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirmesi için gereklidir. Karbon ise mikroorganizmaların biyogaz üretimine yardım eder. Bu sebepten mikroorganizmanın işlevini gerçekleştirmesi için gereken hammaddenin C/N oranı önemlidir. Karbon oranındaki artış metabolizmaya giren karbonun tümüyle dönüştürülememesine neden olacak ve verimli bir metan oluşumu gözlenmeyecektir. Aynı şekilde fazla miktarda azot sistemde amonyak olarak görülecek ve bu durumda pH 8,5'lara kadar yaklaşacaktır. pH'nın en ufak değişimi mikroorganizmaların etkilenmesine ve metan üretim faaliyetlerini gerçekleştirememesine neden olacaktır (Yenilenebilir Hammaddeler İhtisas Ajansı 2012).

1.8. Lignoselülozların Atık Maddeler Arasındaki Yeri

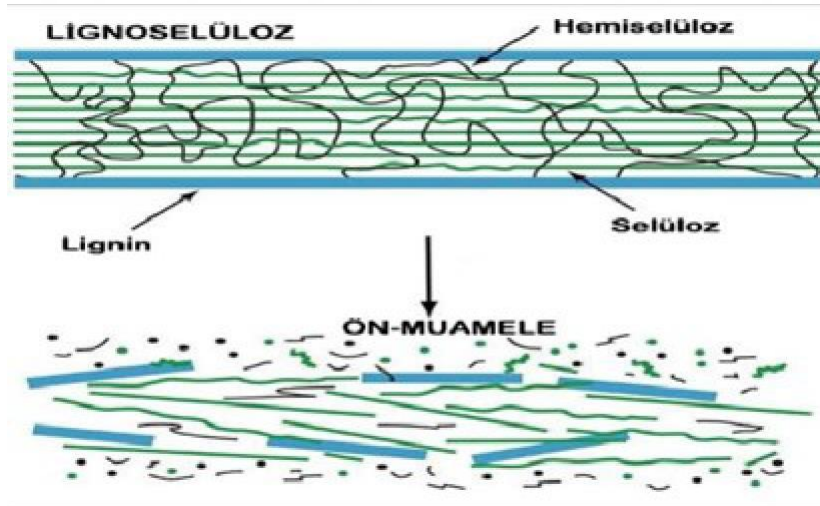
Lignoselülozlar, hayvan gübrelerinin, orman artıklarının ve buna benzer ürünlerin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır (Sims, 2003). Lignoselülozlar selüloz, lignin, hemiselüloz,

eksraktlar ve çeşitli inorganik maddelerden oluşur (Sjöström, 1993). Selülozun karmaşık ve özel yapısı hem kimyasal hem de biyolojik işlemlere karşı dirençli olmasını sağlar (Talebnia vd., 2008).

Lignin, biyolojik olarak üç boyutlu bir yapıya sahip, fenilpropan birimlerinden oluşan ve biyolojik olarak zor parçalanabilen karmaşık yapıya sahip bir moleküldür. Bitki hücre duvarının en aşılması bileşeni lignindir ve lignin oranının çokluğu, kimyasal ve enzimatik bozunmaya direnci artırır. Lignin ile hemiselüloz hatta selüloz arasında kimyasal bağlar mevcuttur (Taherzadeh ve Karimi, 1999; Palmqvist ve Hahn-Hägerdal, 2000). Lignin biyolojik ve kimyasal bozunmaya dirençli olduğu için, lignoselülozik materyallerin fermantasyonda kullanımındaki dezavantajlardan biridir (Taherzadeh ve Karimi, 1999; Palmqvist vd., 2000).

1.9. Lignoselülozların Ön Muamelesinde Etkili Parametreler

Lignoselülozik materyallerin tabii özellikleri onları enzimatik saldırılara karşı dirençli hale getirir. Ön muamelenin amacı, lignoselülozik malzemeleri enzimatik parçalanmaya uygun hale getirmek için özelliklerini değiştirmektir. Lignoselülozlu malzemeler karmaşık yapıda oldukları için ön muamele işlemi de kolay olmayacaktır. Ön muamele öncesi yöntem ve koşullar lignoselülozun özelliğine bağlı olacaktır (Torget vd., 1991; Donghai vd., 2006).



Şekil 1.7. Ön-muamelenin lignoselülozik yapı üzerindeki potansiyel etkisinin şematik görüntüsü (Gethelin, 1985)

Ön muamele, atıkların biyogaz üretimi için biyolojik sindirimin artırır ve enzimlerin substratlara erişebilirliğini artırır (Comino vd., 2012).

Çizelge 1.4. Bazı lignoselülozik materyallerin selüloz, hemiselüloz ve lignin içerikleri (Conde vd., 2012)

Ham Madde	Selüloz	Hemiselüloz	Lignin
Sert odunlar			
Huş Ağacı	41	36,2	18,9
Ak Kavak	50,8-53,3	26,2-28,7	15,5-16,3
Kızıl Akça Ağaç	44,1	29,2	24
Melez Kavak	41,7	20,2	29,3
Okaliptüs viminalis	41,7	14,1	31
Yumuşak odunlar			
Banks çamı	41,6	25,6	28,6
Sahil çamı	42,9	17,6	30,2
Köknar	43,9	26,5	28,4
Tarımsal Atıklar			
Mısır Koçanı	33,7-41,2	31,9-36	6,1-15,9
Şeker Kamışı Posası	40-41,3	27-37,5	10-20
Buğday Samanı	32,9-50	24,-35,5	8,9-17,3
Pirinç Samanı	36,2-47	19-24,5	9,9-24
Arpa Samanı	33,8-37,5	21,9-24,7	13,8-15,5
Sorgum Samanı	32-35	24-27	15-21
Yulaf Samanı	31-35	20-26	10-15
Mısır Sapı	35-39,6	16,8-35	7-18,4
Soya Sapı	34,5	24,8	19,8
Pamuk Sapı	38,4-42,6	20,9-34,4	21,45
Muz Atığı	13	15	14
Kahve Hamuru	33,7-36,9	44,2-47,5	15,6-19,1
Fındık Kabuğu	25-30	22-28	30-40
Diğer			
Bambu	40-50	18-20	23
Okaliptüs	45-51	11-18	29
Çim	25-40	25-50	10-30
Gazete Kağıdı	40-55	24-39	18-30
Zeytin Ağacı	25,2	15,8	19,1
Dalı Darı	35-40	25-30	15-20

Kullanılacak lignoselülozik maddenin içeriği ön muamele işlemindeki etkili faktörlerden birisidir. Lignoselülozik özelliğe sahip maddelerin yapıları birbirinden farklıdır (Çizelge 1.4.). Ürün miktarının artırılması ve mikroorganizmaların sindiriminde kolaylık sağlaması için ön

muamele işlemleri önemli bir basamaktır. Ön-muamele yöntemleri fiziksel, kimyasal, termo/fiziko kimyasal ve biyolojik alt başlıkları altında incelenebilir. Ek olarak, ön-muamele metodları asidik, bazik ve nötral ön-muameleler olarak da sınıflandırılabilir. Lignoselülozik materyalin özelliğine bakılarak, bu ön muamele yöntemlerinden herhangi biri ya da birkaç tanesi beraberce kullanılabilir (Galbe ve Zacchi, 2012).

Alkali metotta, biyokütle sodyum hidroksit (NaOH) gibi çözücüsünün hazır bulunduğu kaba konularak belirlenen, temas süresi veya sürelerince, ısı ile işleme tabi tutulur. Biyokütlenin homojen olarak ön muameleye maruz kalması için ara sıra çalkalama işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem sırasında biyokütle yapısında çözünme ve sabunlaşma reaksiyonları gerçekleşir. Ön muamele işlemi esnasında NaOH ile biyokütle reaksiyona girerek yapısında bulunan kompleks bağların koparılması işlemi gerçekleşmiş olur. Ön muamele işlemi ile biyokütlenin bağ yapısı değişir ve enzimlerin bağları koparma işlemi daha kolay bir hal alır. Bu yöntem daha çok yapısında yoğun lignin içeren hammaddeler için kullanılır (Wu vd., 2011; Eggeman ve Elander, 2005).

Alkali ön-muamelenin diğer bir çeşidi ise kireç ile ön muamele işlemidir. Lignoselülozik biyokütle içerisinde ciddi miktarda karbonhidrat bulunmaktadır. Kireç ile ön muamele işlemi, biyokütle yapısında bulunan yüksek miktarda karbonhidratın kaybını sağlayarak lignini ayırmaktır (Rabelo vd., 2009). Lignoselülozik biyokütlenin yapısına bağlı olarak çeşitli sıcaklık ve basınç altında kalsiyum hidroksit ile ön muamele işlemi gerçekleştirilir. Kireçle ön muamele işlemi 3 şekilde gerçekleştirilir;

- Kısa süreli ön-muamele işlemi (6 saat, 100-160 °C, oksijensiz, 200 Pa basınç),
- Uzun süreli ön-muamele işlemi (8 hafta, 55-65 °C, havasız) ve
- Basit ön muamele işlemi (Lignoselülozik materyali oksijensiz ortamda bir saat kaynamış suyun içinde bekletme).

Kireç ile yapılan ön-muamele işlemini diğer ön muamele işlemlerinden ayıran özellikler; daha düşük şiddetli olması, selüloz ve hemiselüloz kaybını ciddi oranda azaltması, daha az maliyet, işlem esnasında kolay hakimiyet sağlanabilir olması güvenilirliği açısından da önemlidir (Mielenz, 2013).

Bir başka alkali muamele metodu ise sulu amonyak (amonyum hidroksit) ile ön-muameledir. Sulu amonyak ile yapılan ön muamele işlemlerinde kullanılan lignoselülozik biyokütle yapıları daha düşük lignin içerikli dirler. Bu sayede lignin içeriği arzu edilen seviyelere düşürülür. Amonyakın da içinde bulunduğu sıvı karışımlardan uzaklaştırılması oldukça kolaydır. Bunun en önemli sebebi amonyakın oldukça uçucu bir yapısının olmasından kaynaklıdır. Sıvı karışım içerisinden buharlaştırma yolu ile elde edilmiş kullanılmış amonyak sonrasında tekrar kullanılabilir (Kang vd., 2012).

Asit ile ön-muamele işleminde biyokütle, konsantre (yoğun) asitle ve/veya seyreltilmiş asitle ön muamele edilir. Düşük sıcaklığın olduğu bir ortamda asit ile ön muamele işlemi gerçekleştirilecekse yüksek konsantrasyona sahip asit seçilmelidir. Yüksek konsantrasyonlu asit ile yapılacak ön muamele işlemine ek başka bir hidroliz basamağına gerek kalmayabilir. Bu avantajların yanı sıra yüksek konsantrasyona sahip asit ile ön muamele işleminin toksik, aşındırıcı ve zarar verici etkileri olabilir. Aşındırıcı etkinin olması ilave mazleme ihtiyacını ortaya çıkarır bu da maliyetin artmasına sebep olur (Talebna vd., 2010).

Lignoselülozik materyallerin biyolojik olarak parçalanmasını etkileyen başlıca faktörler, erişilebilir yüzey alanı, lignin ve hemiselülozün korunması, selülozün kristalinitesi, selüloz polimerizasyon derecesi ve hemiselülozların asetilasyon derecesidir (Wyman, 1996).

1.9.1. Kristallilik

Selüloz mikrofibrilleri iki nispi miktara göre belirlenir, bunlar kristalin ve amorf bölge olarak adlandırılır. Selüloz büyük oranda kristal halindedir (Chum vd., 1985). Selülaz, selülozün erişilebilir kısmını rahatlıkla hidrolize edebilirken, erişimi zor olan kristalin hidroliz işleminde etkisi fazla yoktur. Bu açıklamalar doğrultusunda, yüksek kristallikte selülozün enzimatik hidrolize daha dayanıklı olurken kristalinitedeki azalma ile lignoselülozların sindirilebilirliğinin yaygın olarak arttığı gözlenmektedir (Fan vd., 1980).

Lignoselülozların sindirilebilirliğini gösteren birtakım çalışmalar (Wyman, 1996; Grethelin, 1985) olmuştur. Fan vd.,(1980) selülozün yüzey alanı ve kristalliğinin bilyalı öğütme ile nasıl etkilendiğini incelemişlerdir. Öğütme ile selülozün ebatını küçülterek selülozün kristalitesinde oluşacak artışı gözlemlədiler. Öğütme yoluyla selülozün yüzey alanı küçüldüğü için kristalinitesinde bir artış gösterdiğini ifade etmişlerdir (Fan vd., 1980).

1.9.2. Erişilebilir Yüzey Alanının Etkisi

Selüloz erişilebilir yüzey alanı, hemiselüloz ve ligninin enzimatik hidrolizin gelişmesinde başlıca etmenlerden birisidir. Bu yüzey alanının etkisi kristalinite, lignin savunması, hemiselüloz sunumu veya bahsedilen durumların tamamıyla korelasyon gösterebilir (Wyman, 1996).

Lignoselülozik materyallerin iç ve dış olmak üzere iki farklı yüzey alanları vardır. Parçacıkların boyutu ve şekli dış yüzey alanı ile ilişkilidir, iç yüzey alanı ise selülozik liflerin kılcal yapısına bağlıdır. Kurutulmuş selülozik liflerin iç yüzey alanı dış yüzey alanından daha küçük haldedir. Su ve polar çözücülere maruz kalmış lignoselülozların şişmesi iç yüzey alanlarının

büyümesine yardımcı olur (Fan vd., 1980). Selülozik liflerin kurutulmasıyla birlikte erişilebilir yüzey alanı daralır, bunun asıl sebebi ise kılcal damar daralması ve çökmeden kaynaklı oluşudur. Selülozun spesifik yüzey alanı üzerinde su varlığının büyük bir önemi vardır. Bu yüzey alanının ıslanma ile artış gösterdiği bilinmektedir. Enzimatik hidroliz sırasında erişilebilir yüzey alanı değişir. Hidroliz oranı sıklıkla başta yüksek sonraki aşamalarda artış göstermektedir (Fan vd., 1980).

1.9.3. Ligninin Etkisi

Lignin, selüloz ve hemiselülozu bir arada tutar. Lignin, lignoselülozun şişmesini önlemenin yanı sıra malzemeye bütünlük ve yapısal bir sağlamlıkta kazandırır. Materyaldeki lignin içeriği ve dağılımı enzim erişebilirliğini sınırlandırmak ve enzimatik bozunmaya dirençli hale gelmesini sağlamaktır (Wyman, 1996). Muameleye tabi tutulmuş lignoselülozların yapısında bulunan lignin çözünmeye uğraması ile selülaz, ksilanaz ve glukosidaz için etkisini destekleyici bir madde haline dönmüştür. Lignin konsantrasyonu kadar bileşimi ve dağılımı da önemlidir. Bazı sert ağaçlar yumuşak ağaçlara kıyasla daha dayanıklıdır. Lignin tipi ile ilişkili olarak, sert ağaçların yapısında bulunan ve bir lignin karışımı olan guaiacyl ve syringyl bulunurken yumuşak odunların lignin yapısında sadece guaiacyl bulunur. Syringyl e kıyasla guaiacyl ligninin lif şişkinliğini ve enzim erişebilirliğini daha fazla sınırlamaktadır (Ramos vd., 1992).

Lignin yapısının değişmesiyle birlikte enzim popülasyonunda bir artış gözlenmiş ve hidroliz oranında ki artışla beraber yüzey alanındaki erişilebilirlik oranında da yükselme gözlenmiştir (Mooney vd., 1998).

1.9.4. Hemiselülozun Etkisi

Hemiselüloz, enzimatik saldırıdan koruma amacıyla selüloz liflerini çevreleyen fiziksel bir bariyerdir. Ön muamele yöntemi ile beraber hemiselülozun yapısal olarak bozunması gerçekleştirilir ve dolayısıyla enzimatik hidrolize fayda sağlayabilir. Bu durumun oluşmasıyla beraber bazen ligninin de ön muamelede etki görmesi durumu oluşabilir (Wyman, 1996). Erişilebilir yüzeye enzimatik saldırı olması lignin, selüloz kristalliği ve hemiselüloz içeriği ile alakalı bir durumdur. Hemiselüloz, hemiselilaz enzimatik hidrolizi ile hidrolize edilebilir. Uygun bir ön muamele (seyreltik asit işlemi gibi) ile hemiselüloz uzaklaştırması yapılabilir ve bu durumda hemiselilaz enzim karışımının kullanımında azalma veya tamamen kullanılmama durumu oluşabilir (Saha vd., 2005).

1.10. Lignoselülozik Substratların Ön Muamele Yöntemleri

Ön muamele biyogaz üretimi için gerekli olan enzimatik bozunmayı sağlamak için gerekli olan bir işlemdir. Etkin ve ekonomik bir ön muamelenin özellikleri şu şekilde sıralanmaktadır:

- a) Substratın enzimlerle reaksiyona girebilir yapıda selüloza dönüştürülmesini sağlar.
- b) Hemiselülozlar ve selülozu yok etmez.
- c) Enzimlerin ve fermantasyon bakterilerinin reaksiyonu esnasında oluşacak/oluşabilecek olumsuz koşulları önler.
- d) Düşük maliyetlidir.
- e) Kalıntı üretimini azaltır.
- f) Hiç kimyasal kullanmaz veya düşük maliyetli bir kimyasaldan az miktarda kullanır.

Lignoselülozik materyallerin enzimatik hidroliz veya sindiriminden önce ön muamele edilmediği için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, “Fiziksel Ön Muamele”, “Fiziko-kimyasal Ön Muamele”, “Kimyasal Ön Muamele”, “Biyolojik Ön Muamele”dir (Wyman, 1996).

1.10.1. Fiziksel Ön Muamele

Fiziksel ön muamele, erişilebilir yüzey alanını ve gözenek boyutunu arttırabilirken selülozun kristalleşme derecesini ve polimerizasyon derecesini azaltabilir. Enjeksiyon hidrolizi geliştirmek, lignoselülozik atıkların biyolojik olarak parçalanabilirliğini gerçekleştirmek için öğütme ve ışınlama gibi farklı fiziksel işlem türleri kullanılabilir.

1.10.1.1. Öğütme işlemi

Lignoselülozik materyallerin doğal yapısını ve kristallik derecesini değiştirmek ve selüloza uygun hale getirmek için öğütme işlemi yapılabilir. Bazı lignoselülozik madde, belediye atığı ve aktif çamur üzerinde, enzimatik hidroliz ve diğer ön muamele prosedürlerinden önce öğütme ve ebat küçültme yapılmıştır (Mais vd., 2002; Tassinari ve Macy, 1977; Zhang ve Zhang, 1999; Muller vd., 2007).

Öğütme, malzemelerin boyutunu azaltarak enzimatik hidroliz duyarlılığını ve linyoselülozların kristallik derecesini artırabilir, bu da bu materyallerin etanol ya da biyogaz yönünde enzimatik olarak parçalanmasını artırır (Fan vd., 1980).

1.10.1.2. Radyasyon ve Ultrason

Lignoselülozların enzimatik hızını gama ışınları, elektron ışınları ve mikrodalga ışınları arttırabilir (Kumakura ve Kaetsu, 1983). Bu ışınların enzimatik etkiyi arttırması dışında radyasyon ve asit muamelesi gibi diğer yöntem kombinasyonları da hidroliz hızını arttırır (Mamar ve Hadjadj, 1990).

Ultrason, ön muamele işlemi için kullanılan bir araçtır. Sucul atıkların ve aktif çamurun parçalanması işlemi için kullanılır (McDermott vd., 2001, Wang vd., 1999; Cui ve Jahng, 2006; Chu vd., 2002). Bu yöntem ile beraber çamur parçalanması ve mikroorganizma duvarının parçalanması işleminin gerçekleşmesini sağlar (Chu vd., 2002). Ultrasonik yoğunluk, çamur pH'sını ve çamur konsantrasyonunu parçalamaya etki eder (Wang vd., 2005)..

1.10.2. Fiziko-Kimyasal Ön Muamele

Ön muamele işlemindeki fiziko-kimyasal süreçler fiziksel ve kimyasal işlemlerin birleşmesiyle oluşur (Chandra vd., 2007).

1.10.2.1. Buhar Patlaması

Buhar patlaması ön muamele işleminde büyük ilgi odağı olmuştur. Buhar patlaması ön muamele işleminde hemiselülozun giderimin de önemli role sahiptir. Bu sayede enzimatik sindirimin daha rahat gerçekleşmesine yol açar. Buhar patlaması esnasında basınç düşürülerek malzemelerin dekompresyona uğraması işlemi gerçekleştirilir (Boussaid vd., 2001; Varga vd., 2004; Ruiz vd., 2006). Bu işlem sayesinde maliyet nispeten düşürülür ve ön muamele işleminin tüm gereksinimlerinin karşılanması sağlanır.

1.10.2.2. Amonyak ile Lignoselülozik Yapının Değiştirilmesi (AFEX)

Amonyak ile lignoselülozik yapının değiştirilmesi alkali fiziko-kimyasal ön muamele yöntemlerinden birisidir (Holtzaple vd., 1991). Bu işlemde biyokütle kısmen yüksek sıcaklıkta sıvı amonyağa maruz bırakılır ve ardından hemen basınç düşürülür.

Amonyak ile lignoselülozik yapının değiştirilmesi işlemindeki etkili parametreler; sıcaklık, boşaltma basıncı, amonyak yükleme, su yükleme zaman ve işlem sayısıdır (Holtzaple vd., 1991). Amonyak ile lügnoselülozik yapının bozulması prosesinde katı

maddelerin ön muamele edilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda katı ve sıvı fraksiyonlar ayrıştır ve bir bulamaç halini alır (Mosier vd., 2005). Amonyak ile lignoselülozik yapının değiştirilmesi işleminde lignin fraksiyonu değişebilir ya da etkili bir şekilde azalma gözlenirken hemiselüloz ve selüloz fraksiyonları bozulmadan kalabilir (Alizadeh vd., 2005).

Bu durumların yanı sıra AFEX sürecinin kullanılmasının bazı dezavantajları da vardır. AFEX seyreltik asit ile ön muameleye maruz kalmış substratları diğer ön muamele işlemlerine de kıyasla önemli ölçüde çözündüremez. AFEX karışık lignin yapısına sahip substratlar yerine daha basit lignin yapısı bulunan substratlarda daha etkilidir. Ayrıca bu işlem esnasında kullanılan amonyak ön muamele işleminden sonra geri dönüştürülmelidir (Wyman, 1996; Sun vd., 2005). Bunun için ise su ile yıkama yapılarak yapısına dahil olan engelleyici bileşenlerin uzaklaştırılması gerekmektedir. Bunun neticesinde işlem sonrası oluşacak atık su miktarı fazla olacaktır (Chundawat vd., 2007).

1.10.2.3. CO₂ Patlaması

Süperkritik karbondioksit düşük maliyetli, toksik olmayan, yanıcılığı bulunmayan, geri kazanımı kolay ve çevresel olarak zararı olmadığından faydalı bir ön muamele yöntemidir (Zheng ve Tsao, 1996). Süperkritik karbondioksit substrat yapısı ile birleşme göstermesinin yanı sıra gaz benzeri kütle transferi yapma özelliği de gösterebilir. Bunun yanı sıra endüstriyel uygulamalarda süperkritik karbondioksit çok pahalı olabilir (Zheng vd., 1995).

1.10.3. Sıcak Su ile Ön Muamele

Hidrotermal ön işlemlerden birisi olan sıcak su ile ön muamele lignoselülozik malzemelerin ön muamelesinde kullanılan yöntemlerden birisidir. Su yüksek basınç altında biyokütleye nüfuz edebilir, hemiselülozu ve ligninin bir kısmını çıkarabilir. Bu işlemin avantajları, işlemin hidroliz reaktörleri için kimsasal madde ilavesine ve korozyona dayanıklı materyallere ihtiyaç yoktur. Sıcak su ile ön muamelede kullanılacak malzemenin boyutunun küçülmesine gerek duyulmayabilir. Seyreltik asit ile ön muamele işlemi kıyaslanınca daha az nötrleşme kalıntısı üretir. Sıcak su ile ön muamele selülozun yüzey alanını genişletir ve hidrolik enzimlerin erişebilirliğini artırır (Zeng vd., 2007).

Sıcak su ile ön muamele işleminde pH, zaman kontrolü ve işleme sıcaklığının ayarlanması ile enzimatik sindirilebilirlik optimize edilmiş olur (Wyman, 1996; Mosier vd., 2005a; Mosier vd., 2005b).

1.10.4. Mikrodalga-Kimyasal Önişlem

Geleneksel kullanılan ısıtma yöntemi ve akabinde uygulanan kimyasal ile ön muamelenin yanı sıra mikrodalga- kimyasal ön muamele daha etkili bir yöntemdir (Zhu vd., 2005).

1.10.5. Kimyasal Ön Muamale

1.10.5.1. Alkali Hidroliz

Lignin ve selülozun alkali metotla uzaklaştırılmasında NaOH, Ca(OH)₂, CaCO₃ (kireç) ve amonyak gibi enzimin selüloza erişebilirliğini arttıran kimyasallar kullanılmaktadır (Kassim ve El Shahed, 1986). Ön muamele işlemleri yüksek alkali konsantrasyonu ve uygun sıcaklıkta gerçekleştirilebilir (Xu vd., 2007). Biyogaz üretiminde alkali ön muamele bir ön muamele yöntemi olarak kullanılmaktadır (Beccari vd., 2001).

Alkali metotta, biyokütle sodyum hidroksit (NaOH) gibi çözeltilsinin hazır bulunduğu kaba konularak belirlenen, temas süresi veya sürelerince, ısıtma işlemine tabi tutulur. Biyokütlenin homojen olarak ön muameleye maruz kalması için ara sıra çalkalama işlemi de gerçekleştirilir. Bu işlem sırasında biyokütle yapısında çözünme ve sabunlaşma reaksiyonları gerçekleşir. Ön muamele işlemi esnasında NaOH ile biyokütle reaksiyona girerek yapısında bulunan kompleks bağların koparılması işlemi gerçekleşmiş olur. Ön muamele işlemi ile biyokütlenin bağ yapısı değişir ve enzimlerin bağları koparma işlemi daha kolay bir hal alır. Bu yöntem daha çok yapısında yoğun lignin içeren hammaddeler için kullanılır.

Alkali metot olarak NaOH ile ön muamele işlemi oldukça yaygındır. Bunun önemli nedenlerinden birkaçı NaOH'a ulaşımın rahat olması ve maliyetinin de uygun olmasıdır. NaOH ile ön muamele işlemi birçok farklı şekilde yapılabilir. Bu, kullanılan lignoselülozik malzemenin yapısına göre değişkenlik gösterebilir. Zhang ve diğerleri (2016) lignoselülozik malzemeleri farklı oranlarda (%2, %4, %6) NaOH ile ön muamele işlemine tabi tutmuşlardır. Çalışma sonucunda %2 NaOH'ın ön muamele işlemi için yeterli olduğunu ve diğer oranlarla kıyaslama yapıldığı zaman daha yüksek verim elde edildiği gözlemlenmiştir.

Zhang vd., (2015).’nın yaptığı diğer bir çalışmada ise NaOH oranı sabit tutulup sıcaklıkları (80°C, 100°C, 120°C) değiştirmişlerdir. Bu çalışmada ise edinilen sonuç 120°C’lik sıcaklığın 80°C ve 100°C’ye göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 1.4.'de bazı lignoselülozik materyallerin selüloz, hemiselüloz ve lignin içerikleri verilmiştir. Bu lignoselülozik materyallerin yapısal özelliklerine göre NaOH ile ön muamele işlemleri değişkenlik gösterebilir. Bu duruma Zhang ve diğerlerinin (2016) yaptığı çalışmalar güzel birer örnek oluşturmaktadır. Farklı lignoselülozik malzemeler üzerinde hem NaOH oranlarını hem de zamanları farklı kullanarak çalışmaları ile her lignoselülozik malzemeye aynı ön işlemin yapılamayacağını bu durumun farklılık gösterebileceğini göstermişlerdir.

1.10.5.2. Alkali Peroksit

Ön muamele işleminde alkali peroksit etkili bir metottur. Bu metotta lignoselülozlar oda sıcaklığı ve pH ayarı yapılmış ortamda H₂O₂ ile ön muamele işlemine tabi tutulur (Saha ve Cotta, 2006).

1.10.5.3. Organosolv İşlemi

Organik veya sulu organik çözücü olarak bilinen organosolv lignin ağının veya hemiselülozun bir kısmını uzaklaştırmak veya ayrıştırmak için kullanılabilir (Curreli vd., 1997; Itoh vd., 2003; Pan vd., 2006; Rolz vd., 1986). Lignin ve hemiselülozun bir kısmının çözünmesine yardımcı olmak için organik sıvı su ile karıştırılarak lignoselülozun temas etmesi sağlanır. Bu temasın ardından belirlenen sıcaklıkta ön muamelenin gerçekleşmesi sağlanır. Organosolv ön muamelesi, oksalik, salisilik ve asetilsalisilik asit gibi sulu organik katalizörlerin 150-200 °C sıcaklıkta lignoselülozik materyallerle temas ettirilmesi ile olur. Bununla birlikte, çözücünün geri kazanımı ve çözücünün fiyatının makul olması konusu düşünülmelidir. Ön muameleden geçirilmiş selülozun çözücülerinden arındırılması gerekmektedir. Çünkü çözücüler enzimatik hidroliz için inhibitör etki gösterebilirler (Sun vd., 2002).

1.10.5.4. Islak Oksidasyon

Islak oksidasyon ile ön muamele uygulaması yapılabilir (Palonen vd., 2004; Varga vd., 2004; Garreote vd., 1999; Schmid ve Thomsen, 1998). En önemli parametrelerini ısı, reaksiyon zamanı ve oksijen basıncı oluşturur (Schmid ve Thomsen, 1998). Bu ön muamele ile selülozik fraksiyonun lignin ve hemiselülozdan ayrılması durumu gözlenebilir (Chum vd., 1985; Saha, 2003). Oksidasyon sürecinde oksijen bozulma reaksiyonlarına katılır ve organik asit üretiminin

artmasına katkıda bulunarak düşük sıcaklıklarda çalışmayı sağlar (Garrote vd., 1999).

1.10.5.5. Ozonoliz Ön Muamelesi

Lignoselülozik materyallerin ön muamelesinde, ozonoliz ozon ile işlemde geçirilen bir muamele çeşitidir. Ozon ile parçalama yapılarak lignin ve hemiselülozun bir bölümü etkin bir şekilde parçalanmış olur. Bu işlem oda sıcaklığında gerçekleştirilir ve önleyici bileşiklerin oluşmasına yol açmaz (Vidal ve Molinier, 1988). Bu işlemin gerçekleşmesi için çok miktarda ozonun gerekli olması nedeniyle ozonoliz pahalı olabilir. Ozonoliz ile ön muameledeki ana parametreler numunenin içeriği, partikül boyutu ve gaz akışındaki ozon konsantrasyonudur (Sun ve Cheng, 2002).

1.10.5.6. Asit Hidrolizi ile Ön Muamele

Enzimatik hidrolizin etkili bir şekilde gerçekleşmesinde asit ile ön muamele işlemi etkili bir parametredir. En çok asit uygulaması HCl ve nitrik asit ile gerçekleştirilir (Taherzadeh ve Karimi, 2007a). Asit ön muamelesi ya düşük sıcaklık-yüksek asit konsantrasyonu (konsantre asit ön muamelesi) ya da yüksek sıcaklık-düşük asit konsantrasyonu (seyreltik asit ön muamelesi) altında çalışabilir. Konsantre asit proseslerinde yüksek asit konsantrasyonu aşındırıcı ve tehlikeli olmaktadır. Bu durumun önlenmesi için ya pahalı alaşımlar ya da uygun metalik yapıların kullanılması gerekmektedir. Yüksek asit konsantrasyonları ile muamele işleminden sonra nötralizasyon işlemi gerçekleştirildiğinde büyük miktarda jips oluşmasına neden olur (Wyman, 1996, Sun vd., 2004; Jones ve Semrau, 1984). Seyreltik asit konsantrasyonu ile ön muamele işleminde yukarıda belirtilen sıkıntılar oluşmaz ve bu nedenle kullanımı ve maliyeti daha uygundur (Taherzadeh ve Karimi, 2007a, 2007b). Seyreltik asit ön muamelesiyle hemiselülozun neredeyse %100 giderimini sağlamak mümkündür (Wyman, 1996; Yang ve Wyman, 2004).

1.10.6. Biyolojik Ön Muamele

Lignoselülozların ön muamelesinde ve enzimatik hidrolizin gelişiminde mikroorganizmalarda önemli rol oynar. Uygulanan mikroorganizmalar kompleks yapıda olan lignoselülozların parçalanmasını ve enzimatik saldırıya uygun hale gelmesini sağlar. Bu amaçla

çeşitli mantarlar kullanılmıştır. Özellikle beyaz-çürükçül mantarlar lignoselülozların biyolojik ön muamelesinde etkili organizmalar arasındadır (Sun ve Cheng, 2002).

Anaerobik arıtma, oksijenin bulunmadığı durumlarda organik ve inorganik maddelerin bir dizi biyolojik süreç ile parçalanarak CO₂, CH₄, H₂S ve NH₃ gibi nihai ürünlere dönüşmesi ile oluşur. İlk kullanım alanı arıtma çamurlarının çürütülmesi için kullanılmaya başlansa da sonraki süreçte çalışmaların artış göstermesi ile aerobik arıtmaya kıyasla daha avantajlı olduğu gözlenmiş ve bu alanda da yaygınlaşmaya başlamıştır (Rabelo vd., 2009).

Aerobik proses uygulamalarında yüksek organik madde (BOİ₅ >1000-1500mg/L) ve düşük katı madde içeren konsantre atıksuların arıtılması pahalı olduğu için anaerobik proseslerin gelişimine imkan tanınmıştır (Orhon ve Artan, 1994).

Anaerobik arıtma sonucunda üretilen enerjinin yanı sıra arıtım sonucu substratan geri kalan kalıntıların da toprağa geri kazandırılması mümkün olmaktadır (Kang vd., 2012). Aerobik arıtma kıyasla anaerobik arıtımda düşük besi maddesi ihtiyacı ve düşük çamur oluşumu gözlenmiştir (Orhon ve Artan, 1994). Anaerobik sistemlerde organik maddenin biyo kütleyle dönüştüğü oran %5-15'lik bir kısımdır (Comino, 2012). Aerobik sistemlerde bu oran %25-30 civarındadır (Donghai, 2006). Bu durum, arıtım sonrası oluşacak çamurun aerobik sistemlere göre daha kolay ve düşük maliyet sağlanarak bertaf edilebileceğini göstermektedir. Biyogaz verimini arttırmak için çeşitli atıklar kullanılmıştır. Özellikle azot içeriği yüksek atıkların karbon oranını yükselterek metan üretim veriminin artırılması için karbon oranı yüksek substratlar kullanılması uygun görülmüştür. Ancak bu substratlar selülozla birlikte ligninde bulunur bunlar lignoselülozik substratlar olarak adlandırılırlar.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışmada Kullanılan Mevcut Ekipmanlar

Bu çalışmada kullanılan genel laboratuvar ekipmanları ve kullanım amaçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

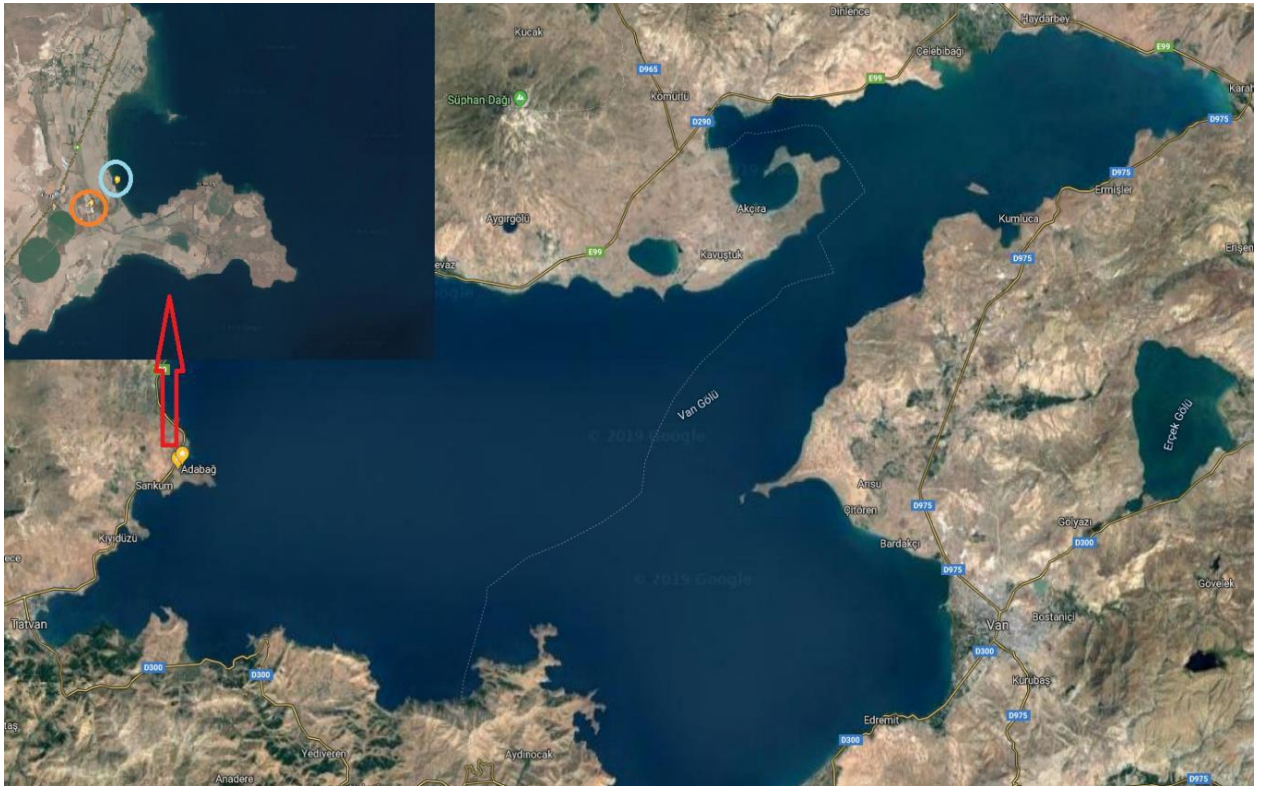
Çizelge 2.1. Çalışmada Kullanılan Mevcut Ekipmanlar

Ekipman	Marka Model	Kullanım Amacı
Hassas Terazı	Adventurer-AV264C	Aşı çamurunun, Van Gölü suyu numunesinin, Buğday samanının tartımlarını yapabilmek için kullanılmıştır.
Buzdolabı	Beko	Aşı çamuru ve Van Gölü suyunu saklamak için kullanılmıştır.
pH Metre Cihazı	Hach- HQ40d	Ön muamele için kullanacağımız Van Gölü suyunun pH' sının ölçümü yapıldıktan sonra mol cinsinden OH ⁻ değerinin bulunmasını sağlamak için kullanacaktır.
Etüv ve Kül Fırını	Mikrotest-MST55 Protech-	Kurutma işlemi ile katı madde ve uçucu katı madde tayininde kullanılmıştır.
Saf Su Cihazları	Elga Purelab – Q DV25	Genel çalışma ihtiyaçları için kullanılmıştır.
Desikatör		AKM tayininden sonra etüvden çıkarılan krozelerin ve UAKM tayininden sonra etüvden çıkarılan krozelerin ortamdaki nem kapıp tartımı değiştirmesini engellemek ve sağlıklı bir şekilde soğuma işleminin gerçekleşmesi için kullanılmıştır.
Manyetik karıştırıcı	MR-Hei-Tec	Reaktör içerikleri ile çözelti hazırlamada kullanılmıştır.
Parçalayıcı	Süper Mikser-SM-108-132	Buğday saplarını parçalayarak buğday samanı elde etmekte kullanılmıştır.

2.2. Çalışmada Kullanılan Maddeler

2.2.1. Aşı Çamuru ve Buğday Samanı

Çalışmada, Adabağ çiftliğinden (Şekil 2.1.) alınan taze hayvan dışkısı kullanılmıştır. Dışkı hayvanların bulunduğu bölümden ve örneğe yem, sap ve saman gibi yabancı maddelerin girmemesine dikkat edilerek alınmıştır. Şekil 2.1.'de belirtilen yerin Van Gölü kıyısından 5L'lik su şişesiyle Van Gölü suyu (VGS) alınmıştır (Şekil 2.1.'de gösterilen Mavi çember: VGS, Turuncu çember: Aşı çamuru alınan alanı göstermektedir).



Şekil 2.1. Aşı çamurunun ve Van Gölü suyunun alındığı yerler

Çalışmada kullanılan buğday samanları Malatya'nın Doğanşehir ilçesine bağlı olan Karşıyaka mahallesinden temin edilmiştir. Temin edilen buğday saplarının uzun parçalar halinde olması reaktör şişeleri içerisine konulması açısından sıkıntılı olduğu görülmüştür. Bu sebeple, küçük parçalara ayrılmış yani samana çevrilmiştir.

Aşı çamuru buğday samanının karakterizasyonu için katı madde miktarı ve oranı aşağıda ki hesaplamalar yapılarak belirlenmiştir.

$$\text{Toplam Katı Madde (g)} = (A-B) \quad (2.1)$$

$$\text{Toplam Katı Madde Oranı} = \frac{A - B}{C - B} \quad (2.2)$$

“A” kroze ve kuru buğday samanı ağırlığını, “B” boş kroze ağırlığını, “C” kroze ve kurutulmamış buğday samanı ağırlığını ifade eder. Uçucu katı madde miktarı ve oranı aşağıdaki hesaplamalar yapılarak bulunmuştur.

$$\text{Uçucu Katı Madde (g)} = D - E \quad (2.3)$$

$$\text{Uçucu Katı Madde Oranı} = \frac{D - E}{C - B} \quad (2.4)$$

“D” kroze ve kuru madde ağırlığını, “E” kroze ve uçucu madde ağırlığını, “B” boş kroze ağırlığını, “C” kroze ve kurutulmamış buğday samanı ağırlığını ifade eder.



Şekil 2.2. a. Malatya Doğanşehir ilçesinden temin edilen buğday sapları, b. Buğday saplarının saman haline getirme çalışması, c. Buğday saplarının saman haline getirilmesi, d. Buğday sapını saman haline geldikten sonra tozundan arındırmak için yapılan eleme işlemi

2.3. Alkalinite Kaynakları

Laboratuara getirilen Van Gölü suyunun pH ölçümü ve alkalinite tayini yapılmıştır. Alkalinite tayini için 50 mL alınmış olan Van Gölü suyu behere boşaltılmıştır. Sonra pH ölçümü yapılan Van Gölü suyu 0,2N H₂SO₄ ile titre edilmiştir. pH sı 4,5'e gelene kadar titrasyon devam edilip harcanan H₂SO₄ miktarına bağlı olarak, numunenin NaOH cinsinden alkalinitesi hesaplanmıştır.

$$\text{VGS alkalinitesi} = \frac{V_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot \text{EA} \cdot \text{MA}_{\text{NaOH}}}{V_{\text{numune}}} \quad (3.5)$$

$V_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ = Titrasyon sonucu sarf edilen H₂SO₄ hacmi

EA = 0,2 mol NaOH / 1 L H₂SO₄ çözeltisi (birim hacim titratın giderdiği eşdeğer alkalinite)

MA_{NaOH} = 40 g NaOH / 1 mol NaOH (NaOH'ın moleküler ağırlığı)

V_{numune} = 50 mL VGS (titrasyonu yapılan VGS hacmi)

Her bir reaktörün ön muamelesi için gerekli alkalinite (NaOH) miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Alk}_{\text{BS}} = \text{BS} \times \frac{\text{NaOH}_{\text{ref}}}{\text{BS}_{\text{ref}}} \quad (3.6)$$

Alk_{BS} = Bir reaktör şişesi için BS'nin ön muamelesinde gereken alkalinite, eşdeğer g NaOH

BS = Bir reaktör şişesi için ön muamele işleminde kullanılacak BS miktarı, g

BS_{ref} = Chandra vd. (2012)'nin çalışmasında kullandığı BS miktarı, g

NaOH_{ref} = Chandra vd. (2012)'nin çalışmasında kullandığı NaOH miktarı, g

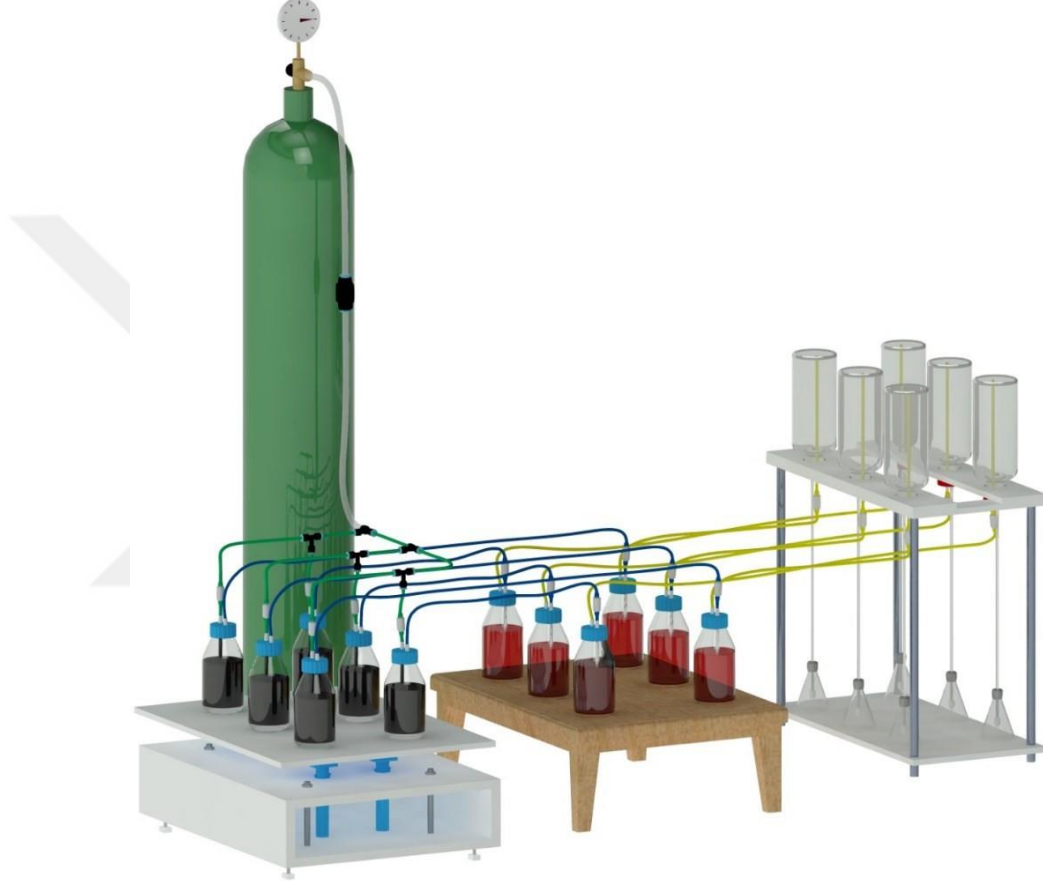
Her bir reaktörün içerisinde bulunan BS'nin ön muamelesi için gerekli olan VGS miktarının hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$\text{VGS}_{\text{reak}} = \frac{\text{Alk}_{\text{BS}}}{\text{VGS alkalinitesi}} \quad (3.7)$$

$VGS_{\text{reak}} = \text{Bir reaktör şişesinde bulunan BS'nin ön muamelesi için gerekli olan VGS miktarı, mL}$

2.4. Deney Sisteminin Kurulması

Çevre Mühendisliği Bölümünün laboratuvarlarında; reaktörler, gaz yıkayıcılar, CO₂ tutucular, çalkalayıcı ve sıvı yerdeğiştirme prensibine göre hazırlanmış gaz ölçüm düzeneğinden oluşan deney sistemi kurulmuştur.



Şekil 2.3. Deney Düzeneği (AutoCAD ile hazırlanmıştır.)

2.4.1. Reaktörler

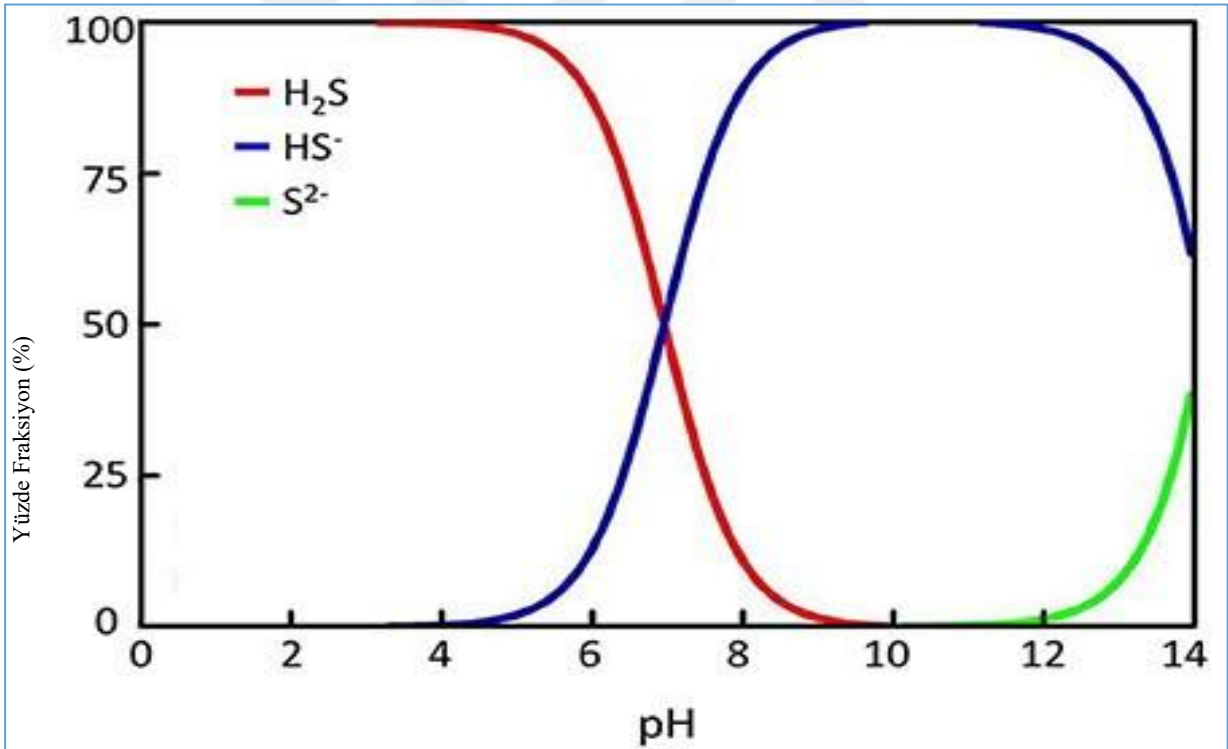
Reaktör olarak, 1000 mL'lik GL45 kapaklı şişeler kullanılmıştır. Reaktörlerin sürekli olarak karıştırılması ve bu sayede homojen kalması için dairesel çalkalayıcı kullanılmıştır. Çalışmalar ısı kontrolü olan karanlık oda içerisinde gerçekleştirilmiştir.

2.4.2. CO₂ Tutucu

Biyogazda bulunan H₂S ve CO₂'yi, gaz hattından uzaklaştırılması için derişik NaOH çözeltisi gaz tutucu olarak kullanılmıştır.



Gaz sayaçları, hattan geçen toplam gazı ölçmektedir. Oysaki BMP (Biyometan Potansiyeli Testi) testlerinde üretilen metan miktarının belirlenmesi toplam biyogaz miktarının belirlenmesinden daha önemlidir. Karbondioksiti ayırmak için pratik bir yöntem; biyogazı, NaOH çözeltisi gibi yüksek alkaliniteli bir çözeltilerden geçirmektir. Yüksek alkaliniteli çözeltilerde H⁺ iyonları tüketileceği için, Denklem 1 sağa kayacaktır. Dolayısı ile biyogaz derişik NaOH çözeltilisinden geçirildiğinde, karbondioksit çözelti tarafından karbonat formunda absorblanır.



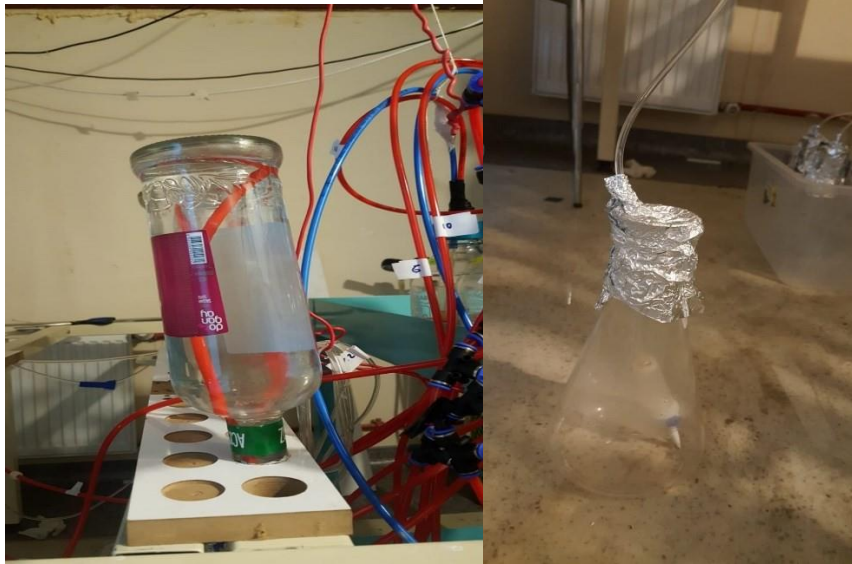
Gaz sınırlamasını kullanılmasındaki temel amaç CO₂'i tutmaktır. Biyogazın içerisinde bulunan H₂S'de bu düzenek ile tutulacaktır. Şekil 2.5.'de görüleceği üzere pH'ya bağlı olarak sülfür türlerinin göstermiş olduğu dağılım yer almaktadır. H₂S'e kıyasla HS⁻ ve S²⁻'in suda

çözünürlüğü yüksektir. Bu durum doğrultusunda derişik NaOH çözeltilisinden geçen biyogazda ki H₂S'i absorbe edecektir.

2.4.3. Gazölçer

Gaz hacmi, sıvı yer değiştirme prensibine göre yapılmıştır. Bu amaçla, Şekil 2.6.'da gösterilen gazölçer Şişeleri hazırlanmıştır. Sızdırmazlık testleri yapılmış olan gazölçer Şişeleri su ile doldurulmuştur. Bu Şişelerin boru bağlantıları; reaktörlerden CO₂ tutucuya, CO₂ tutucudan Şekil 2.6.'da gösterilen gazölçerlere bağlanmıştır. Gazölçerlerin çalışma prensibi kısaca şu şekildedir:

Gazölçer kapağında iki delik bulunmaktadır. Bu deliklerden birisinden hortum diğerinden ise intraket ucu (damaryolu iğnesi) geçmektedir. Gazölçer üzerindeki hortum CO₂ tutucudan gazölçerin dip kısmına kadar uzanmaktadır. Gazölçer içersindeki suyun gaz hattına kaçmasını engellemek için, gaz hattından gelen hortum su seviyesinin üstünde kalacak şekilde uzatılmıştır. İntraket (damaryolu iğnesi) bağlantısı ise suyun dışarı çıkmasına yardımcı olur. Ters bir şekilde duran bu Şişelerin dip kısmında biriken CH₄ gazı suyu yavaş yavaş ittirerek, suyun dışarı çıkmasını ve Şişe içerisinde gaz birikmesini sağlayacaktır. Dışarı çıkan su, bir kap içerisinde birikecek ve biriken su her gün düzenli olarak tartılacaktır. Bu tartım sonucunda ölçülen miktar bize günlük CH₄ gazı miktarını verecektir.



Şekil 2.5. Gazölçer Şişeleri

2.4.4. Ön-Muamele

Ön muamele işleminde, eşdeğer alkalinite içeren üç tekrarlı iki reaktör seti oluşturulmuştur. 1. Reaktör setindeki şişelerin içerikleri 14,71 mL VGS, 2,33 g BS ve 100 grama tamamlayana kadar üzerine saf su ilave edilerek hazırlanmıştır. 2. Reaktör setindeki şişelerin içerikleri 0,0932 g NaOH, 2,33g BS ve 100 grama tamamlayana kadar üzerine saf su ilave edilerek hazırlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan malzemeler, 120 saat süreyle 37 C°'de yaklaşık 43 rpm çalkalama hızıyla ön muamele edilmiştir. Ön muamele için belirlenen BS ve VGS miktarları, Bölüm 3'de hesaplanmıştır.

2.4.5. Biyokimyasal Metan Potansiyeli Testi

Reaktör olarak 1000 mL'lik GL45 kapaklı şişeler kullanılmıştır. Gaz çıkışı için, kapaklar aşağıda belirtilen Protokol 1'e göre hazırlanmıştır.

Çizelge 2.2'de içerikleri verilen reaktör setlerinden 1 numara deney; 2 numara kontrol grubudur. Her bir reaktör seti üç tekrarlı olarak çalıştırılmıştır.

Çizelge 2.2. Reaktör içerikleri

Reaktör Seti	Substrat	Ön Muamele		Aşı Çamuru
		Süresi	Alkalinite Kaynağı	
1	Buğday samanı	120'	Van Gölü suyu	Var
2	Buğday samanı	120'	NaOH	Var

Reaktör şişe içerikleri miktarları 3 numaralı konu başlığında bulunan alt başlıklarda hesaplanarak bulunmuştur. 2 adet 3 tekrarlı reaktör setleri oluşturulmuştur.

1. Reaktör seti içerisinde, Aşı Çamuru (140,85g), Van Gölü suyu (14,71g) ile ön muamele edilmiş Buğday samanı (2,33g) ve 600g'a tamamlanana kadar saf su ilavesi bulunmaktadır.
2. Reaktör seti içerisinde, Aşı Çamuru (140,85g), NaOH (0.0932g) ile ön muamele edilmiş Buğday samanı (2,33g) ve 600g'a tamamlanana kadar saf su ilavesi bulunmaktadır.

Hazırlanan reaktörler, inkübasyon odasında bulunan çalkalayıcı (yaklaşık 60 rpm) üzerine yerleştirilip, reaktörler ve gaz hattı Protokol 2'ye göre oksijensizleştirilmiştir. Ardından

reaktörler gaz ölçüm düzeneklerine bağlanmıştır. Deneyin başlamasıyla birlikte üretilecek gaz gerçek zamanlı manuel ölçülerek, bilgisayara veri girişleri yapılmıştır.

2.4.5.1. Protokol 1 (Reaktör Kapaklarının Hazırlanışı):

- H₂S korozyonuna karşı önlem olarak kullanılacak kapak, nipel ve somunlar plastik malzemelerden seçilir.
- GL45 kapaklara, gaz girişi ve çıkışı için, takılacak nipellere uygun çapta iki delik açılır.
- Deliklere, takılacak nipellere uygun ölçüde yiv (diş) açılır.
- Kapakların silikonla temas edecek yüzeyleri, yüzey aktivasyonu için, zımparalanır.
- Nipellere conta olarak silikon sıkıldıktan sonra, kapaktaki deliklere montajı yapılır.
- Sızdırmazlığı güçlendirmek için içerden ve dışarıdan nipel çevresine silikon sıkılır.
- Nipellerin kapak içinde kalan kısmına somun takılır.
- Sızdırmazlığı güçlendirmek için, somunların çevresine bir kat daha silikon sıkılır.

Sızdırmazlık testi:

- Bir şişenin içerisine, basınç birikimini hızlandırmak için, su doldurulur.
- Test edilecek kapak, o-ringle birlikte, şişeye takılır.
- Kompresöre bağlı bir hortumun açık ucu “Y” bağlantı parçası yardımıyla ikiye ayrılıp, her iki uç birden kapaktaki nipellerin ucuna bağlanır.
- Şişe, şeffaf bir kabın içerisindeki suya batırılır.
- Kapak ve nipeller su altında kalmasına dikkat edilir.
- Kompresörden test edilecek basınçta (1,0 mbar) hava basılır.
- Hava kabarcığı çıkarmayan kapak, sızdırmazlık testinden geçmiş kabul edilir.

2.4.5.2. Protokol 2 (Azot Gazıyla Yıkama İşlemi):

- Bu işlem, reaksiyon için gerekli diğer hazırlıklar yapıldıktan sonra, reaktör içerikleri tam, kapağı takılmış ve gaz sıyrıcıya bağlanmış reaktörlere uygulanır.
- Bir ucu azot tüpüne takılı olan hortum, reaktör kapağındaki gaz giriş hattına (nipel veya hortum) bağlanır.
- Azot tüpünün vanası, reaktör içeriklerini geri tepmeyecek bir basınca gelene kadar açılır.

- Azot tankının vanası kapatılıp, reaktörün gaz girişı kapatılarak ilgili hortum bağlantısı çıkarılır.
- Bu işlem bittiğinde reaksiyon süresi başlar.



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Buğday Samanı ve Aşı Çamurunun Karakterizasyonu

Tarımsal bir atık olan buğday samanının ve hayvan dışkısının karakterizasyonunun belirlenmesinde; toplam katı madde (TKM), toplam uçucu katı madde (TUKM) analizleri yapılmıştır. Analizlerin matematiksel hesabı yapılmış ve karakterizasyon sonuçları Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Buğday samanı ve Aşı çamuru (AÇ) karakterizasyonu matematiksel hesabı;

$$\text{Toplam Katı Madde (BS)} = (27,9307 - 27,0686) \text{ g}$$

$$\text{Toplam Katı Madde (BS)} = (0,8621) \text{ g}$$

$$\text{Toplam Katı Madde Oranı} = \frac{27,9307 \text{ g} - 27,0686 \text{ g}}{27,9809 \text{ g} - 27,0686 \text{ g}} = 0,945$$

$$\text{Uçucu Katı Madde (BS)} = (27,9307 - 27,1474) \text{ g}$$

$$\text{Uçucu Katı Madde (BS)} = 0,7833 \text{ g}$$

$$\text{Uçucu Katı Madde Oranı} = \frac{27,9307 \text{ g} - 27,1474 \text{ g}}{27,9809 \text{ g} - 27,0686 \text{ g}} = 0,8586$$

$$\text{Toplam Katı Madde (AÇ)} = (35,0094 - 31,6855) \text{ g}$$

$$\text{Toplam Katı Madde (AÇ)} = 3,3239 \text{ g}$$

$$\text{Toplam Katı Madde Oranı} = \frac{35,0094 \text{ g} - 31,6855 \text{ g}}{71,7085 \text{ g} - 31,6855 \text{ g}} = 0,08305$$

$$\text{Uçucu Katı Madde (AÇ)} = (35,0094 - 32,1568) \text{ g}$$

$$\text{Uçucu Katı Madde (AÇ)} = 2,8526 \text{ g}$$

$$\text{Uçucu Katı Madde Oranı} = \frac{35,0094 \text{ g} - 32,1568 \text{ g}}{71,7085 \text{ g} - 31,6855 \text{ g}}$$

= 0,07127



Çizelge 3.1. Buğday samanı ve aşı çamuru karakterizasyon sonuçları

Kullanılan Maddeler	Toplam Katı Madde (g)	Uçucu Katı Madde (g)
Buğday samanı	0,8621	0,7833
Aşı çamuru	3,3239	2,8526

Van Gölü suyunun alkalinite hesabını yapmak için önceden titrasyon yapılmış ve 39,6 mL H₂SO₄ çözeltisi harcanmıştır.

$$\text{VGS alkalitesi} = \frac{39 \text{ mL H}_2\text{SO}_4 \text{ çöz} \cdot \frac{0,2 \text{ mol NaOH}}{1000 \text{ mL H}_2\text{SO}_4 \text{ çöz}} \cdot \frac{40 \text{ g NaOH}_{\text{esdeğeri}}}{1 \text{ mol NaOH}}}{50 \text{ mL VGS}}$$

$$=0,006336 \text{ g NaOH /mL VGS}$$

$$\text{Alk}_{\text{BS}} = 2,33 \text{ g} \times \frac{0,80 \text{ g NaOH}}{20 \text{ g BS}}$$

$$\text{A}_{\text{BS}} = 0,0932 \text{ g NaOH}$$

3.2. Reaktör İçerikleri

Yukarıda TKM ve TUKM tayini sonuçları ile hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda çıkan TUKM oranı ile reaktör içerisine koyulması gereken buğday samanı ve aşı çamuru miktarı aşağıdaki hesaplamalar yapılarak bulunmuştur.

$\frac{M}{F} = \frac{5}{1}$, TUKM (reaktör içeriği) oranı %2 (w/w) ve 600g olarak belirlenen reaktör şişe içeriği miktarı ile hesaplamalar yapılmıştır.

Dolayısıyla her bir reaktöre konulacak reaktör içeriği:

$$\text{TUKM}_{\text{reaktör içeriği}} = 600 \text{g Reaktör şişesi içeriği} \times \%2 \text{ (w/w)} = 12 \text{ g}$$

olarak bulunmuştur.

Herbir reaktör şişe içeriğinin TUKM'sinin 5 birimi (b) mikroorganizmadan, 1 birimi (b) substrattan gelecek şekilde reaktör içerikleri hazırlanacaktır.

Reaktör içerisinde bulunması gereken TUKM_{top} aşağıdaki hesap yapılarak bulunmuştur.

$$\text{TUKM}_{\text{top}} = \text{TUKM}_{\text{oranı}} \times \text{Reaktör şişe içeriği miktarı}$$

$$\text{TUKM}_{\text{top}} = \frac{2}{100} \times 600 \text{ g} = 12 \text{ g}$$

$$\text{TUKM}_{\text{reak}} = 5b_{\text{AÇ}} + 1b_{\text{BS}} = 6b$$

$$\text{Birim}(b) = \frac{\text{TUKM}_{\text{top}}}{\text{TUKM}_{\text{reak}}}$$

$$\text{Birim}(b) = \frac{12 \text{ g}}{6} = 2 \text{ g}$$

$$\text{TUKM}_{\text{reak, AÇ}} = 5 \times 2 \text{ g} = 10 \text{ g}$$

$$\text{TUKM}_{\text{reak, BS}} = 1 \times 2 \text{ g} = 2 \text{ g}$$

12 g TUKM' nin 10 g aşı çamurundan ($\text{TUKM}_{\text{AÇ}}$), 2 g da buğday samanından (TUKM_{BS}) gelecektir.

$$\text{Buğday samanı (BS)} \times \frac{85,86 \text{ TUKM}_{\text{BS}}}{100 \text{ g BS}} = 2 \text{ g TUKM}_{\text{BS}}$$

$$\text{BS} = 2,3294 \text{ g}$$

$$\text{Aşı çamuru (AÇ)} \times \frac{7,1 \text{ g TUKM}_{\text{AÇ}}}{100 \text{ g AÇ}} = 10 \text{ g TUKM}_{\text{AÇ}}$$

$$\text{Aşı Çamuru} = 140,85 \text{ g}$$

Her bir reaktörün içerisinde bulunan BS'nin ön muamelesi için gerekli olan VGS miktarının hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$\text{VGS}_{\text{reak}} = 0,0932 \text{ g NaOH} \cdot \frac{1}{0,006336} \cdot \frac{\text{mL VGS}}{\text{g NaOH}} = 14,71 \text{ ml VGS}$$

3.3. NaOH ve Van Gölü Suyu ile Ön Muamelenin Sonuçları

3.3.1. NaOH ve Van Gölü Suyu ile Ön Muamelenin pH Üzerine Etkileri

Van Gölü suyu ile yapılan ön muamele işleminin öncesi ve sonrası ölçülen pH değerleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Aynı katı madde miktarı (g), reaksiyon süresi (saat), Van Gölü Suyu miktarı ve reaksiyon sıcaklığı (°C) koşullarında ön muameleye maruz bırakılan sulu buğday samanının pH değerleri ön muameleden sonra mikroorganizmaların faaliyet gösterebileceği değere geldiği gözlemlenmiştir. 37°C reaksiyon sıcaklığı, 14,71 mL Van Gölü suyu, %2,33 Buğday samanı, 120 saat reaksiyon süresi koşullarında ön muamele işlemi başlangıç pH değeri 9,75-9,80 aralığında iken 120 saat sonunda ölçülen pH değerleri 7,53-7,65 aralığında ölçülmüştür.

NaOH ile yapılan ön muamele işleminin öncesi ve sonrası ölçülen pH değerleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Aynı katı madde miktarı (g), reaksiyon süresi (saat), NaOH konsantrasyonu (%) ve reaksiyon sıcaklığı (°C) koşullarında ön muameleye maruz bırakılan sulu buğday samanının pH değerleri ön muameleden sonra mikroorganizmaların faaliyet gösterebileceği değere geldiği gözlemlenmiştir. 37°C reaksiyon sıcaklığı %0,9 NaOH konsantrasyonu, %2,33 Buğday samanı, 120 saat reaksiyon süresi koşullarında ön muamele işlemi başlangıç pH değeri 11,74-12,30 aralığında iken 120 saat sonunda ölçülen pH değerleri 7,48-7,55 aralığında ölçülmüştür.

Dolayısıyla, reaktör içerikleri hazırlanırken, pH dengelemesi yapmak gerekmemiştir.

Çizelge 3.2. Buğday samanının NaOH ve Van Gölü suyu ile ön muamelesi öncesi ve sonrası pH sonuçları

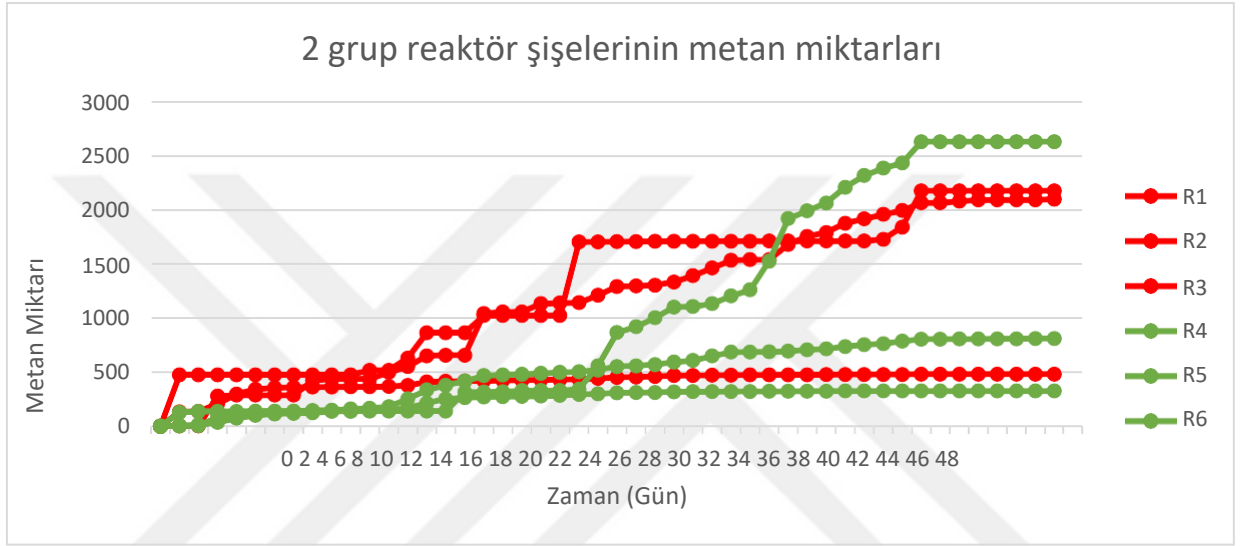
Reaktörler	Ön Muamele	pH	
		Başlangıç	Ön Muamele Sonrası
R1	Van Gölü Suyu	9,80	7,65
R2	Van Gölü Suyu	9,78	7,59
R3	Van Gölü Suyu	9,75	7,53
R4	NaOH	12,30	7,55
R5	NaOH	11,74	7,48
R6	NaOH	12,22	7,52

3.3.2. Biyokimyasal Metan Potansiyeli Testleri

Buğday samanı ön muamele işlemi reaktör şişeleri içinde gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin sonunda reaktör şişelerine aşı çamuru (140,85 g) ve 600 grama kadar saf su ilavesi yapılmıştır.

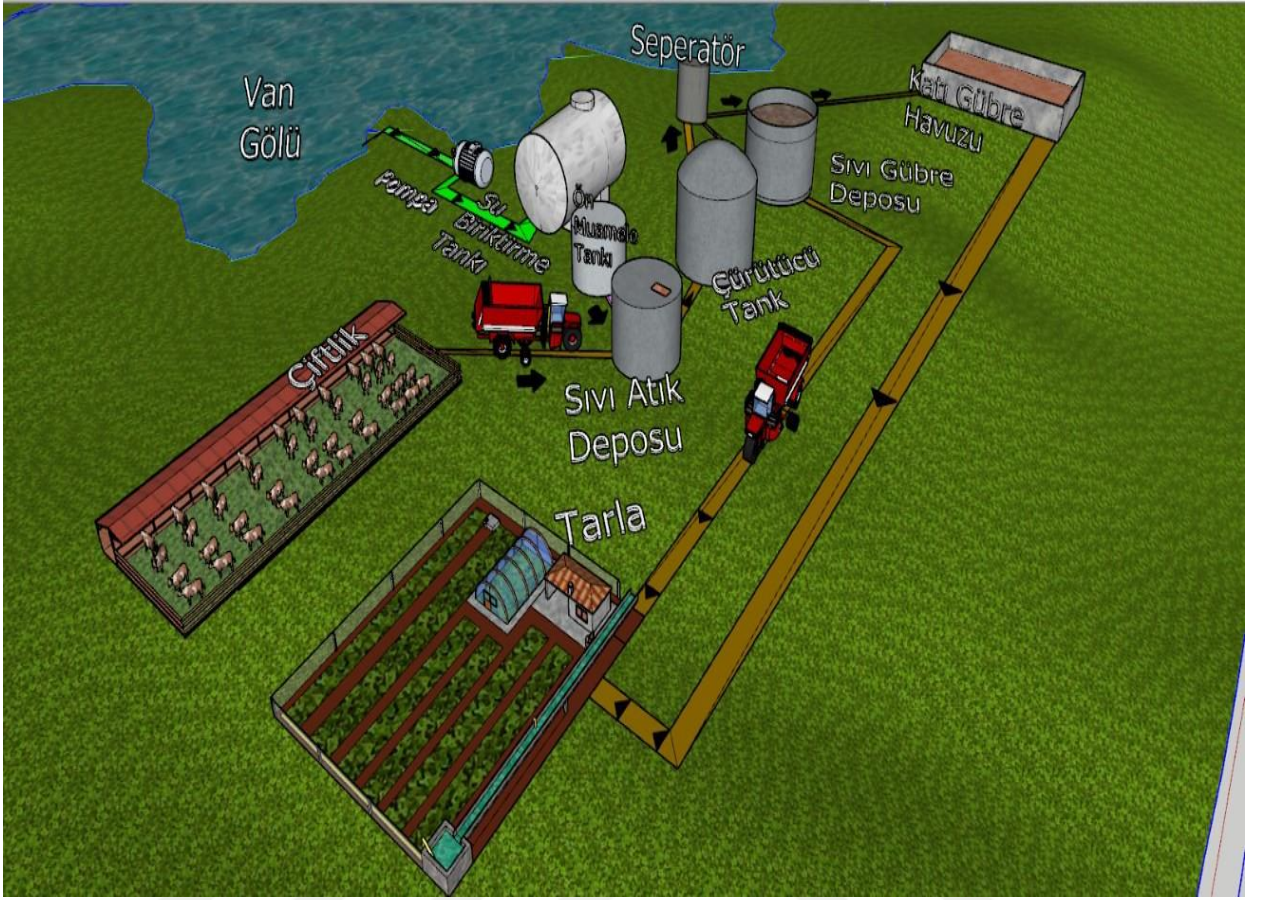
Daha sonra reaktör şişeleri CO₂ tutucuya bağlanmış ve azot gazı ile reaktör şişe içerikleri yıkanmıştır. Yıkama işleminden sonra CO₂ tutucudan gazölçer şişelerine bağlantı yapılmış ve BMP testi başlatılmıştır.

Bu iki ön muameleli olduğu BMP değerleri mL Metan olarak olarak belirlenmiştir. Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi Van Gölü suyu ile ön muamelesi yapılmış buğday samanının, NaOH ile ön muamelesi yapılmış buğday samanına kıyasla daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. (R1, R2, R3 VGS Ön Muamele- R4, R5, R6 NaOH Ön Muamele)



Şekil 3.1. 2 set (3 tekrarlı) reaktör şişelerinin metan miktarları

Model olarak tasarlanmış, aşağıda görseli bulunan (Şekil 3.2.) biyogaz tesisinin yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.2. Çalışma bulguları ile kurulabileceği ön görülen tesis prototipi

Tesis tasarımı aşağıdaki varsayım ve kabullenimlere göre yapılmıştır:

- Ortalama hayvan ağırlığı 600 kilogramdır (Tarım ve Orman, 2019).
- 200 besi sığırının dışkısı kullanılacaktır.
- Ortalama bir sığır her gün ağırlığının yaklaşık %8'i kadar dışkı üretmektedir (Tarım ve Orman, 2019).
- Buğday samanının C/N oranı 127/1'dir (Rynk vd., 1992).
- Sığır dışkısında C/N oranı 14,35/1'dir. Bu oran, Palma (2019)'nın derlemesinde besi çiftliği altı dışkılarının C/N oranlarının ortalaması alınarak bulunmuştur.
- Tasarım için esas alınan subturat C/N oranı 25/1'dir.
- Ön muamele için gerekli NaOH 0,0932 g ve VGS 2309517,98 L/yıl

Toplam dışkı üretim oranı= 600 kg/adet hayvan x 0.08 dışkı/gün x 200 adet hayvan
=9600 kg dışkı/gün

$$\text{Reaktör içeriğindeki C/N oranı} = \frac{d \cdot 14,35 + b \cdot 127}{d + b} = \frac{25}{1}$$

d= Dışkı kütlesi; b= BS kütlesi

$$\text{Birim dışkı için gereken buğday samanı katkısı} = \frac{b}{d} = \frac{1}{9,577} = 0,1044 \frac{\text{kg buğday samanı}}{\text{kg dışkı}}$$

$$\begin{aligned} \text{Buğday ihtiyacı} &= 0,1044 \frac{\text{kg buğday samanı}}{\text{kg dışkı}} \times 9600 \frac{\text{kg dışkı}}{\text{gün}} \\ &= 1002,24 \text{ kg buğday samanı/gün} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Buğday samanı ihtiyacı (yıllık)} &= 1002,24 \text{ kg} \frac{\text{Buğday samanı}}{\text{gün}} \times \frac{365 \text{ gün}}{\text{yıl}} \\ &= 365817,6 \text{ kg buğday samanı/yıl} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Yıllık harcanacak NaOH ihtiyacı} &= 365817,6 \text{ kg BS/yıl} \times \frac{0,0932 \text{ g NaOH} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}}{2,33 \text{ g BS} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}} \\ &= 14632,704 \text{ kg NaOH/yıl} \end{aligned}$$

$$= 14632,704 \text{ kg} \frac{\text{NaOH}}{\text{yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 14,632 \text{ ton NaOH/yıl} \cong 15 \text{ ton NaOH/yıl}$$

$$\text{Yıllık NaOH maliyeti} = 1200 \text{ €} \times 15 \text{ ton} \frac{\text{NaOH}}{\text{yıl}} =$$

18000€ (Ton fiyatı Kimya Borsasından alınmıştır.) Bkz. Ek-4

$$\begin{aligned} \text{Van Gölü suyu tüketim debisi} &= 365817,6 \text{ kg BS/yıl} \times \frac{14,71 \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}}{2,33 \text{ g BS} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000}} \\ &= 2309517,98 \text{ L Van Gölü suyu/yıl} \\ &\cong 2310 \text{ m}^3 \text{ VGS/yıl} = 263,7 \text{ L VGS/saat} = 4,4 \text{ L VGS/dk} \end{aligned}$$

Biyogaz tesisinde Ek-8'deki pompa katalogundan KS-12 model seçilmiştir. Pompanın ve diğer yatırım maliyetlerinin olduğu fiyat listesi Ek-1'de verilmiştir.



VGS pompalama debisi Ek-3, Ek-5, Ek-6, Ek-7'deki yük kayıpları hesaplanarak belirlenmiştir. En uygun pompalama Ek-7'de yük kaybı hesabının yapıldığı debi (1,9 m³/saat) miktarı seçilmiştir.

Tesiste kullanılmak pompanın elektrik maliyeti hesabı tarımsal faaliyetler için kullanılan elektrik tüketim fiyatından Ek-2'de yola çıkılarak hesaplanmıştır. Pompanın yıllık elektrik sarfiyatı ve fiyatlandırılması aşağıdaki hesapla belirlenmiştir.

$$\text{Pompanın Yıllık Çalışma Süresi} = 2310 \text{ m}^3 \text{ VGS} \cdot \frac{\text{saat}}{1,9 \text{ m}^3} = 1215,79 \text{ saat}$$

$$\text{Pompanın Enerjisi} = 1,5 \text{ kW} \cdot 1215,79 \text{ saat} = 1823,685 \text{ kWsaat}$$

$$\text{Yıllık Elektrik Maliyeti} = 1823,658 \text{ kWsaat} \cdot 0,63 \text{ TL/kWsaat} = 1148,92 \text{ TL}$$

Çizelge 3.3. Biyogaz tesisinin yatırım ve işletme maliyetleri

	NaOH	VGS	Değerlendirme
Yatırım Maliyeti	Karıştırıcı maliyeti	Karıştırıcı maliyeti	Aynı olduğu için karşılaştırma hesabı yapılmamıştır.
	Havuz imalatı	Havuz imalatı	
	Pompa (Su)	Pompa (Su)	
	Genel teçhizat	Genel teçhizat	
	NaOH depolama maliyeti hesaba katılmamıştır.	VGS getirme borusu (2.154 TL) ve pompası(1.600 TL), VGS deposu (4.000TL), vb.	Maliyet hesabı yapılmış ve Ek-1’de sunulmuştur.
	İşletme Maliyeti	NaOH temini (115.560 TL)	VGS pompa enerjisi (1.148,92 TL)
Dozlama maliyeti		Dozlama maliyeti	Hesaba katılmamıştır.
Su pompalama enerjisi		Su pompalama enerjisi	Aynı olduğu için karşılaştırma hesabı yapılmamıştır.
Karıştırma elektriği		Karıştırma elektriği	
BS temini		BS temini	
Genel giderler		Genel giderler	

Biyogaz tesisinde bulunan ön muamele havuzuna Van Gölü suyunun gelebilmesi için pompa kullanılması gerekmektedir. Yukarıda hesaplanan Van Gölü suyu tüketim oranına göre uygun pompa seçimi yapıлып, özellikleri Ek-8’de verilmiştir. Diğer gerekli malzemelerin seçimleri yapıлып, Ek-1’de adet ve fiyatları ile birlikte verilmiştir.

Van Gölü suyunu tesise ulaştırmak için kullanılan pompanın elektrik haraması da Ek-2’de verilmiştir.

Tesisin yatırım ve işletme maliyet kalemleri Çizelge 3.3.’te verilmiştir. VGS ve NaOH kullanımı için ortak olan maliyet kalemleri hesaplamaya dâhil edilmemiştir.

Yatırım maliyeti kısmında benzer olmayan VGS getirme borusu maliyeti Bkz. Ek-1’de verilmiştir.

İşletme maliyeti kısmı incelendiği zaman, benzer olmayan NaOH temini ve VGS pompa enerjisi maliyeti hesaplamaları yapılmıştır. NaOH maliyeti 115.560 TL iken VGS maliyeti yıllık 5.461,91 TL olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar incelendiğinde ve ekonomik bir değerlendirme

yapıldığında, biyogaz tesisinde NaOH kullanımının ciddi maliyetlere neden olduğu görülmüştür. Biyogaz tesisinin ön muamele safhasında NaOH ile ön muameleye alternatif olarak VGS ile ön muamele işlemi yapılırsa tesisin yatırım maliyetini ilk yılda fazlasıyla amorti edecektir. Her iki yöntem arasındaki yüksek maliyet farkı, yeni tesis kuracak işletmerin, ön muamele yapılıp yapılmaması kararını, yapılması yönünde etkileyebilecektir.



4. SONUÇ

Fosil yakıtların enerji tüketimindeki yeri büyük paya sahiptir. Fosil yakıtların yakın gelecekte büyük bir kısmı tükenecektir. Dünyada ve ülkemizdeki hızlı nüfus artışı ile birlikte atık miktarında da hızlı bir artış olacaktır. Bütün bu olumsuzlukların getireceği tek olumlu sonuç insanların yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle enerjisine yönelmesi olacaktır. Biyogaz teknolojisi temiz teknoloji olarak da adlandırabileceğimiz anaerobik çürütme ile meydana gelen bir teknoloji olarak nitelendirilmektedir.

Biyogaz üretiminde kullanılan substratlardan sindirimi zor olan lignoselülozik materyaller reaktör performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bunların sindirimini kolaylaştırarak reaktör performansını arttırmak amacıyla çeşitli ön muamele yöntemleri uygulanır. Bu yöntemlerden biri olan alkali metotta, biyokütle (substrat), NaOH gibi bazik bir çözelti ile ön muamele işlemine tabi tutulur. Bu çalışmada, ön muamele işleminin stabil bir şekilde gerçekleşmesi için inkübatöre yerleştirilen substratlar belirlenen temas süresinde NaOH ve Van Gölü suyuna maruz bırakılmıştır. Bu yöntem daha çok yapısında yoğun lignin içeren hammaddeler için kullanılır.

Yukarıda belirtilen alkali metotta, NaOH ile ön muamele, etkin ve ekonomik bir yöntem olarak ön plana çıkmaktadır. Bu durum, önerilen tez çalışmasının, alkali metotla yapılacak olmasının önemli sebebidir.

Lignoselülozik materyal olarak bölgede temini kolay ve bol bulunan buğday samanı tercih edilmiştir. Van Gölü suyunun, yüksek alkali özelliğe sahip olması nedeni ile NaOH'a alternatif olarak kullanılabilirliği bu kapsamda incelenmiştir. Ön muamele işleminde, buğday samanı beş gün boyunca NaOH'a ve Van Gölü suyuna maruz bırakılmış ve ardından aşı çamuru ile birleştirilerek biyogaz çıkışı sonlanana kadar izlenmiştir. Çıkan gaz miktarları R1= 2094,50 mL CH₄, R2= 2171,97 mL CH₄, R3= 481,22 mL CH₄, R4= 325,66 mL CH₄, R5= 2623,81 mL CH₄, R6= 809,69 mL CH₄ olarak kaydedilmiştir.

Verilere göre Van Gölü suyu, beklendiği gibi NaOH'a yakın bir performans sergilemiştir.

Bu çalışmada ayrıca ekonomik değerlendirme yapılmıştır. Varsayım yapılarak oluşturulmuş biyogaz tesisinin yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar incelendiğinde biyogaz üretimi için lignoselülozik bir substrat olan buğday samanının ön muamelesinde Van Gölü suyunun NaOH yerine kullanılmasının ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

5. KAYNAKLAR

- Al Seadi, T. (Editörler). 2008. Biogas handbook. Published by University of Southern Denmark Esbjerg, 23-26.
- Alizadeh H, Teymouri F, Gilbert TI, Dale BE, 2005. Pretreatment of switchgrass by ammonia fiber explosion (AFEX) Appl. Biochem. Biotechnol., 124:1133–41.
- Anonim 2014. Ziraat Mühendisleri Odası, Buğday Dosyası.
http://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=23218&tipi=17&sube=0 (Erişim tarihi: 12.07.2019).
- Baysal Z, 2014. Aydın Ekolojik Koşullarında Çinko Uygulamasının Buğday'ın(*Triticum aestivum* L.) Tane Verimi ve Kalitesi Üzerinde Etkisi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,59, Aydın.
- Baytekin H, 2013. Bitkisel Üretimde Çiftlik Gübresi ve Biyogaz Kompostu Kullanımının Yaygınlaştırılması. Çanakkale Onsekiz Mart Ziraat Fakültesi dergisi, 10-18.
- Beccari M, Majone M, Papini MP, Torrisi L, 2001. Enhancement of anaerobic treatability of olive oil mill effluents by addition of Ca(OH)₂ and bentonite without intermediate solid/liquid separation. Water Sci. Technol., 43:275–282.
- Boussaid A, Robinson J, Cai YJ, Gregg DJ, Saddler JR, (2001). Fermentability of the hemicellulose-derived sugars from steam-exploded softwood (Douglas fir) Biotechnol. Bioeng., 64:284–289.
- Chandra R, Bura R, Mabee W, Berlin A, Pan X, Saddler J, 2007. Substrate pretreatment: The key to effective enzymatic hydrolysis of lignocellulosics Adv. Biochem. Eng. Biotechnol., 108:67–93.
- Chandra R, Takeuchi H, Hasegawa T, 2012. Methane Production From Lignocellulosic Agricultural Crop Wastes: A Review in Context to Second Generation of Biofuel Production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(3), 1462-1476
- Chu CP, Lee DJ, Chang BV, You CS, Tay JH, 2002. Weak ultrasonic pre-treatment on anaerobic digestion of flocculated activated biosolids. Water Res., 36:2681–2688.
- Chundawat SP, Venkatesh B, Dale BE, 2007. Effect of particle size based separation of milled corn stover on AFEX pretreatment and enzymatic digestibility. Biotechnol. Bioeng., 96:219–231.
- Chum HL, Douglas LJ, Feinberg DA, Schroeder HA, 1985. Evaluation of pretreatments of biomass for enzymatic hydrolysis of cellulose. Solar Energy Research Institute; Golden, Colorado, 1–64.

- Cui R, Jahng D, 2006. Enhanced methane production from anaerobic digestion of disintegrated and deproteinized excess sludge. *Biotechnol. Lett.*, 28:531–538.
- Curreli N, Fadda MB, Rescigno A, Rinaldi AC, Soddu G, Sollai F, Vaccargiu S, Sanjust E, Rinaldi A, 1997. Mild alkaline/oxidative pretreatment of wheat straw. *Process Biochem.*, 32:665–670.
- Comino E, Riggio VA, Rosso M, 2012. Biogas production by anaerobic co-digestion of cattle slurry and cheese whey. *Bioresour. Technol.* vol., 114:46–53
- Conde MC, Jiménez-Gutiérrez A, ElHalwagi M, 2012. A Comparison of Pretreatment Methods for Bioethanol Production from Lignocellulosic Materials, *Process. Saf. Environ.*, 90, 189-202
- Dirkse E, 2007. Biogas Upgrading Using the Carborex PWS Technology. *DMT Environmental Technology*, 5-14.
- Donghai S, Junshe S, Ping L, Yanping L, 2006. Effects of different pretreatment modes on the enzymatic digestibility of corn leaf and corn stalk. *Chinese J. Chem. Eng.*, 14:796–801.
- Eggeman T, Elander RT, 2005. Process and economic analysis of pretreatment technologies. *Bioresource Technol.*, 96:2019–2025.
- Ekinci M, 2007. Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretimi İçin En Uygun Koşulların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 31-32.
- Fan LT, Lee Y, Beardmore DH, 1980. Mechanism of the enzymatic hydrolysis of cellulose: Effects of major structural features of cellulose on enzymatic hydrolysis. *Biotechnol. Bioeng.*, 22:177–199.
- Fatma Ç, 2011. Biyogaz Önemi Genel Durumu ve Türkiye’deki Yeri. *Kocaeli Üniversitesi Makina Mühendisliği dergisi*, 52-106.
- Galbe M, Zacchi G, 2012. Pretreatment: The Key to Efficient Utilization of Lignocellulosic Materials, *Biomass Bioenerg*, 46, 70-78
- Garrote G, Dominguez H, Parajo JC, 1999. Hydrothermal processing of lignocellulosic materials. *Holz Als Roh-und Werkst.*, 57:191–202.
- Gökçen A, 2012. Yukarı Akışlı Çamur Yataklı Anaerobik Reaktörde (yaçyar) Peynir Altı Suyunun Arıtılabilmesi ve Biyogaz Üretimi İçin En Uygun Ön Arıtım Yöntemi ve Koşullarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 14-75.
- Grethelin HE, 1985. The effect of pore size distribution on the rate of enzymatic hydrolysis of cellulosic substrates. *Biotechnol.*, 3:155–160.
- Harasimowicza M, Orlukb P, Zakrzewska G, Chmielewsk A, 2007. Application of polyimide

- membranes for biogas purification and enrichment. Institute of Nuclear Chemistry and Technology, 698-702.
- He PJ, 2010. Anaerobic digestion: an intriguing long history in China. *Waste Management*, 30(4):549–50.
- Holtzapple MT, Jun JH, Ashok G, Patibandla SL, Dale BE, 1991. The ammonia freeze explosion (AFEX) process – A practical lignocellulose pretreatment. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 28:59–74.
- Itoh H, Wada M, Honda Y, Kuwahara M, Watanabe T, 2003. Bioorganosolve pretreatments for simultaneous saccharification and fermentation of beech wood by ethanolysis and white rot fungi. *J. Biotechnol.*, 103:273–280.
- İlker A, 2009. İnek gübresinden biyogaz üretim verimine termal kimyasal ve termokimyasal önışlemlerin etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 4-48.
- İlkiliç C, Deviren H, 2011. Biyogazın Oluşumunu Etkileyen Fiziksel Ve Kimyasal Parametreler. *Firat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi yayınları*, 123-128.
- Jones J, Semrau K, 1984. Wood hydrolysis for ethanol production previous experience and the economics of selected processes. *Biomass*, 5:109–135.
- Kang KE, Jeong GT, Sunwoo C, Park DH, 2012. Pretreatment of Rapeseed Straw by Soaking İn Aqueous Ammonia, *Bioprocess Biosyst. Eng*, 35: 77-84.
- Kassim EA, El-Shahed AS, 1986. Enzymatic and chemical hydrolysis of certain cellulosic materials. *Agr. Wastes*, 17:229–233.
- Kemaussuor F., Adaramola MS., Morken J., 2018. A Review of Commercial Biogas Systems and Lessons for Africa. *Energies*. 11; 1-21
- Lee YY, Iyer P, Torget RW, 1999. Dilute-acid hydrolysis of lignocellulosic biomass. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.*, 65:93–115.
- Mais U, Esteghlalian AR, Saddler JN, Mansfield SD, 2002. Enhancing the enzymatic hydrolysis of cellulosic materials using simultaneous ball milling. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 98:815–832.
- Mamar SAS, Hadjadj A, 1990. Radiation pretreatments of cellulose materials for the enhancement of enzymatic hydrolysis. *Radiat. Phys. Chem.*, 35:451–455
- McDermott BL, Chalmers AD, Goodwin JAS, 2001. Ultrasonication as a pre-treatment method for the enhancement of the psychrophilic anaerobic digestion of aquaculture effluents. *Environ. Technol.*, 22:823–830.
- Mielenz JR, 2013. *Biofuels: Methods And Protocols*, Springer New York Dordrecht Heidelberg

London, ISBN: 978-1-60761-214-8.

- Mooney CA, Mansfield SD, Touhy MG, Saddler JN, 1998. The effect of initial pore volume and lignin content on the enzymatic hydrolysis of softwoods. *Bioresource Technol.*, 64:113–119.
- Mosier N, Hendrickson R, Ho N, Sedlak M, Ladisch MR, 2005a. Optimization of pH controlled liquid hot water pretreatment of corn stover. *Bioresource Technol.*, 96:1986–1993.
- Mosier N, Wyman C, Dale B, Elander R, Lee YY, Holtzapple M, Ladisch M, 2005b. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technol.*, 96:673–686.
- Mosier NS, Hendrickson R, Brewer M, Ho N, Sedlak M, Dreshel R, Welch G, Dien BS, Aden A, Ladisch MR, 2005c. Industrial scale-up of pH-controlled liquid hot water pretreatment of corn fiber for fuel ethanol production. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 125:77–97.
- Muller CD, Abu-Orf M, Novak JT, 2007. Application of mechanical shear in an internal-recycle for the enhancement of mesophilic anaerobic digestion. *Water Environ. Res.*, 79:297–304.
- Namık A, 2008. Organik Katı Atıkların Biyometanizasyonu ile Enerji ve Organik Gübre Eldesini Öncelemek. *Bahçeşehir Üniversitesi Mühendisliği Mimarlık Fakültesi dergisi*, 364-380.
- Nasl B, Mutlu S, 2015. Büyükbaş Hayvan Dışkılarından Biyogaz Üreten Bir Reaktöre Peyniraltı Suyu Eklenmesinin Reaktörün Biyogaz Üretim Verimine Etkilerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*
- Nurgül Y, 2007. Peyniraltı suyundan sürekli sistemde biyogaz üretimi için en uygun koşulların belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 49-50
- Orhon D., Artan N., 1994. *Modeling of Activated Sludge Systems*. Lancaster, PA, Technomic Publishing Co. Inc., 589pp.
- Öztürk İ, 1999. Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları. *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Fakültesi dergisi*, 150-280
- Öztürk M, 2005. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi. *Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara*, 5-13.
- Palma C. F. 2019. Department of Chemical Engineering, Faculty of Science and Engineering, Thornton Science Park, University of Chester, Chester CH2 4NU, UK.
- Palmqvist E, Hahn-Hägerdal B. 2000. Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. II: Inhibitors and mechanisms of inhibition. *Bioresource Technol.*, 74:25–33.
- Palonen H, Thomsen AB, Tenkanen M, Schmidt AS, Viikari L, 2004. Evaluation of wet oxidation pretreatment for enzymatic hydrolysis of softwood. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 117:1–17.

- Pan X, Gilkes N, Kadla J, Pye K, Saka S, Gregg D, Ehara K, Xie D, Lam D, Saddler J, 2006. Bioconversion of hybrid poplar to ethanol and co-products using an organosolv fractionation process: optimization of process yields. *Biotechnol. Bioeng.*, 94:851–861.
- Rabelo SC, Filho RM, Costa AC, 2009. Lime Pretreatment of Sugarcane Bagasse for Bioethanol Production, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 153: 139–150.
- Ramos LP, Breuil C, Saddler JN, 1992. Comparison of steam pretreatment of eucalyptus, aspen, and spruce wood chips and their enzymic hydrolysis. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 37–48.
- Rolz C, de Arriola MC, Valladares J, de Cabrera S, 1986. Effects of some physical and chemical pretreatments on the composition and enzymatic hydrolysis and digestibility of lemon grass and citronella bagasse. *Agr. Wastes*, 18:145–161.
- Ruiz E, Cara C, Ballesteros M, Manzanares P, Ballesteros I, Castro E, 2006. Ethanol production from pretreated olive tree wood and sunflower stalks by an SSF process. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 129:631–643.
- Rynk R, Kamp GB, Willson ME, Singley TL, Richard JJ, Kolega FR, 1992. On-Farm composting handbook. (ed), 6-13, 106-113.
- Saha BC, Cotta MA, 2006. Ethanol production from alkaline peroxide pretreated enzymatically saccharified wheat straw. *Biotechnol. Progr.*, 22:449–453.
- Saha BC, 2003. Hemicellulose bioconversion. *Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 30:279–291.
- Saha BC, Iten LB, Cotta MA, Wu YV, 2005. Dilute acid pretreatment, enzymatic saccharification, and fermentation of rice hulls to ethanol. *Biotechnol. Progr.*, 21:816–822.
- Schmidt A, Thomsen A, 1998. Optimization of wet oxidation pretreatment of wheat straw. *Bioresource Technol.*, 64:139–151.
- Sims R, 2003. Biomass and resources bioenergy options for a cleaner environment in developed and developing countries. Elsevier Science; London, UK
- Sjöström E, 1993. Wood chemistry: fundamentals and applications. Academic Press; San Diego, USA
- Sun XF, Xu F, Sun RC, Fowler P, Bairdd MS, 2005. Characteristics of degraded cellulose obtained from steam-exploded wheat straw. *Carbohydr. Res.*, 340:97–106.
- Sun XF, Xu F, Sun RC, Wang YX, Fowler P, Baird MS, 2004. Characteristics of degraded lignins obtained from steam exploded wheat straw. *Polym. Degrad. Stabil.*, 86:245–256.
- Sun Y, Cheng J, 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. *Bioresource Technol.*, 83:1–11.
- Taherzadeh MJ, Karimi K., 1999. Ethanol from lignocellulose: physiological effects of inhibitors

- and fermentation strategies. Ph.D thesis in Biotechnology, Chemical Reaction Engineering, Chalmers University of Technology.
- Taherzadeh MJ, Karimi K, 2007a. Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: A review. *BioResources*, 2:472–499.
- Taherzadeh MJ, Karimi K, 2007b. Enzymatic-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: A review. *BioResources*, 2:707–738.
- Talebnia F, Karakashev D, Angelidaki I, 2010. Production of Bioethanol from Wheat Straw: An Overview on Pretreatment, Hydrolysis and Fermentation, *Bioresource Technol.*, 101, 4744- 4753
- Talebnia F, Bafrani MP, Lundin M, Taherzadeh MJ, 2008. Optimization study of citrus wastes saccharification by dilute acid hydrolysis. *Bio Resources*, 3:108–122.
- Tarım ve Orman 2019. Büyükbaş Hayvan Yetiştiriciliği.
https://www.tarimorman.gov.tr/HAYGEM/Belgeler/Hayvanc%C4%B1k/B%C3%BCy%C3%BCkba%C5%9F%20Hayvanc%C4%B1k/2019%20Y%C4%B1%C4%B1/Buyukbas_Hayvan_Yetistiriciligi.pdf (Erişim tarihi: 29.09.2019).
- Tassinari T, Macy C, 1977. Differential speed two roll mill pretreatment of cellulosic materials for enzymatic hydrolysis. *Biotechnol. Bioeng.*, 19:1321–1330.
- Topal M, Topal E, 2008. Biyokütle Enerjisi ve Türkiye, 1-2
- Torget R, Himmel ME, Grohmann K, 1991. Dilute sulfuric acid pretreatment of hardwood bark. *Bioresource Technol.* 35:239–246.
- Varga E, Reczey K, Zacchi G, 2004. Optimization of steam pretreatment of corn stover to enhance enzymatic digestibility. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 113:509–523.
- Vidal PF, Molinier J, 1988. Ozonolysis of Lignin – Improvement of in vitro digestibility of poplar sawdust. *Biomass.*, 16:1–17.
- Wang F, Wang Y, Ji M, 2005. Mechanisms and kinetics models for ultrasonic waste activated sludge disintegration. *J. Hazard. Mater*, 123:145–150.
- Wang QH, Kuninobu M, Ogawa HI, Kato Y, 1999. Degradation of volatile fatty acids in highly efficient anaerobic digestion. *Biomass Bioenerg.*, 16:407–416.
- Wyman CE, 1996. Handbook on bioethanol: production and utilization. Taylor & Francis; Washington DC, USA.
- Wu L, Arakane M, Ike M, Wada M, Takai T, Gau M, Tokuyasu K, 2011. Low Temperature Alkali Pretreatment for Improving Enzymatic Digestibility of Sweet Sorghum Bagasse for Ethanol Production”, *Bioresource Technol.*, 102, 4793-4799
- Xu Z, Wang Q, Jiang Z, Yang X-X, Ji Y, 2007. Enzymatic hydrolysis of pretreated soybean straw.

- Biomass Bioenerg., 31:162–167.
- Yang B, Wyman CE, 2004. Effect of xylan and lignin removal by batch and flowthrough pretreatment on the enzymatic digestibility of corn stover cellulose. *Biotechnol. Bioeng.*, 86:88–95.
- Yenilenebilir Hammaddeler İhtisas Ajansı (2012). *Biyogaz Üretimi ve Kullanımı El Kitabı* (2010-2014). Ankara: Yenilenebilir Hammaddeler İhtisas Ajansı, 22-35.
- Yıldız S, Önder Namal O, Çekim M, 2013. Atık Su Arıtma Teknolojilerindeki Tarihsel Gelişimler. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 56-63.
- Zeng M, Mosier NS, Huang CP, Sherman DM, Ladisch MR, 2007. Microscopic examination of changes of plant cell structure in corn stover due to hot water pretreatment and enzymatic hydrolysis. *Biotechnol. Bioeng.*, 97:265–278.
- Zhang RH, Zhang ZQ, 1999. Biogasification of rice straw with an anaerobic-phased solids digester system. *Bioresource Technol.*, 68:235–245.
- Zhang K., Pei Z., Wang D., 2016. Organic Solvent Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Biofuels and Biochemicals: A Review. *Bioresource Technology*. 21-33
- Zheng Y, Lin H-M, Wen J, Cao N, Yu X, Tsao GT, 1995. Supercritical carbon dioxide explosion as a pretreatment for cellulose hydrolysis. *Biotechnol. Lett.*, 17:845–850.
- Zheng Y, Tsao GT, 1996. Avicel hydrolysis by cellulase enzyme in supercritical CO₂. *Biotechnol. Lett.*, 18:451–454.
- Zhu S, Wu Y, Yu Z, Liao J, Zhang Y, 2005. Pretreatment by microwave/alkali of rice straw and its enzymatic hydrolysis. *Process Biochem.*, 40:3082–3086.

6. EKLER

Ek 1. Ön muamele havuzuna Van Gölü suyunun getirilmesi için gerekli malzemeler ve fiyatları
(MEM-KA İnşaat)

Malzeme Cinsi	Çapı	Adedi	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)
KS-12 Tek Kademeli Monoblok Pompa	Giriş 1"	1	1600	1600
KS 12 / 1.5 Kw Çift Kademeli Pompa 220 V	Çıkış 1"			
Depo	Çıkış 50 mm	1	4000	4000
Siyah Kangal Boru (100m)	32mm	11	195,85	2.154
Pislik Tutucu	2"	1	100	100
Poşvit Manşon	32mm	15	5	75
Çekvalf	2"	1	70	70
Rediksiyon Manşon	50x32mm	1	13	13
Nipel	2"	2	10	20
İçten Dişli Poşvit Rekor	50mm	2	15	30
Sarı Kılape	2"	1	38	38
Paslanmaz Boru	2" (6 mt)	1	193	193
Demir Manşon	2"	1	20	20
Toplam				8.313

Ek 2. Van Gölü suyunu tesise ulaştırmak için kullanılan pompanın elektrik harcaması
(Enerji Atlası)

Tüketim Miktarı	1 kWh
Elektrik Ücreti	0,0361183 TL
Dağıtım Bedeli	0,143786 TL
Enerji Fonu (a, %1)	0,003612 TL
TRT Payı (a, %2)	0,007224 TL
BTV (a,%5)	0,018059 TL
KDV Matrahı	0,533864 TL
KDV (f, %18)	0,096095 TL
Elektrik Fiyatı (f+g)	0,629959 TL

Ek 3. Saatte 5m³ su pompalayabilen pompanın yük kaybı sonucu (Engineering Tool Box)

Imperial Units

The calculators below can used to calc head loss for the actual length of pipe.

l - pipe or tube len
 c - roughness coe
 q - flow rate (gal/m
 d_h - inside hydrau

- pipe and tube dimensions

SI Units

l - pipe or tube length (m)
 c - roughness coefficient determined for the type of pipe or tube
 q - flow rate (liter/sec)
 d_h - inside hydraulic diameter (mm)

Specific Head Loss (mm H2O / 100 m pipe): 11150.2
Specific Head Loss (kPa / 100 m pipe): 109.4
Actual Head Loss (mm H2O): 122652.4
Actual Head Loss (kPa): 1203.2
Velocity (m/s): 1.7

Ek 4. Biyogaz tesisinin ön muamele aşamasında gerekli olan NaOH fiyatı (Kimya Borsası)

NaOH	Miktar	Fiyat (€)	Fiyat (TL)
	1 ton	1.200	7.704
	15 ton	18.000	115.560 (23.08.2019 kur fiyatı)

Ek 5. Saatte 3m³ su pompalayabilen pompanın yük kaybı sonucu(Engineering Tool Box)

Imperial Units
The calculators below can be used to calculate head loss for the actual length of pipe.

l - pipe or tube length (ft)

c - roughness coefficient

q - flow rate (gal/min)

d_h - inside hydraulic diameter (in)

• pipe and tube dimensions

SI Units

l - pipe or tube length (m)

c - roughness coefficient determined for the type of pipe or tube

q - flow rate (liter/sec)

d_h - inside hydraulic diameter (mm)

Specific Head Loss (mm H₂O / 100 m pipe): 4290.9

Specific Head Loss (kPa / 100 m pipe): 42.1

Actual Head Loss (mm H₂O): 47200.4

Actual Head Loss (kPa): 463

Velocity (m/s): 1

Ek 6. Saatte 2m³ su pompalayabilen pompanın yük kaybı sonucu(Engineering Tool Box)

Imperial Units

The calculators below can be used to calculate head loss for the actual length of pipe.

l - pipe or tube length (ft)

c - roughness coefficient

q - flow rate (gal/min)

d_h - inside hydraulic diameter (in)

- pipe and tube dimensions

Specific Head Loss (mm H₂O / 100 m pipe): 2070.4

Specific Head Loss (kPa / 100 m pipe): 20.3

Actual Head Loss (mm H₂O): 22774.9

Actual Head Loss (kPa): 223.4

Velocity (m/s): 0.7

SI Units

l - pipe or tube length (m)

c - roughness coefficient determined for the type of pipe or tube

q - flow rate (liter/sec)

d_h - inside hydraulic diameter (mm)



Ek 7. Saatte 1.9m³ su pompalayabilen pompanın yük kaybı sonucu(Engineering Tool Box)

Imperial Units

The calculators below can be used to calculate head loss for the actual length of pipe.

l - pipe or tube length (ft)

c - roughness coefficient

q - flow rate (gal/min)

d_h - inside hydraulic diameter (in)

- pipe and tube dimensions

Specific Head Loss (mm H₂O / 100 m pipe): 1869.7

Specific Head Loss (kPa / 100 m pipe): 18.3

Actual Head Loss (mm H₂O): 20567

Actual Head Loss (kPa): 201.8

Velocity (m/s): 0.7

SI Units

l - pipe or tube length (m)

c - roughness coefficient determined for the type of pipe or tube

q - flow rate (liter/sec)

d_h - inside hydraulic diameter (mm)



Ek 8. Tesiste kullanılacak pompanın katalogu (YST Reaktörü)



KS
ÇİFT KADEMELİ MONOBLOK POMPALAR
DOUBLE STAGE CLOSE COUPLED PUMPS

TIP TYPE	Bağlantı Giris x Çıkış Inlet x Outlet	MOTOR						m ³ /h	Debi (Q) - Capacity					
		HP	kW	V		A			1.5	3	5	7	10	15
				Mono	Tri	Mono	Tri							
KS-115	1"x1"	1.5	1.1	220	380	7.3	2.5	Hm (max)	41	38	31	20		
KS-12	1"x1"	2	1.5	220	-	11.2	-		46	43	37	30		
KS-142	1 1/2"x1 1/4"	2	1.5	220	-	11.2	-		50	47	43	37	28	
KS-143	1 1/2"x1 1/4"	3	2.2	220	380	14.9	4.8		55	53	49	45	38	
KS-155	1.5"x1 1/4"	5.5	4.0	-	380	-	8.8		67	64	61	58	52	40
KS-157	1.5"x1.5"	7.5	5.5	-	380/660	-	10.5		70	68	66	62	56	47
KS-255	2"x2"	5.5	4.0	-	380	-	8.8		67	64	61	58	52	40
KS-27	2"x2"	7.5	5.5	-	380/660	-	10.5		70	68	66	62	56	47

TEKNİK ÖZELLİKLER

- Motor: IEC Sınıfı (High Efficiency)
- Fan Alüminyum/PC
- Gövde: FR-400mm GG-23
- Malzeme: Çelik
- CE ISO 9001 sertifikalı
- Sızdırmazlık: mekanik sızdırmazlık (Karbon / Seramik/MSD)
- IEC-L, KS-10, 4019
- IEC-L1, KS-12, 4025
- Isı aralığı: -5°C - +40°C
- Devir Hızı: 2900/4400
- Motor: Three-Phase Class B2
- Koruma sınıfı: IP 54
- Sızıyım sınıfı: F
- Tutma: Otomatik, L-Sol.

TECHNICAL DATA

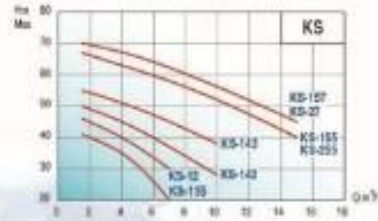
- Motor: IEC CLASS (HIGH EFFICIENCY)
- Impeller: Aluminium/PC
- Pump Body: GG-23 Cast iron
- Shaft: Steel
- ISO 9001 Certified
- Non-Leakage: Mechanical and gaskets /Ceramic/MSD
- IEC-L, KS-10, 4019
- IEC-L1, KS-12, 4025
- Liquid Temp: -5°C - +40°C
- Speed: 2900 rpm
- Motor: Three-Phase Class B2
- Protection Class: IP54
- Insulation Class: F
- Locking: Sol. Motor, L-Sol.

KULLANIM ALANLARI

- Sıcak su
- Soğuk su
- Makine yağları
- Koruyucu yağlar
- Füzyon suları (Düzenleme ve temizlik için)
- Tibbi ve laboratuvar
- Seyahat sistemleri

APPLICATIONS

- Clean water
- Pressurized water
- Machine systems
- Cooling towers, industrial systems
- Airpölen
- Füzyon ve laboratuvar sistemleri
- Medical plants, Laboratories
- Travel systems



TIP TYPE	Boyutlar - Dimensions (mm)							Ağırlık - Weight kg
	A	L	H1	H2	H	I		
KS-115	104	460	96	144	240	195	27	
KS-12	104	460	96	144	240	195	29	
KS-142	112	470	110	190	240	225	33	
KS-143	112	470	110	190	240	225	33	
KS-155	90	470	132	160	300	280	49	
KS-157	90	515	132	173	300	280	49	
KS-255	90	470	132	160	300	280	49	
KS-27	90	515	136	169	300	280	49	



ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Malatya’da doğdum. İlköğretimi Sümer İlköğretim Okulu’nda, ortaokulu Sümer İlköğretim Okulu’nda ve liseyi Cumhuriyet Lisesi’nde tamamladım. 2011 yılında kazandığım Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden 2016 yılında mezun oldum. 2016’de Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisansa başladım. Eylül 2019’da yüksek lisansımı tamamladım. Yabancı dilim İngilizce’dir.

