

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOMAS ENERJİSİ
(BİR UYGULAMA: GÜL ARTIKLARININ İNCELENMESİ)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak.Müh. Mustafa Reşit USAL

Tezin Enstitüye verildiği tarih:
Tezin Savunulduğu tarih :

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Mustafa USAL
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Ing.Z.Kâzım TELLİ

EYLÜL-1988

Ö N S Ö Z

Yeni enerji kaynakları bulmak ve bunları enerji üretiminde etkin bir şekilde değerlendirebilmek yüzyılımızın en önemli konusu haline gelmiştir. Biyomas'dan enerji üretimi yeni bir konu olmamakla birlikte yapılan çalışmalar, bulunan yeni biyomas kaynakları ve geliştirilen teknoloji her geçen gün konuya yeni boyutlar kazandırmaktadır.

Bu alanda çalışmamı sağlayan hem literatür hem de deneysel araştırmalarımda her bakımdan yardımcı olan Sayın Yrd.Doç.Dr.Mustafa ACAR bey'e gösterdiği kolaylıklar, sabır ve metanetinden dolayı en derin saygı ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım esnasında, tezin yazımı ve tamamlanmasında yardımcı dokunan herkese burada teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

ISPARTA-1988

M.Reşit USAL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	1
İÇİNDEKİLER	II-III
SEMBOLLER	IV-V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
TABLO LİSTESİ	VII
TÜRKÇE ÖZET	VIII
YABANCI DİLDE ÖZET	VIII
BÖLÜM 1: GİRİŞ	1
BÖLÜM 2: BİYOMAS HAKKINDA GENEL BİLGİ	4
2.1. Biyomas Enerjisinin Geçmişten Günümüze Gelişimi	4
2.2. Dünya'da Biyogaz Üretim Çalışmaları	5
2.3. Türkiye'de Biyogaz Üretim Çalışmaları	6
2.4. Biyogazın Tanımı ve Özellikleri	8
2.5. Biyogazın Kullanım Alanları	8
2.6. Ülkemizin Hayvansal ve Bitkisel Biyogaz Potansiyeli	12
BÖLÜM 3: BİYOMAS'DAN YARARLANMA TEKNİKLERİ	15
3.1. Termokimyasal Dönüşümler	15
3.1.1. Direkt Yakma	15
3.1.2. Gazifikasyon	16
3.1.3. Piroliz	21
3.2. Biyokimyasal Dönüşümler	26
3.2.1. Fermentasyon Tekniği	26
3.2.1.1. Biyogaz Üretim Prosesleri	26
3.2.1.2. Etanol Prosesleri	26
3.2.2. Hidrojen Eldesi	27
3.3. Enerji Üretim Tekniklerinin İrdelenmesi	27
BÖLÜM 4: ANAEROBİK SİNDİRİM	29
4.1. Prosesin Biyokimyası	29
4.2. Biyogaz Oluşumunun Mikrobiyolojisi	32
4.3. Biyogaz Üretimine Etki Eden Faktörler	34
4.3.1. Mikroorganizmaların Üreme Evreleri	34
4.3.2. Biyogaz Üretiminde Sıcaklığın Etkisi	36
4.3.3. Besin ve Katkı Maddelerinin Üretim Etkisi	38

4.3.4. Biyolojik Parçalanabilirliğin Üretime Etkisi....	41
4.3.5. Alkalite ve PH'nın Üretime Etkisi	42
4.3.6. Aşı Mikroorganizmanın Üretime Etkisi	43
4.3.7. Karıştırmanın Üretime Etkisi	43
4.3.8. Zehirleyiciler ve Üretime Olan Etkileri	44
4.4. Mikroorganizmaların Üreme Kinetiği	45
BÖLÜM 5: BİYOGAZ TESİSLERİ VE ÖZELLİKLERİ	50
5.1. Biyogaz Tesislerinin Başlıca Bölümleri	51
5.1.1. Gübre Besleme Rogarı	51
5.1.2. Bağlantı Boruları	51
5.1.3. Fermentör	52
5.1.4. Gaz Toplama Yeri	53
5.1.5. Fermente Olmuş Gübrenin Tahliye Rogarı	53
5.1.6. Gaz Dağıtım Sistemi	54
5.1.7. Fermente Olmuş Gübrenin Depolama Yeri	54
5.1.8. Isıtma Sistemi	55
5.2. Fermentörün Boyutlandırılması	59
5.2.1. Fermentör Isı Dengesi	59
5.2.2. Isı Transfer Alanı	63
5.2.3. Besleme Sistemi	64
5.2.4. Karıştırma Sistemi	65
5.2.5. İzolasyon	66
5.2.6. Ekonomiklik Hesabı	66
BÖLÜM 6: GÜL POSALARININ TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ	68
6.1. Teorik Yaklaşım	68
6.2. Deneysel İnceleme	72
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	82
EKLER	83
ÖZGEÇMİŞ	116

S E M B O L L E R

A	Isı transfer alanı, m^2
A_r	Arrhenius katsayısı, $gün^{-1}$
B	Contois denklemindeki kinetik parametre
b	Karıştırıcının kanat genişliği, m
BY	Uçucu katının biyolojik parçalanabilirlik yüzdesi
C	Sıvı evredeki karbondioksit derişimi, mol/lt.
C_d	Gaz evredeki karbondioksit ile dengede olan sıvı evredeki karbondioksitin derişimi, mol/lt
$C_{p,b}$	Besleme sıvısının ısı kapasitesi $Mj/kg^{\circ}C$
C_{p,Ch_4}	Metanın molar ısı kapasitesi, $Mj/kmol^{\circ}C$
C_{p,CO_2}	Karbondioksitin molar ısı kapasitesi, $Mj/kmol^{\circ}C$
$C_{p,su}$	Suyun ısı kapasitesi, $kj/kg^{\circ}C$
D_i	i katmanın çapı, m
D_{opt}	Optimum fermentör çapı, m
E	Aktivasyon enerjisi, $kj/kmol$
EO	Yıllık enflasyon yüzdesi
f	Sürtünme faktörü
FD	Yıllık net faiz
GM	Üreteçin birim hacminden günde üretilen metan $m^3/m^3-gün$
h	Havanın konveksiyonla ısı transfer katsayısı $Mj/m^2gün^{\circ}C$
H_{opt}	Optimum fermentör yüksekliği, m
K	B ile Y nin çarpımından elde edilen kinetik parametre
k	Reaksiyon hız katsayısı, $gün^{-1}$
k_i	i katmanın ısı iletkenlik katsayısı, $Mj/m^{\circ}C gün$
M	Amortisman süresi, yıl
N	Karıştırıcının devir sayısı, d/s.
n	Herhangi bir andaki canlı mikroorganizma sayısı

n_0	Başlangıç anındaki canlı mikroorganizma sayısı
Q	Isı enerjisi, Mj/gün
R_i	i katmanın ısı direnci, ($^{\circ}\text{C}$ gün/Mj)
r	Substrant tüketim hızı (g substrat/lt-gün)
r_i	i katmanın yarıçapı, m
S_0	Başlangıç anındaki substrat konsantrasyonu (g/lt)
S	Biyolojik parçalanabilen uçucu katı olarak substrat konsantrasyonu (g/lt)
T	Sıcaklık, $^{\circ}\text{C}$
t	Zaman, gün
U	Toplam ısı transfer katsayısı, (Mj/m^2 $^{\circ}\text{C}$ gün)
v	Besleme sıvısının çizgisel hızı
$Y_{x/s}$	Verimlilik katsayısı
x	Mikroorganizma derişimi, g/lt
x_0	Başlangıçtaki mikroorganizma derişimi, g/lt
X_{ggk}	Fermentöre yüklenen günlük katı madde miktarı kg/gün
X_{vs}	Katı maddedeki uçucu katı oranı
X_{yh}	Artıktaki katı madde yüzdesi
W	Fermentörde buharlaşan su miktarı, kg/gün
α	Karıştırıcı kanadın yatayla yaptığı açı, derece
H_{su}	Fermentör sıcaklığında suyun buharlaşma entalpisi, kj/kg.
ΔT_{\log}	Logaritmik sıcaklık farkı ortalaması, $^{\circ}\text{C}$
x	Mikroorganizma kütle değişimi, g
μ	Mikroorganizma özgül büyüme hızı, gün $^{-1}$
μ_m	Maksimum özgül büyüme hızı, gün $^{-1}$
π	P_i sayısı
ρ	Fermentör besleme sıvısının yoğunluğu, kg/m 3 .
δ_i	i katmanın kalınlığı, m
\emptyset	Hacimsal kalma süresi, gün.

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 3.1. RESCO Şirketinin geliştirdiği yakma sistemi
- Şekil 3.2. USÜM Fraksiyonlara ayıran mekanik sistem
- Şekil 3.3. UNION-CARBIDE purox sistemi
- Şekil 3.4. Piroliz işlemi
- Şekil 3.5. Flash piroliz prosesi
- Şekil 3.6. Arıtma çamuru tarımsal ve orman artıklarının çöpyakıt eldesinin işleniş akış şeması
- Şekil 4.1(a,b): Anaerobik sindirimin oluşum düzeni
- Şekil 4.2. Karbon çevrimi maddeleri ile metanbakterilerinin ilişkisi
- Şekil 4.3. Mikroorganizmaların üreme evreleri
- Şekil 5.1. Biyogaz tesisi projesi
- Şekil 5.2. Tesisin üstten görünüşü
- Şekil 5.3. Mekanik karıştırıcı
- Şekil 5.4. Değişik tip biyogaz üreteçleri
- Şekil 6.1. Deney setinin şematik gösterilişi
- Şekil 6.2. Gül artıklarından elde edilen gaz üretimi
- Şekil 6.3.a. Samandan gaz üretiminin zamana göre değişimi
- Şekil 6.3.b. Metan yüzdesinin zamana göre değişimi
- Şekil 6.3.c. Metan üretim hızının zamana göre değişimi
- Şekil 6.4.a. İnek gübresi için mikroorganizma değişimi ile fermentasyon süresi arasındaki ilişki
- Şekil 6.4.b. Biyolojik parçalanabilir uçucu katı ile fermentasyon süresi arasındaki ilişki
- Şekil 6.4.c. Mikroorganizma özgül büyüme hızı ile biyolojik parçalanabilir uçucu katı arasındaki ilişki
- Şekil 6.4.(d,e,f) Değişik miktarlarda biyolojik parçalanabilir uçucu katı için günlük gaz ve metan üretimi
- Şekil 6.5. Ege Üniversitesinde kurulan tesisin şeması

TABLO LİSTESİ

- Tablo 2.1. Biyogaz, metan ve diğer bazı yakıtların özellikleri
- Tablo 2.2. Türkiye'de cinslerine göre hayvan sayısı ve yıllık gübre miktarları
- Tablo 2.3. Değişik atıklarda karbon yüzdeleri
- Tablo 2.4. Türkiye'nin yıllık biyogaz potansiyeli
- Tablo 3.1. Purox gaz yakıtın özellikleri
- Tablo 3.2. Pirolitik ürünlerin kimyasal analizi
- Tablo 4.1. Mikroorganizmaların üreme hızının sıcaklığa göre sınıflandırılması
- Tablo 4.2. Değişik biyomas kaynakları için C/N oranı
- Tablo 4.3. Katyonların zehir etkisi yapan derişim değerleri
- Tablo 4.4. Mikroorganizmaların özgül büyüme hızları
- Tablo 5.1. Düz bir yüzeyden akan havanın kondüksiyonla ısı transfer katsayısı
- Tablo 6.1. Gül artıklarının kimyasal analiz sonuçları

Ü Z E T

Bu çalışmada biyomas'dan enerji üretim teknikleri incelenmiştir. İlk aşamada biyomas kaynakları ve biyogaz ele alınmıştır. Daha sonra Termokimyasal ve biyokimyasal enerji üretim teknikleri araştırılmıştır. Bu teknikler içinde "ANAEROBİK SİNDİRİM" prosesi ideal bir yöntem olarak görülmüş ve detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Anaerobik sindirim prosesinin gerçekleştiği reaktörlerdeki ısıl olaylar belirtilmiştir. Gül artıklarından biyogaz elde etmek için teorik ve deneysel bir araştırma yapılmıştır. Kısıtlı laboratuvar olanaklarıyla yapılan deneysel inceleme sonuçları ve öneriler son bölümde sunulmuştur.

ABSTRACT

In this study, techniques of producing energy from biomass are studied. At the first stage, sources of biomass and bio-gas are taken chemical and bio-chemical are examined. Among these techniques "ANAEROBIC DIGESTION PROCESS" are found an ideal method and investigated in detail.

Thermal phenomena taking place in this process which was occurring in the reactor are shown. Theoretically and experimentally research are done in order to produce bio-gas from waste of rose. Experimentally research results which are carried out limited experimental work opportunities are presented in the last chapter.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bu günkü enerji bunalımı tek boyutlu bir sorun değildir. Oluşması, yapısı ve çözümü bakımından çok yönlülük göstermektedir. Soruna getirilebilecek çözüm önerileri içinde en gerçekçi olanı alışılmış kaynakların rezervlerini gerçekçi olarak saptamak, tasarruflu davranmak, yani enerji kaynaklarını devreye sokmak ve etkin bir eğitim sistemi uygulamaktır. Bu öneri tüm dünya ülkeleri için geçerlilik taşımaktadır.

Enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları fosil yakıtlar denilen hidrokarbon esaslı yakıtlardır. Yenilenebilir olanlar ise güneş, rüzgar, hidrolik, dalga, jeotermal ve biyogaz gibileridir.

Dünya'daki enerji tüketiminin kaynaklarına göre dağılımı aşağıda belirtilmiştir.

% 44 Petrol

% 31.5 kömür

% 1,2 doğal gaz

% 3,3 ise hidrolik, nükleer ve diğer enerji türleridir.

Görüldüğü gibi halen tüketilen enerji büyük oranda yenilenemeyen kaynaklardan sağlanmaktadır. Oysa bu enerji rezervlerinden kömürün doğal gazın ve petrolün yakın gelecekte ekonomik ölçüde üretimi olası olmayacaktır. Türkiye için bu durum daha hayati bir konudur. Çünkü dünya enerji tüketiminde 44.sırada yer alan ülkemiz harcadığı enerjinin % 40'ını ithal etmektedir. Bu ithalatında % 90'ı petroldür. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak zorunlu bir hale gelmiştir.

Coğrafi konumu nedeniyle üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye'de dalga enerjisi de büyük bir potansiyele sahiptir. 3.Genel Enerji Kongresinde 40.000 Megawatt lık bir üretim kapasitemiz olduğu ileri sürülmüştür. Yılda ortalama 2500 saat güneş alan memleketimiz için bu kaynakta oldukça cazip görülmekte ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Radyoaktif artıklar nedeniyle Çevre sağlığı açısından birçok dezavantajına rağmen, pekçok ülkede halen yararlanılmakta olan nükleer

enerjide, yurdumuzda araştırılmaktadır. 2000 yılına kadar hidrolik ve termik santrallerimiz tamamlansa bile temel enerji gereksinimimizin karşılanamayacağı, diğer kaynaklarla takviye edildiği durumda bile sonunda nükleer enerjiye gereksinim duyulacağı görülmektedir.

Türkiye'de 430 milyar kw-saatlik bir hidroelektrik enerji potansiyeli olduğu ileri sürülmektedir. Bir tarım ülkesi olan memleketimizde küçümsenmeyecek bir enerji kaynağında "BIYOMAS" dır. İleride geniş kapsamlı olarak anlatılacak olan biyomas, her türlü artık için genel bir ifadedir. Biyogaz üretimi, biyomas'ın en etkin şekilde değerlendirilmesinin sonucudur, ayrıca geriye kalan organik artıklarda kaliteli gübre olarak tarım sektöründe rahatlıkla kullanılabilir.

Ülkemizin sahip olduğu biyogas potansiyelini aşağıdaki gibi ifade etmek olasıdır.

1. Gübre Potansiyeli: İstatistiklere göre yurdumuzda 63 milyon küçükbaş, 19 milyon büyükbaş, 55 milyon kümes hayvanı mevcuttur. Bu hayvan varlığımızdan yılda 140 milyon ton çiftlik gübresi elde edilmektedir. Bu gübrenin 15 milyon tonu tarımın çeşitli kesimlerinde organik madde olarak kullanılmaktadır. 45 milyon tonu ise mer'a, otlaklar ve yollarda kalmaktadır. Geriye kalan 80 milyon ton gübrenin 20 milyon ton'u tezek olarak yakılmaktadır.

2. Bitkisel artık potansiyeli: Yurdumuzda 13 milyon hektar hububat ekim alanı mevcuttur. Bu alandan 148 milyon ton organik madde elde edilmektedir. Bunun 88 milyon tonu saman ve hayvan yemi olarak kullanılmakta ve geriye kalan 60 milyon tonunda tarlalarca yakılmakta, kağıt imalinde hammadde olarak kullanılmaktadır.

3. Organik (Türbo) toprak potansiyeli: Tarımsal istatistiklerde sahası belirtilmemesine rağmen Türkiye Toprak Haritası Envanterlerine göre 22000 hektar organik turbo sahası mevcut olup yapılan hesaplara göre 154.455.000 ton organik turbo artığı mevcuttur.

4. İnsan dışkı ve kanalizasyon artığı potansiyeli: Yaklaşık yılda 90 milyon ton insan dışkı ve kanalizasyon artığı çöp ve potansiyelin mevcut olduğu belirtilmektedir. Bunların yanında endüstriyel artıkların, hastane artıklarınının da önemli bir yer kapladığı görülmüştür.

Bu potansiyelden ilk etapta mevcut çiftlik gübresi tezek olarak yakılmayıp biyogaz üreteçlerinde kullanıldıktan sonra tarımda tekrar

gübre olarak kullanılması halinde 1.800.000 ton azotlu gübre, 400000 ton fosforlu gübre, 360000 ton potaslı gübre elde edilmiş olur.

Gerek zirai gerekse kanalizasyon artıklarından biyogaz ve gübre elde etmeyen Amerika ve Avrupa ülkesi yok gibidir. Büyük harcamalarla yapılan baraj ve su nakil tesisleri ile elde edilen suyun bir defa kullanıldıktan sonra, o suyu doğayı kirletmek için nehirlerle ve denizlere boşaltan ülke pek nadirdir.

Teknolojisi ileri ülkeler kanalizasyon suyunu arıtıp kullanma suyu elde etme işlemlerinde, artıkları büyük ve derin havuzlarda dindendirip artığın üst kısmında biriken yağı alıp deksle ettikten sonra mevcut yağ steril duruma getirilerek sabun sanayinde hammadde olarak kullanılmaktadır. Arta kalan kanalizasyon artığı organik maddenin litresinde % 3-4 mlg.deterjan varsa bu organik madde biyogaz tesislerinde değerlendirilmektedir. Litrede % 3-4 mlg.dan fazla deterjan varsa bu organik maddeler termik santrallerde hammadde olarak değerlendirilmektedir. Böylece hem ülke ekonomisi güçlenmekte hemde çevrenin kirlenmesi önlenmektedir.

Bu büyük biyomas potansiyelin değerlendirilmesi gereği açıkça ortadadır. Tezin akışı içerisinde konu sistematik bir şekilde incelenmiştir.

BÖLÜM 2 BİYOMAS HAKKINDA GENEL BİLGİ

Günümüzde, gerek biyolojik ve termik parçalanabilen gerekse parçalanamayan organik atıklar olsun, hepsine bir enerji kaynağı olarak bakmak mümkündür. Yeşil bitkilerin fotosentez yoluyla güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelen biyolojik kütleler ve buna bağlı olarak oluşan organik madde kaynakları biyokütleleri oluşturmaktadır. Her türlü bitkisel ve hayvansal organik maddeye (ağaç, tahıl sapı, bitki, insan ve hayvan dışkı, su yosunu, v.s.) biyomas denilmektedir. Genel olarak karbon ihtiva eden tüm maddeler için bu tanım kullanılabilir.

Enerji üretiminde kullanılacak biyokütle kaynakları kaynağın kalitesi ve miktarı, mevsimsel bulunabilirliği, teknik ve ekonomik kısıtlamalar, sosyal ve çevresel unsurlara bağlı kalır. Biyo kütle kaynaklarını,

- a) Hayvansal atıklar
- b) Bitkisel atıklar
- c) Şehirsal atıklar (çöpler ve kanalizasyon çamurları)
- d) Endüstri atık ve artıkları

olarak 4 ana grupta toplayabiliriz. Bu artıklar içerisinde özellikle inert olmayıp biyolojik veya termik reaksiyona girebilen, oksitlenebilen sıvı, yarı katı ve katı artıkların büyük bir enerji kaynağı potansiyeli olduğu bilinmektedir.

2.1 Biyomas Enerjisinin Geçmişten Günümüze Gelişimi:

Bu konuda ilk çalışmalar 1860 yılında Fransa'da Muras'ın inşa ettiği kanalizasyon tipi çökeltme havuzu ile başlatılmıştır. Pasteur ve V.Gayen birlikte 1884 yılında ahır gübresinden metan üretimi konusunda bir yayın yapmışlardır. 1895 yılında Cameron çökeltme zamanı 16-21 saat arasında "Septik tank" adıyla bir tesis geliştirmiştir. 1899 da Amerika'lı Clark, kanalizasyon çamurunun aneerojik sindirime tabi tutulmasını teklif etmiş bu fikirden hareketle İngiliz Travis çift katlı bir mahzen inşa etmiştir. 1902 yılında Omelianski filtre kağıdının gübre veya bataklık çamuru ile aşılınıp fermentasyona tabi tutulduğun-

da çoğu CH_4 olan bir gaz karışımı elde edildiğini belirtmiştir.

1906 yılında Alman Imhoff, Travisin mahzen sistemini incelemeye başlamış, 1914 de imhoff tankları daha da geliştirilerek biyogaz toplanmaya ve ticari maksatlarla kullanılmaya başlanmıştır.

Önceleri şehirsal atık suların oksijenli (aerobik) ortamda arıtılması esnasında oluşan çamurun yok edilmesine uygulanan anaerobik parçalama teknolojisi sonraları çiftlik gübresi ve tarımsal artıklara da uygulanmaya başlanmıştır. 2.Dünya savaşı ve sonrasında enerji kıtlığı nedeniyle başta Fransa ve Almanya olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde ve Cezayir'de binlerce çiftlikte bu tesisler kurulmaya başlanmıştır.

2.2 Dünya'da Biyogaz Üretim Çalışmaları:

Biyogaz üretim ve teknolojisinin gelişmesinde, Çin Halk Cumhuriyeti ve Hindistan başta gelen ülkelerdir. Çin'deki biyogaz tesisleri 1976 dan bu yana 7 misli bir artış göstererek 7,5 milyona ulaşmıştır.

1930 lu yıllarda çalışmalara başlayan Hindistan'da şimdi 80000 civarında biyogaz ünitesi vardır.

Hintliler araştırmaları sonucu yüzer başlıklı "Hint-tipi" biyogaz üretecini geliştirmişlerdir. Son yıllarda Hindistan'da 8-15 m³ lük üreteçler yerine 80-100 m³ lük fermentör hacmine sahip köy tipi üreteçler yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Bu konuda yürütülen iki proje UNICEF tarafından da desteklenmektedir. (3)

Köy tipi üreteçlerin geliştirilmesine çalışan ülkelere biride Güney Kore dir. Bu ülkenin kırsal kalkınma ofisi 1969 dan 1975'e kadar 29000 küçük fermentör hacimli biyogaz ünitelerini çiftçilere dağıtmıştır. Ancak kışların soğuk geçmesi bu ünitelerin başarısını engellemiş sonuçta da büyük kapasiteli üreteçlerin geliştirilip denenmesine başlanmıştır. Yapılan çalışmalarda 137 m³ lük beton tank içerisine yerleştirilen ısıtma ve karıştırma sistemine sahip üreteçlerden günde ortalama 229 m³ gaz üretildiği, üretilen gazın 73,2 m³ lük kısmının üretecine ısıtılmasında kullanıldığı, böylece günde net 156 m³ gaz üretilerek 156 evin kış süresince yemek pişirmek için gerekli enerjiyi sağladığı belirtilmektedir (2).

Bu ülkelerin dışında sırasıyla Pakistan, Tayland, Kenya, Kamerun, Mısır, Brezilya, Ekvator, Habeşistan, Jamaika, Endonezya, Nepal, Nijerya, Filipinler, Peru, Zambia ve Türkiye'de biyogaz üretimi ile ilgili çalışmalar sürdürülmekte ve bu çalışmalar Birleşmiş Milletler Teşkilatına bağlı kuruluşlarca desteklenmektedir. Projelerin organizasyon ve yapıları çok çeşitlilik göstermekle birlikte bunlar genellikle hükümetler tarafından yönlendirilmektedir.

2.3 Türkiye'de Biyogaz Üretim Çalışmaları:

Türkiye'de bu konuda ilk çalışma 1961 yılında M.Dağdelen (2) tarafından yapılmıştır. 1963-1969 yılları arasında Köyişleri Bakanlığına bağlı Eskişehir Topraksu Araştırma Enstitüsü tarafından değişik kapasiteli fermentörlerde araştırmalar devam etmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, biyogazın enerji sorununu halledici bir kaynak olarak ele alınmaması gerektiği, çiftlik gübresinin biyogazlaşmasıyla enerji yanında asıl önemli konunun daha kaliteli gübre eldesi olduğu anlaşılmıştır (2). Bu çalışmalar karıştırmaz ve kesikli sistem halinde yürütülmüştür. 12 m³ lük fermentörde elde edilen sonuçlara göre fermentasyon 13,5 ay sürerek, yükleme yapıldıktan 15 gün sonra başlayan yanıcı karakterdeki gaz karışımından en fazla 6,4 m³/gün en azda 4 lit/gün üretim yapılabilmiştir.

1964 yılında A.Ü.Ziraat Fakültesinde N.Sönmez ve arkadaşları tarafından iç anadolu şartlarına uygun bir prototip aile tipi biyogaz üretme tesisinin geliştirilmesi amacıyla araştırmalar başlatılmış ve 1967 de sonuçlanmıştır. TÜBİTAK Tarım Ormancılık Araştırma Grubu tarafından desteklenmiş olan bu çalışma iki aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada etkin hacimleri 1,8 ila 2 m³ arasında değişen dikdörtgen prizma ve silindirik 4 adet tankta çalışmalar yapılmış üretilen toplam gaz sırasıyla 28.758, 37.69, 29.144, 48.715 m³ olmuştur. İlk aşamanın sonucu olarak gaz üretiminin tank içi ve atmosferik sıcaklığa son derece bağımlı olduğu gözlenmiş ve kış aylarında fermentasyon tanklarını izole etmeden veya dış şartları ayarlayıcı bir ısıtma yapılmadan bu tip tanklarda gaz üretiminin mümkün olamayacağı kanısına varılmıştır.

İkinci aşamada ise etkin hacmi 18.75 m³, gazometre hacmi 3 m³ olan bir tesis kurularak üç ayrı dönemde denemeler yapılmıştır. Fermentöre toplam 60.25 m³ besleme yapılarak 268 gün sonunda toplam 728 m³ gaz üretilmiştir. Bu değere göre m³ fermentör hacminden günlük üre-

tilen gaz miktarı $0,145 \text{ m}^3$ olmuştur.

MTA tarafından Türkiye Şeker Fabrikaları Anonim Ortaklığı Etimesgut tesislerinde iki bölmeli 54 m^3 lük bir tesis kurulmuş ve 1979'da ilk denemeler başlatılmıştır. Toprak altında inşa edilen tesisin yan duvarları içte $0,25 \text{ m}$ beton, dışta ise $0,15 \text{ m}$ tuğla ile örülmüş, iki duvar arasınada $0,05 \text{ m}$ kalınlıkta cam yünü konularak fermentör izole edilmiştir. Denemelerde üreticinin ikinci bölümünde gaz üretimi gerçekleştirilememiştir. Dış ortam sıcaklığının düşük olduğu dönemlerde üretilen gazın sistemi 30°C de tutmaya bile yetmediği gözlenmiştir.

1980 yılında Türkiye ve UNICEF arasında toplam yatırım değeri 475 000 ABD doları olan ortak biyogaz projesi hazırlanmıştır. Bu projede tarım ve Orman Bakanlığı, Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Maden Tetkik Arama Enstitüsü görev alarak, DPT nin sorumluluk ve koordinatörlüğünde çalışmalar yürütülmüştür.

Türkiye'nin soğuk iklim şartlarında biyogaz üretiminin ne ölçüde başarılı olabileceğinin belirlenmesi amacıyla Doğu Anadolu Bölgesi pilot bölge olarak seçilmiştir. İlk önce Muş-Alpaslan Devlet Üretim Çiftliğinde iki bölmeli ve toplam hacmi 35 m^3 olan bir biyogaz tesisi kurulmuş ve 1980 kasımında üretime başlanmıştır. Kurulan bu tesise sıcaklığı sabit tutmak amacıyla içinde sıcak su dolaşan ısıtma sistemi yerleştirilmiştir. Isı kayıplarını azaltmak amacıyla da tesisin beton duvarları pomza tuğlasıyla örülerek izole edilmiştir. ü

30°C de 30 gün alıkonma süresinde çalıştırılan bu tesiste günde 20 m^3 gaz üretimi beklentisine karşılık $10 \text{ m}^3/\text{gün}$ üretim gerçekleştirilmiştir. Muş'ta kurulan tesisten sonra Ulaş (Sivas) ve Altınova (Konya) Devlet Üretim çiftliklerinde sırasıyla 5 ve 20 m^3 lük tesisler kurulmuştur.

Son zamanlarda üniversitelerimizin çoğunda hem teorik hem deneysel incelemeler yapılmıştır. O.D.T.Ü. de Saman'dan biyogaz üretimi Ege Üniversitesinde TÜBİTAK'ın da desteklediği tesis tasarımı projeleri önemli çalışmalardır.

Yapılan bu çalışmalar ve incelemeler, Türkiye'de biyogaz üretimini gerçekleştirmek ve yaygınlaşmasını sağlamak amacının birer göstergesidir.

2.4 Biyogazın Tanımı ve Özellikleri

Bafaklık gazı, marş gazı, gübre gazı veya gobar gaz adı verilen biyogaz oksijensiz ortamda oluşan bir fermentasyon ürünüdür. Renksiz belli bir kokusu olan ve ısı değeri yüksek bir gaz karışımıdır. Gazın bileşimi ortamın ısısı, su miktarı, asitliği, bitkisel ve hayvansal artıkların cinsi ve karışım oranları ile değışmekle birlikte hacimsal olarak şu özelliklere sahiptir.

- % 55 - 70 Metan (CH₄)
- % 30 - 45 Karbondioksit (CO₂)
- % 0 - 3 Azot (N₂)
- % 0 - 1 Hidrojen (H₂)
- % 0 - 1 Hidrojen sülfür (H₂S)

Biyogazın ısı değeri karışımındaki metan oranına bağılı olarak değışir. Saf metanın ısı değeri 8900 kcal/m³ olup biyogazın yanma ısısı metanın % 60'ı kadar yani 4700-6000 kcal/m³ arasında değışmektedir. Yanar metan gazının kendisi kokusuz olmasına rağmen biyogaz karışımında yer alan kükürtlü hidrojen gazı nedeniyle kokuludur. Ancak yanma esnasında koku kaybolur. Üretilen biyogazın kullanılmadığı esnada gaz taşıyıcı sistemde kaçak olup olmadığı bu kokudan kolayca anlaşılabilir. Biyogaz is yapmayan temiz ve mavi bir alevle yanar. Gün ışığında alevini görmek oldukça güçtür. Biyogazın sıvılaştırılmış tüpgaz olarak kullanılabilmesi için karışımındaki CO₂ nin kireçli sudan geçirmek dahil bazı tekniklerle ayrılması zorunludur. Bunun ifadesi:



denklemdir.

2.5 Biyogazın Kullanım Alanları

Biyogaz, gaz yakıtla çalışan tüm araçlarda rahatlıkla kullanılabilir. Bunlar arasında sıkıştırılmış gaz ile çalışan sobalar, fırınlar, ocaklar, v.s. sayılabilir. Piyasada bulunabilen bu araçlar üzerinde yapılacak küçük değışiklikler ile kullanıma sunulabilir. Hava gazı ile çalışan araçlarda değışikliğe gerek kalmaz. Biyogazı diğer enerji kaynakları ile karşılaştırdığımızda:

1 m³ biyogaz, 3 tonluk bir kamyonu 2 km mesafeye götürür, 1.25 kw elektrik enerjisine, 0.7 kg petrole eşdeğerdir. 5-6 kişilik bir ai-

lenin üç öğün yemeğini pişirecek enerjiye sahiptir. 60~100 wattlık bir elektrik ampülünü 6 saat yakacak enerjiyi sağlayabilir. Bunun yanında 1 m³ biyogaz, 0,8 kg taşkömürüne 1,3 m³ havagazına ve 0,75 litre benzine eşdeğerdir. Isınmada aydınlanmada, mutfak ihtiyacında, kimya sanayiinde rahatlıkla kullanılabilen biyogaz yakıt değerini tamamen bileşimindeki metan dan almaktadır, enerji içeriği 20 000~26 000 kJ/m³ arasında değişir.

Biyogazın motorlarda yakıt olarak kullanılabilceği araştırmalar sonucunda belirlenmiştir. Diesel motorlarda kullanılırken belirli oranlarda (% 18~20) motorinle karıştırılmasında yarar olduğu söylenmektedir.

Bujili motorlarda metan kullanımını sağlayan gerekli çalışma düzeni aynı zamanda doğal gazın kullanılması içinde ayarlanabilmektedir. Çevirme sistemleri iki yakıt sistemi için geçerli olup sürücü bir kabloyu çekmekle veya bir anahtarı çevirmekle benzinle çalıştırmaya tekrar dönebilmektedir.

Biyogazın bünyesinde metan dışındaki bileşimler yanıcı özelliğe sahip değildir. Metanın yanma denklemi incelenirse,



denklemi elde edilir. Reaksiyon ekzoterm olduğundan yani sonuçta enerji açığa çıktığından reaksiyon entalpisi - 212 kcal/mol dır. 16.03 kg/mol molar kütleyle sahip olan metanın bir metrekübünün yanma ısısı 9487 kcal/m³ tür.

(2.2) denkleminde görüleceği gibi 1 birim CH₄'ün yanması için 2 birim O₂ ye ihtiyaç vardır. Havadaki oksijen oranı yaklaşık % 20 olduğuna göre gerekli hava miktarı 10 birim olacaktır. Biyogazın bileşimindeki metan yüzdesi yaklaşık % 60~70 olduğuna göre bir birim biyogazın tam yanması için 7 birim hava gereksinimi olacaktır.

Hava fazlalık katsayısını da gözönüne aldığımızda mükemmel bir yanma için 1 birim biyogaza 9 birim hava gerektiği görülür.

Kullanım esnasında bu durumun gözönüne alınması ve hava ayarının buna göre yapılması gerekir. Eğer yanma olayı sarımsı renkte ve isli gerçekleşiyorsa oksijen yetmezliği vardır, bu durumda hava ayar deliğini açmak gerekir. Yanma sık sık kesiliyorsa oksijen fazlalığı vardır, hava ayarı azaltılmalıdır.

Biyogazın motorlarda uygulamasını en iyi bir şekilde İtalyan FIAT firması TOTEM ismini verdiği biyogazla çalışan yüksek verimli motorlarda gerçekleştirilmiştir. İçten yanmalı motorlarda biyogaz kullanıldığında şu sonuçlar gözlenmiştir.

1. Hava ile karışarak iyi bir türbilans sağlamakta ve tam yanabilmektedir.

2. Sıkıştırma sırasında ön yanma yapmaz ve aşındırıcı etkisi yoktur.

3. Gaz halinde olan metan benzinden ayrı olarak buharlaştırıldığından iyi bir çalışma sağlamaktadır.

4. Piston üzerinde, silindirde karbon artığı bırakmaz.

5. Bileşiminde kurşun bulunmadığından bujilerde kirlenme daha az olur.

6. Karbüratör daha basitleşmiştir.

7. Biyogaz içindeki H_2S iyi filitre edilirse motor üzerindeki kükürt bileşimlerinin yan etkileri ortadan kalkar.

8. 5 PS deki bir motorun 10 saat çalışması için $13 m^3$ biyogaz gerektiği tespit edilmiştir.

Biyogazdan su ısıtmak için ocaklardan yararlanılabileceği gibi termosifon ve şofbenlerde biyogazla çalıştırılarak kullanılabilir. Termosifonun ısıtıcı ocak kısmına bir biyogaz başlığı yerleştirilerek biyogazla çalışır hale getirilebilir. Şofbenlerde ise meme çapını genişletmek ve basınç yayını değiştirmekle biyogaz kullanımı sağlanabilir.

Isınmada kullanılması ise sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan sobaların meme çaplarını basınç oranlarına göre artırmakla gerçekleştirilir. Aydınlatmada kullanımı ise bir biyogaz jeneratörü kullanılarak veya direkt yakma ile mümkündür. Direkt aydınlatmada havagazi lambası veya sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan lambalar kullanılabilir. Mutfak ihtiyacı için kullanılan havagazi ve sıkıştırılmış petrol gazı ocaklarında da kullanımı mümkündür.

Yakıt olarak biyogazın dezavantajı, nakledilmesi ve depolanmasının zor olmasıdır. Alçak veya yüksek basınçlarda kullanım amacına göre depolanabilir. İçten yanmalı motorlarda kullanılacağı zaman CO_2 in su ile yıkama veya kostik kimyasal madde ilavesiyle uzaklaştırılması gerekir. CO_2 in uzaklaşmasıyla biyogazın metan oranı artar ve ısı değeri $18 \sim 24 \text{ mJ/m}^3$ ten $37,3 \text{ Mj/m}^3$ 'e yükselir. Metan gazı $-162^\circ C$ de atmos-

Tablo 2.1. Metan ve diğer bazı yakıtların özellikleri

Yakıt	Isıl Değeri	Yaklaşık Oktan Sayısı	Yaklaşık Setan Sayısı
Biogaz:(%60 CH ₄)	22 MJ/m ³	130	Düşük
Metan	33 MJ/m ³	130	"
Süper Benzin	33 MJ/l	96	"
Benzin	34,5 MJ/l	83	25
Diesel	36 MJ/l	Düşük	50.55
Kömür	13-34 MJ/kg	-	-
Tabii Gaz	37-42 MJ/m ³	130	Düşük
Hava Gazı	18 MJ/m ³	-	-
LPG	44 MJ/kg	108	Düşük
Fuel OilNo:5	41 MJ/l	-	-
Kuru Odun	12-14 MJ/kg	-	-
Tezek	8,9-9,6 MJ/kg	-	-
Saman	13,9 MJ/kg	-	-
Elektrik	3,6 MJ/kWh	-	-

Biyogaz ve bileşimindeki maddelerin özellikleri

Özellik	Biyogazın bileşimindeki maddeler					Biyogaz %60 CH ₄ %40CO ₂
	CH ₄	CO ₂	H ₂ S	NH ₃	H ₂	
Hacimsal oran,%	50-70	50-30	0-5	0-1	0-1	100
Isıl değeri,MJ/m ³	37,3	-	22,8	14,2	10,8	22
Yanma sınırı						
Hava ile hacim.kar.	4-15	5-15	4-45	-	4-80	6-12
Yanma sıcaklığı,°C	650-750	-	-	-	585	650-50
Kritik basınç, MPa	4,6	7,4	9,0	11,4	1,3	7,5-8,9
Kritik sıcaklık,°C	-82,5	31	100,4	132,5	-	-8,5
Yoğunluk kritik,g/L	162	468	349	-	31	320
Yoğunluk normal,g/l	0,72	1,98	1,54	0,77	0,00	1,2
Havaya göre bağlı yoğunluk	0,55	1,53	1,2	0,59	0,07	0,83

Metanın seçilmiş bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Ölçüler
Kimyasal formülü	CH ₄
Molekül ağırlığı	16,042
Kaynama noktası (760 mm Hg'de) °C	-161,49
Donma noktası(760 mm Hg'de) °C	-182,48
Özgül ağırlığı, kg/m ³	
Sıvı, (-164 °C de)	415
Gaz(25 °C ve 760 mm Hg'de)	0,658
Özgül hacim(15,5 °C ve 760 mm Hg'de)m ³ /kg	1,47
Yanma için gerekli hava, m ³ /m ³	9,53
Yanma sıcaklığı °C	650
Yanma Denklemi	CH ₄ +2O ₂ → CO ₂ +2H ₂ O

fer basıncında sıvılaştığından adım adım 16,5~25 MPa sıkıştırılarak gelik silindirlerde depolanabilir.

Tablo (2.1) Biyogaz ve Metanın özelliklerini göstermektedir.

2.6 Ülkemizin Hayvansal ve Bitkisel Biyogaz Potansiyeli

Giriş bölümünde yüzeysel değinilen biyomas potansiyeli burada daha geniş ele alınmıştır. İstatistiklere göre hayvan sayısı ve elde edilen gübre miktarları Tablo 2.2 de gösterilmiştir.

Hayvan Cinsi	Sayı	Yıllık Gübre miktarı (Ton yaş gübre)
Toplam büyükbaş	19 000 000	76 000 000
Toplam küçükbaş	63 000 000	45 500 000
Kümes hayvanları	55 000 000	2 000 000

Tablo (2.2) Türkiye'de cinslerine göre hayvan sayısı ve yıllık gübre miktarları

Bitkisel artık olarak sadece hububat üretiminden elde edilen Sap-saman değerlendirilmesi yapılırsa, yem olarak tüketilen samanın dışında yaklaşık 60×10^6 ton artık elde edilebileceği ileri sürülmektedir (7). Biyogaz potansiyelinin hesaplanabilmesi için çeşitli organik artıklardan elde edilen ortalama biyogaz miktarlarını bilmek gereklidir. Tablo 2.3. Değişik organik artıkların kuru maddeleri içerisindeki karbon yüzdeleri verilmiştir.

Artık cinsi	% C(Kuru baza göre)
Büyükbaş hayvan dışkısı	30.1
Kümes hayvanları dışkısı	23.4
Koyun dışkısı	83.6
At dışkısı	57.5
Sap-saman	50.4
Kağıt	40.6

Tablo (2.3) Değişik atıklarda karbon yüzdeleri

Karbon yüzdelerinden yararlanarak Türkiye'deki biyogaz potansiyelini hesaplamak mümkündür.

Normal şartlar altında (N.Ş.A) 1 kg karbon içeren bileşiğin tam parçalanması ile 1.867 m³ biyogaz elde edilir. Organik karbonun tamamının parçalandığı düşünülürse, 1 kg artıktan (gübreder) üretilecek biyogaz miktarı

$$0,301 \frac{\text{kg karbon}}{\text{kg gübre}} \times \frac{1.867 \text{ m}^3 \text{ biyogaz}}{1 \text{ kg karbon}} = 0,56 \text{ m}^3 \frac{\text{biyogaz}}{\text{kg kuru gübre}}$$

olarak elde edilir. Deneysel araştırmalar, kuru maddenin ağırlıkça % 81 ini oluşturan uçucu katı maddenin kilogramı başına N.Ş.A.'da ortalama olarak 0.36 m³ biyogaz üretildiği saptanmıştır. Kuru madde bazına dönüştürüldüğünde inek gübresi için:

$$0,36 \frac{\text{m}^3}{\text{kg uçucu katı}} \times \frac{0,81 \text{ kg uçucu katı}}{\text{kg kuru madde}} = 0,291 \text{ m}^3/\text{kg kuru madde}$$

miktarında biyogaz elde edilir. Buradan görüldüğü gibi büyük baş hayvan gübresinden elde edilen biyogaz miktarı teorik miktarın yaklaşık yarısı kadar olmaktadır. Bu oran ayrıca atık maddedeki biyolojik parçalanabilirliğede bağlıdır. Büyükbaş hayvan gübresinin biyolojik parçalanabilirliği diğer hayvan gübresine göre daha düşüktür. Değişik kaynaklardan üretilebilecek olan biyogaz miktarları aşağıdaki Tabloda verilmiştir.

Organik atığın cinsi	% katı (yaşbaz)	Üretilen gaz (m ³ /kg madde)	kabul edilen atık yüzdesi	Üretim (m ³ /yıl) $\times 10^9$
Büyükbaş hayvan dışkısı	16	0,291	60	1,7931
Tek tıynaklılar dışkısı	33	0,540	85	1,5417
Küçükbaş hayvan dışkısı	36	0,780	35	4,4710
Kümes hayvanları dışkısı	29	0,217	95	0,1200
Samın-sap	100	0,470	45	12,4700
TOPLAM				20.400

Tablo (2.4) Türkiye'nin biyogaz potansiyeli

Tablo (2.4) dan görüleceği gibi bitkisel ve hayvansal artıkların yıllık toplam biyogaz üretim potansiyeli 20.4×10^9 olmaktadır. Yalnızca hayvan dışkısından elde edilen miktar 8×10^9 m³/yıl olmakta ve buda ısı

değeri 41900 kj/kg ve yanma verimi % 85 olan 4.83×10^6 ton/yıl fuel-oil'e eşdeğer olmaktadır.



BÖLÜM 3. BİYOMAS'TAN YARARLANMA TEKNİKLERİ

Enerji üretiminde önemli faktörler kullanılan tekniğin ekonomik olması, yenilenir olması, hava su ve çevre kirliliğine yol açmamasıdır. Bu düşünceler doğrultusunda biyomas'tan enerji üretimi teknikleri incelenmiş ve en uygun teknik olarak görülen ANAEROBİK SİTİRİM PROSESİ detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Biyomas'tan enerji üretim tekniklerini Termokimyasal ve Biyokimyasal dönüşümler olmak üzere 2 ana grupta toplamamız mümkündür.

3.1. Termokimyasal Dönüşümler

3.1.1 Direk yakma

3.1.2 Gazifikasyon

3.1.3 Piroliz

3.2. Biyokimyasal Dönüşümler

3.2.1 Fermentasyon Tekniği

3.2.1.1 Biyogaz üretim prosesleri

3.2.1.2 Etanol prosesleri

3.2.2 Hidrojen Eldesi

3.4 TERMOKİMYASAL DÖNÜŞÜMLER

3.4.1 Direkt Yakma:

Artıkların doğrudan yakılmasıyla depoladıkları enerjinin geri alınmasıdır. Az gelişmiş ülkelerde bu durum çok sık kullanılmaktadır. Sanayileşmiş ülkelerde ise çeşitli bitki yakacak ve odun artıklarını önfermentasyon ve sıkıştırma yolu ile 1 cm çaplı briketler haline getirilmekte ve bu briketler özel brülörlü ocaklarda yakılmaktadır. Böylece 1 kg briketten 900 kcal lik enerji sağlanabilmektedir. Artıkların uygun bir sistemde yakılarak buhar, elektrik enerjisi ve ısı enerjisi üretimi olayı:



denklemlerle özetlenebilir.

Gelişmiş yakma sistemleri ile biyomasın yakılarak açığa çıkan enerjiden elektrik enerjisi üretimi ileri ülkelerde uzun zamandan beri uygulanmaktadır. Buna örnek olarak RESCO şirketinin geliştirdiği yakma sistemi şekil 3.1 de gösterilmiştir. Artıkları yakmadan bir takım faydalı fraksiyonlara ayırma işlemine yönelik mekanik sistemlere örnek olarak USBM (United States Breau of Mines) sistemi şekil 3.2 de verilmektedir. Mekanik sistemle ayrılabilen yanabilir katı artık ya doğrudan doğruya yakılarak veya kömürle birlikte enerji üretiminde kullanılmaktadır. Bu yolla kömüre % 10~15 oranında artık katı yakıt katılarak çok iyi sonuçlar alındığı bildirilmektedir.

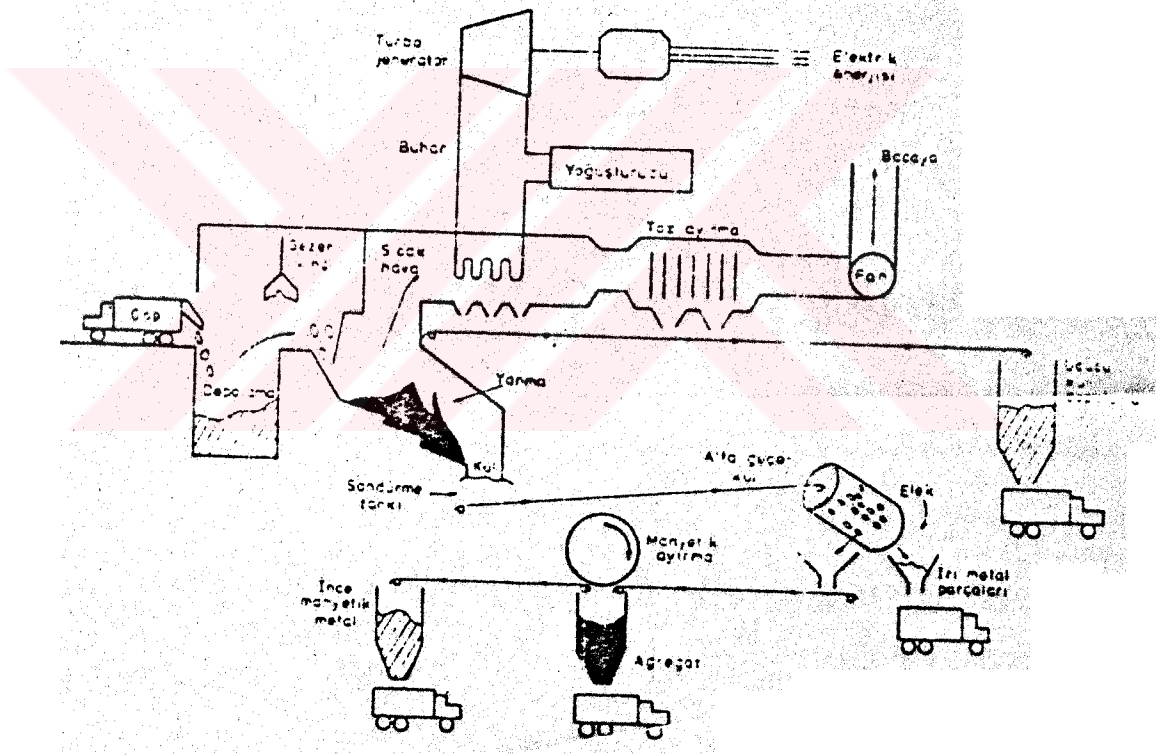
Yakma tesislerinde tam yanma ile hava kirliliği oluşturmadan yakılacak artıkların alması ısı değeri en azından 1250 kJ/kg (300 kcal/kg) olması gerektiği (Anonim system Studie Kranken hausabfall-beceitigung in Berlin, Berlins Stadtreinung, 1977) belirtilmektedir. Yakma öncesi ısı değeri dengelemesi yapmak küçük tesislerde pek kolay ve pratik çözüm olmamaktadır. Bu nedenle yakma odasında ya düşük sıcaklık ya da aşırı sıcaklık oluşmakta buda tam yanmanın gerçekleştirilmesini engellemektedir.

Artıkların yakılması için geliştirilmiş bir tesisin ısı ve enerji bilançosu incelenmiş ve 100 kg/h kapasiteli olan bu tesisin her-yeniden ısıtılmasında 23,4 kg fuel-oil gereksinimi olduğu görülmüştür. Sürekli çalışan tesislerde de hammadde, taşımacılık, çevre kirliliği faktörleri ortaya çıkmaktadır. Son zamanlarda gelişmiş teknolojiye sahip ülkeler bile bu yolu terk etmektedirler. Hatta endüstriyel artıklarını az gelişmiş ülkelere ucuz fiyata satmaya çalışmaktadırlar.

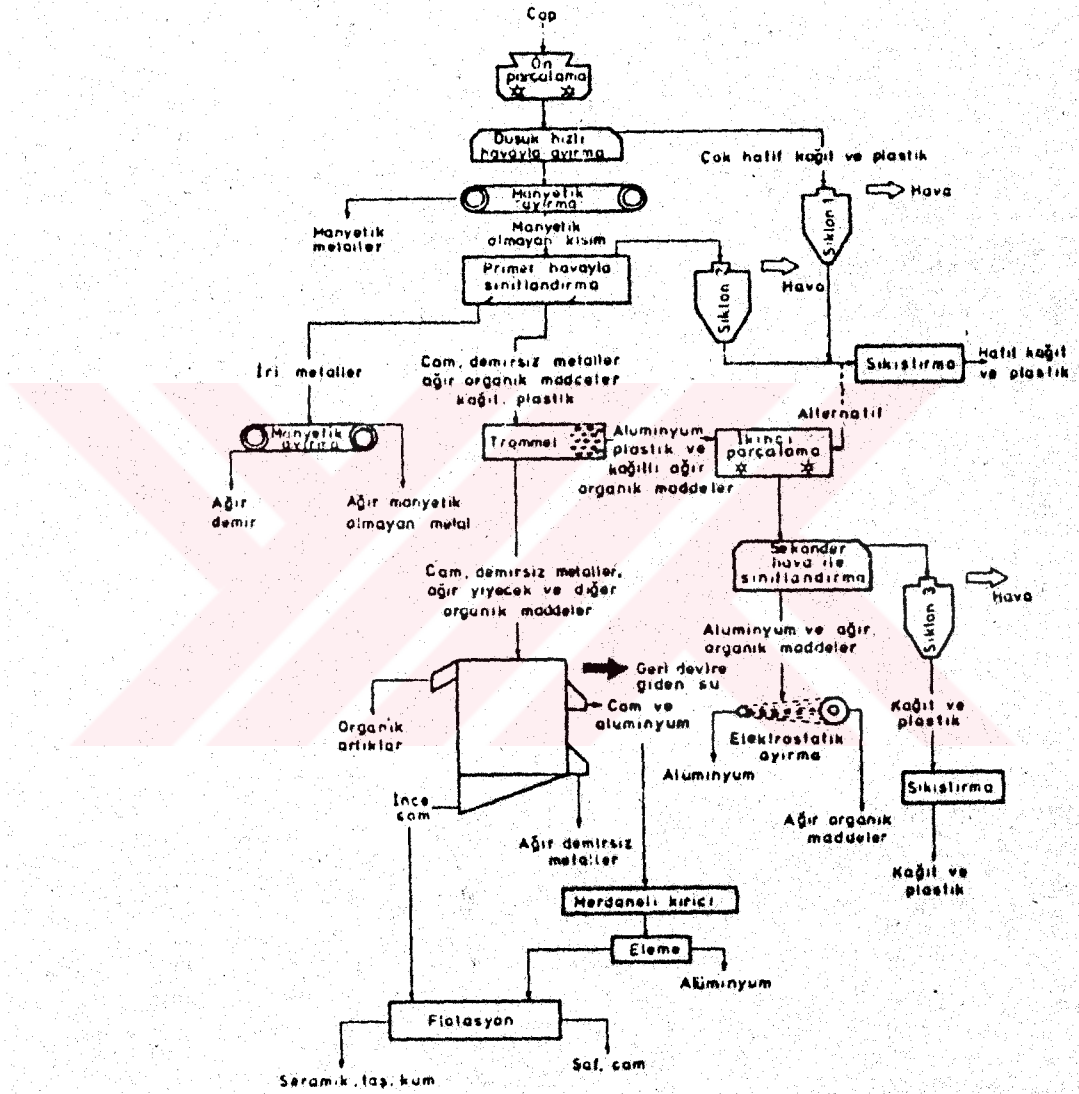
3.1.2 GAZİFİKASYON

Çöplerin sınırlı miktarda hava veya oksijen bulunduran bir ortamda ısıtılması sonucu sentetik doğal gaz, metanol, amonyak, hidrojen ve karbonmonoksit üretilmektedir.

Yanabilir organik artıkların daha temiz gaz ve sıvı yakıtlara dönüştürülmesini amaçlayan çalışmalar 1960 larda PERC(Pittslaung Energy Research Center) tarafından başlatılmıştır. Union Carbide ve Occidental Petroleum Atomics şirketleri ticari sistemleri geliştirmek üzere yaptıkları çalışmalarla önde gitmektedirler.



Şekil 3.1. RESCO Şirketinin geliştirdiği yakma sistemi



Şekil 3.2. USBM Fraksiyonlara ayıran mekanik sistem

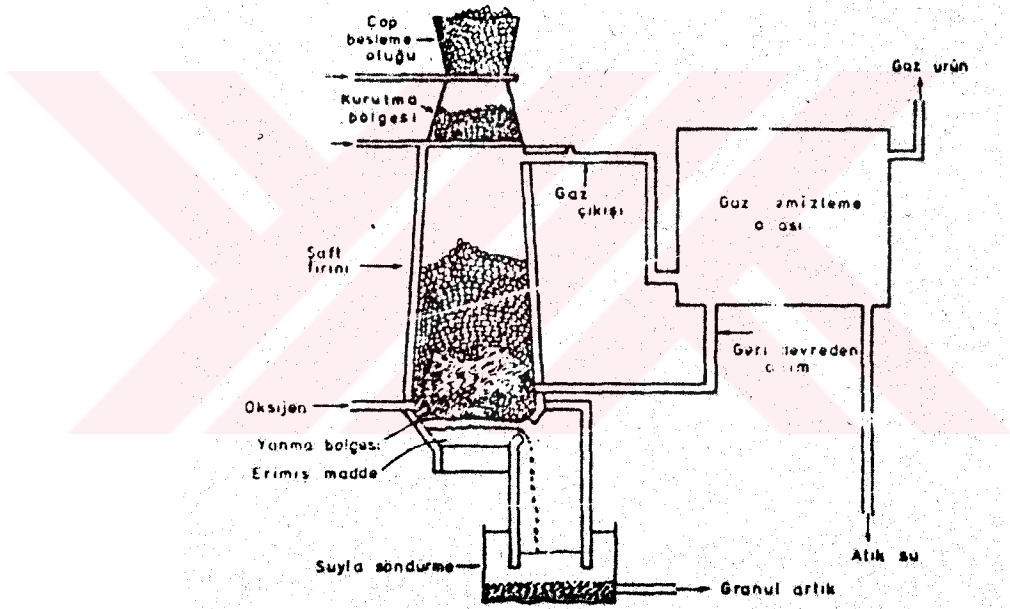
Union carbide şirketinin geliştirdiği purox sistemi % 20 katı ve % 80 neme kadar çöplerin değerlendirilmesinde uygundur. Şekil (3.3) de gösterilen sistemin en önemli bölümü artıkların çok hızlı bir şekilde reaksiyona uğradığı dikey bir saft fırınıdır. Fırın yapı olarak yüksek fırına benzemektedir. Artıklar fırına üstten girer. Kurutma bölgesini geçtikten sonra kendi ağırlığıyla asıl reaksiyon bölgesine gelirler. Reaksiyon sonucu oluşan gaz ve sıvı ürünler bölgeyi üstten terkederken inorganik artıklar ve organik artıkların pirolizi sonucu geride kalan kömürleşen kısım (charcoal) yanma bölgesine doğru iner. Burada teorik olarak gerekenden daha az miktardaki alttan verilen saf oksijen atmosferi içerisinde kömür $C + 1/2 O_2 \rightarrow CO$ reaksiyonu ile yanar.

Yanma bölgesinden yükselen gazlar içerisinde CO bolluğu nedeniyle, reaksiyon bölgesi için indirgen bir ortam oluşur. Yanma bölgesi sıcaklığı $1650^{\circ}C$ civarındadır. Reaksiyon bölgesinde gazlaştırma olayı $650 \sim 950^{\circ}C$ civarında gerçekleşir. Hızlı besleme ve indirgen ortam nedeniyle minimum oksidasyon ve maksimum gaz üretimi sağlanır.

Reaksiyon bölgesinden kurutma bölgesine yükselen gazlarla bu bölgeye inen artıkların çok iyi teması sonucu etkili bir kurutma gerçekleşmektedir. Gaz reaktörü terkettikten sonra sulu yıkama ve temizleme sisteminden geçer. Burada sıvı ürünler ve uçucu kül uzaklaştırılır. Reaktöre gönderilir. Elde edilen gaz ürün 13000 kJ/m^3 lük ısı değerine sahiptir. Purox prosesi ile elde edilen gaz yakıtların bazı özellikleri tablo 3.1 de metanın ve propanın özellikleri ile karşılaştırılarak verilmiştir.

	Purox gaz yakıtı	Metan	Propan
Alt ısı değeri (kJ/m^3)	13000	34000	86000
Sıkıştırılmadaki enerji sarfiyatı (kwh/Mj)	5400	1700	570
Yakma havası ihtiyacı (m^3/Gj)	223	282	276
Yanma ürünleri hacmi (m^3/Gj)	282	311	300
Isı değerleri/Yanma ürünleri sürekli hacmi (Kj/m^3)	3500	3200	3300

Tablo 3.1 Purox gaz yakıtın özellikleri



Şekil 3.3. UNION-CARBIDE purox sistemi

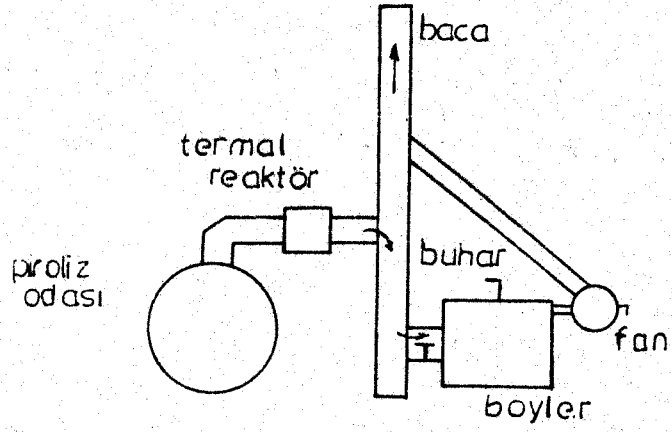
3.1.3 PİROLİS

Biyomasın oksijensiz ortamda fakat gazifikasyondan daha düşük sıcaklıklarda parçalanması suretiyle yağ, mangal kömürü ve sentetik doğal gaz'a dönüştürülmesidir. Pirolis dönüşümü iki aşamada oluşur. Birinci aşamada artık malzemeler mekanik yükleyiciyle pirolis odasına taşınır. Burada gazifikasyon gerçekleşir, piroliz odasındaki yanıcı gazlar bir termal reaktöre geçerek burada tamamen yanmaktadır. Termal reaktörde oluşan sıcak gazlar, ikinci aşamada bir boyler içinden geçirilerek buhar üretmektedir. Pirolis de ısı akışı Şekil(3.4)de gösterilmiştir.

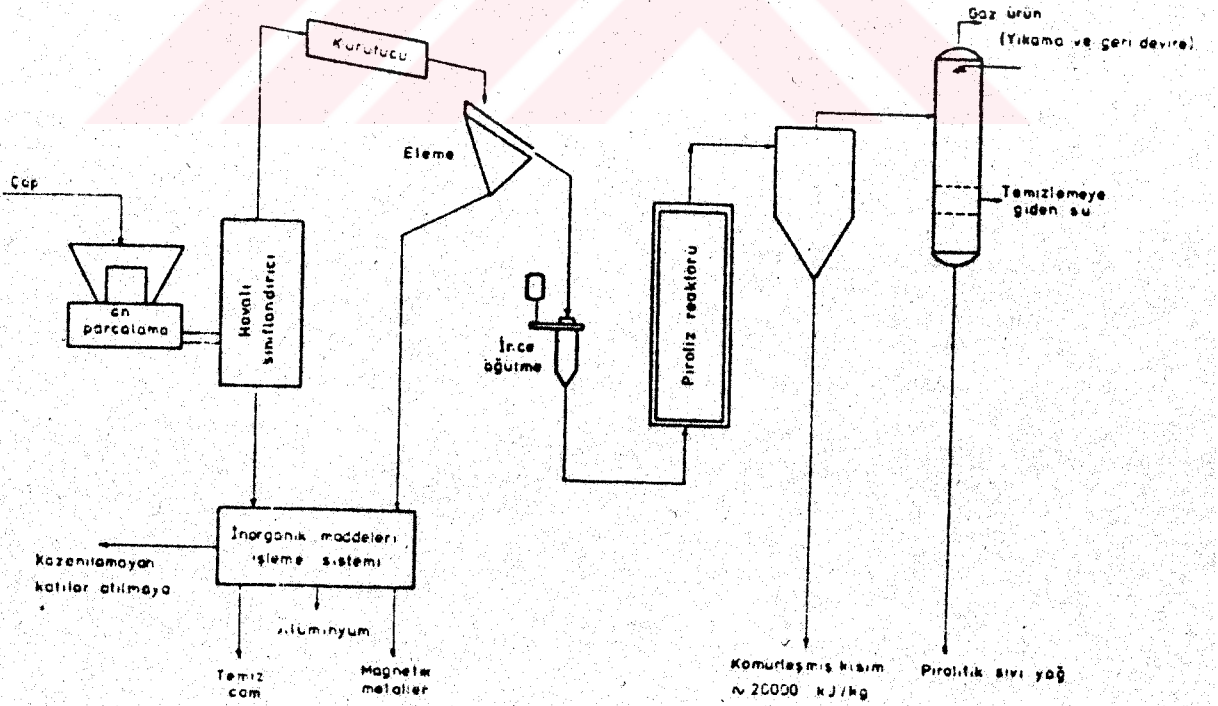
Kömür, sentetik sıvı yakıt elde etme çalışmalarının ortaya çıkardığı flash piroliz prosesinin organik katı artıklarada uygulanabileceği görülmüştür. Endüstriyel katı artıkların değerlendirilmesinde uygulanan flash piroliz prosesi Şekil(3.5)de görülebilir. Buradaki proses kademeleri şöyle sıralanabilir.

1. Ham çöpün 7-8 cm büyüklüğe kadar ön parçalama işlemi
2. Demirli metallerin manyetik olarak ayrılması
3. Pirolis kademesine beslenecek materyalden inorganik materyalin ayrılması amacıyla hava ile sınıflandırma
4. Parçalanmış artıkların % 3 neme kadar kurutulması
5. İnorganik materyali % 4 ün altına düşürmek üzere yapılan eleme işlemi
6. Alüminyum ve camın kazanılması
7. Organik materyalin tekrar öğütülmesi
8. Organik materyalin flash pirolizi
9. Piroliz ürünlerin toplanıp ayrılması.

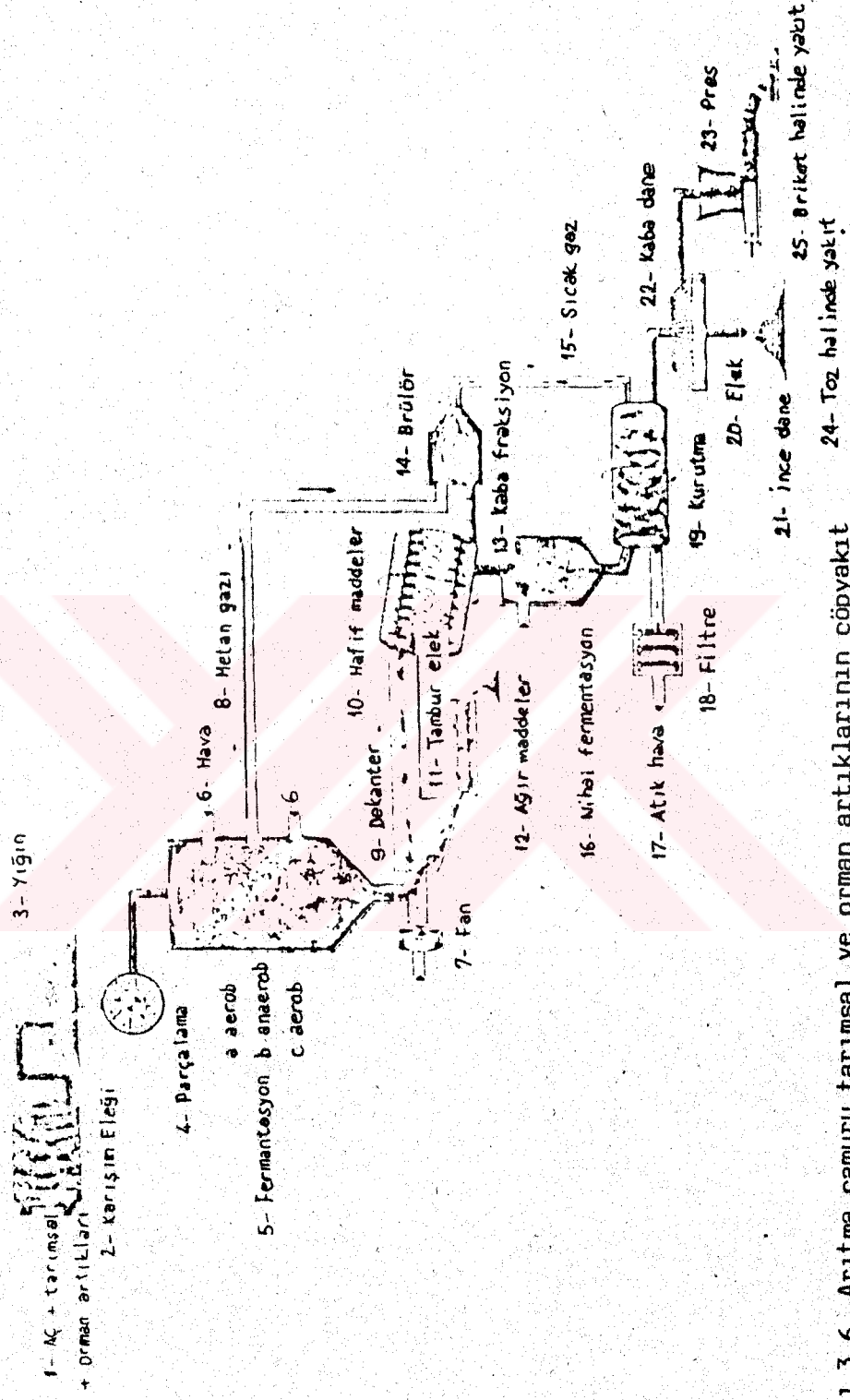
Hammadde hazırlama kademelerinin amacı piroliz reaktörüne kuru oldukça küçültülmüş ve inorganik artıklardan büyük ölçüde kurtarılmış bir besleme akımı verilmesidir. Flash piroliz kademesinde organik materyal havasız ortamda, uygun bir ısıtma sistemi yardımıyla, hızlı bir şekilde devir ettirilen kömürleşmiş organik materyalle birlikte ısıtılmaktadır. Piroliz sonucu sıvı ve gaz ürünler oluşur. Geride kömürleşmiş organik materyal (char) kalır. Organik artıkların pirolis kademesinde kalma süresi çok kısa olup, ısıtma hızı son derece yüksektir. Böylece uçucu ürün miktarı en yüksek ölçüde tutulurken, ürünlerin ikinci derecede parçalanmaları önlenmiş olmaktadır. Sıvı ürün miktarını maksimum değerde tutmada 450~560 °C sıcaklıkları uygun görülmektedir. Sıvı



Şekil 3.4. Piroliz işlemi



Şekil 3.5. Flash-pirroliz prosesi



Şekil 3.6. Arıtma çamuru tarımsal ve orman artıklarının çöpyakıt eldesinin işlem akış şeması

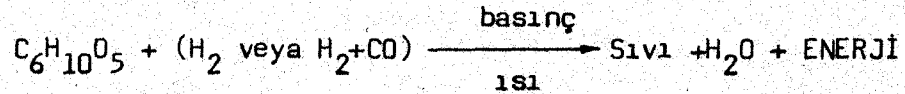
üründe bulunacak % 14~18 nemin değerlendirme açısından uygun bir viskozite sağladığı bildirilmektedir.

Flash pirolizle her ton çöpe karşılık bir varilden fazla pirolitik sıvı ürün elde edilmektedir. Uygun pompalama ve atomizasyon sıcaklığı sağlanması şartıyla pirolitik sıvı ürünün yanma karakteristiklerinin 6 nolu fuel-oil'e benzediği ve çok az is oluşturduğu belirtilmiştir.

Flash piroliz sonucu elde edilen pirolitik kömür (char) beslemenin % 20 sini oluşturur, bileşimi pirolitik gazın bileşimi ile birlikte tablo(3.2)de verilmiştir. Pirolitik kömürün ısı değeri alt bitümlü kömürlere benzer, kül yüzdesi oldukça yüksektir. Şehir çöplerini flash piroliz yöntemi ile değerlendiren 200 ton/gün kapasiteli tesis 1977 den beri çeşitli Avrupa ülkelerinde kullanılmaktadır.

Ülkemiz'de önemli tarımsal artıklardan olan çeltik saplarının değerlendirilmesinde bu yöntemle ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır. Çeltik sapları pirolitik değiştiricide 200~700 °C sıcaklığa tabi tutulmuş, işlem sonunda oluşan kömür değiştiricinin taban bölgesinde bulunan ızgaradan aşağıya hareketli bir depo içerisine sıvı ve gaz yakıt karışımı ise bir ayırıcıya iletilmektedir. Karışım burada ayrıştırılarak sıvı ve gaz yakıt şekline dönüştürülür.

Katalitik bir işlemle biyomasın sıvılaştırılmasında mümkündür. İşlem yüksek basınç ve vasat sıcaklıkta, H₂ veya H₂+CO karışımı içeren bir reaksiyon gerektirir. Elde edilen sıvı çok fazla oksijen ihtiva eder ve direkt yanma hariç yoğun bir rafineri ister. Sistemin denklemi:



şeklinde özetlenebilir.

Yakıta dönüştürülebilen artıkların briket, peilet ve balya haline getirilmesi için yıllardır teknoloji geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu konuda da oldukça gelişmiş ve oturmuş makina ekipmanları mevcuttur. Şekil 3.6 da bir Alman firması tarafından geliştirilmiş çöpten, arıtma çamurundan, tarımsal ve ormansal artıklardan çöp yakıt, taryakıt, oryakıt üretebilecek bir tesisin makina donanımı ve çevresel etki değerlendirmesinde gözönüne alan prosesin işlem akış şeması görülmektedir.

Bileşim (% Ağırlık)	Belediye Çöpü	Pirolitik Ürün	No.6 Fuel-Oil
C	44,2	57,5	85,7
H	5,7	7,6	10,5
S	0,2	0,1-0,3	0,7-3-5
N	0,7	0,9	2
O	42,3	33,4	2
Cl	0,2	0,3	-
Kül	6,7	0,6-1	0,05
Spesifik gravite		1,90	0,98
Isı değeri, kJ/kg		24000	42000
Akma noktası (°C)		32	18-30
Parlama noktası(°C)		56	65
Viskozite cSt(88°C)		3150	340
Pompanın sıcaklığı (°C)		71	46
Atomizasyon sıcaklığı(°)		115	105

Belediye çöplerinin ve pirolitik sıvı ürünün analizi

% Ağırlık	Pirolitik Kömür	% Ağırlık	Pirolitik Gaz
C	48,8	H ₂	11,7
H	3,3	CO	34,9
N	1,1	CO ₂	35,4
S	0,4	CH ₄	5,7
O	12,8	C ₂ H ₄	4,0
Cl	0,3	C ₂	0,4
Kül	33,3	H ₂ S	0,4
Isıl değeri	20900 kJ/kg	Isıl Değeri	13000-18500 kJ/m ³

Pirolitik gaz ve kömürün analizi

Tablo 3.2. Pirolitik ürünlerin kimyasal analizi

3.2 BİYOKİMYASAL DÖNÜŞÜMLER

3.2.1 FERMENTASYON TEKNİĞİ

3.2.1.1. Biyogaz Üretim Prosesleri

Organik artıkların, değişik mikroorganizmalar aracılığıyla belirli sıcaklıklarda parçalanması olayına fermentasyon denir. Havalı ve havasız fermentasyon olmak üzere iki gruba ayırmamız mümkündür. Bu çalışmada havalı ve havasız fermentasyon deyimleri yerine Aerobik ve Anaerobik sindirim ifadeleri kullanılacaktır.

Aerobik sindirim, artıkların hava veya oksijen ile temas halindeki bozunmasını ifade ederken, Anaerobik sindirim havasız ortamda gerçekleştirilen bozunma olayını tanımlar. Organik maddelerin anaerobik işlenmesine oranla aerobik işleme çok daha fazla enerji verir, buda anaerobik işleme yöntemlerine, aerobik işleme yöntemlerinden daha fazla üstünlük sağlar. Öncelikle açığa çıkan enerjinin düşük olması nedeniyle birçok artıklarda ortaya çıkan biyokütle fazlası, aerobik biyokütle nin sadece % 10~20 sidir, bu biyokütle daha dengelidir. Böylelikle balık fazlası sorunuda giderilmiş olur. Ayrıca biyogaz üretiminde gerekli olan birçok mikroorganizma için oksijen öldürücü etki oluşturmaktadır. Anaerobik sindirim sonucu elde edilen son ürün kalitesi yüksek ve doğrudan kullanılabilir bir gübre değerine sahip sindirim çamurudur.

Bu nedenlerden dolayı fermentasyon tekniği ileride detaylı bir şekilde incelenirken "Anaerobik sindirim" prosesi ele alınacaktır. Biyogaz üretimi için bu en ideal prosestir.

3.2.1.2. Etanol Prosesleri

Nişastalı, selülozik ve lignoselülozik artıkların hidrolizi ile elde edilen hidrolizatlardan havasız fermentasyonla etanolde elde edilir. Etanol fermentasyonunda kullanılan en önemli mikroorganizma *Saccharomyces cerevisia* dır. Günümüzde tarımsal ürünlerden etanol üretimi ve etanolün % 10 oranında benzine karıştırılarak motor yakıtı gibi kullanılması gerçekleştirilmiştir. Etanol oktan oranına destek olması gibi bir etkiye sahiptir. % 15~20 oranında süper benzinle karıştırılıp kullanımında gerçekleştirilmiştir. Ancak etanollü benzin kullanılırken bu karışıma suyun kesinlikle bulaşmaması gerekir. Buda bir dezavantaj olarak görülmüştür.

Etanolün setan sayısının düşük olması buharlaşma ısısının yüksek olması ve emme havası sıcaklığını düşürmesi normal zamanda tutuşmayı engellemekte ve motor da yeni düzenlemeler yapılmasını gerektirmektedir.

3.2.2. Hidrojen Eldesi

Hidrojen üreten birçok bakterinin yanında Algler dediğimiz mikroorganizmalar oldukça önemlidir. Mikroorganizmaların türüne ve metabolizmalarında oluşan ara ürünlere göre hidrojen üretim mekanizması değişik olmaktadır.

Işıklı ve ışısız ortamda H_2 ve CO_2 üretilmesi ilk kez chlamy Domonas Moeweusii alg türünden gerçekleştirilmiştir. Daha sonra foto-kimyasal olarak mavi-yeşil algler ve kırmızı algler tarafından hidrojen üretildiği saptanmıştır.

Anaerobik koşullarda azot atmosferinde hidrojenaz enzimi içeren scendesmus gibi tek hücreli alglerin aydınlıkta ürettiği hidrojen miktarının karanlıktakinden 10 kat fazla olduğu gözlenmiştir. Yeşil bitkilerde ve alglerde güneş tarafından suyun yükseltgenmesiyle oksijen molekülleri salınır, açığa çıkan elektronlar CO_2 nin dönüşümünde ve hidrojen oluşumunda kullanılır. Anaerobik çürütücüler de gerçekleştirilen biyofotoliz tekniği halen geliştirilmeye çalışılmaktadır. Böyle bir çalışmayla hem metan hemde hidrojen elde edildiği ve kalan artıkların da gübre olarak değerlendirildiği söylenmektedir (5).

3.3 Enerji Üretim Tekniklerinin İrdelenmesi

Biyomas enerjisini ekonomik bir şekilde kullanabilmek ve elde edebilmek için bu tekniklerden en ideal olanını seçmek gerekmektedir. Yapılan literatür incelemelerinde bu konuda en iyi yöntemin Fermentasyon tekniğinin bir uygulaması olan "ANAEROBİK SİNDİRİM" prosesi olduğu sonucuna varılmıştır.

Direk yanma prosesleri kolay bir yöntem olmakla birlikte çevre kirliliği oluşturmakta, sistemin durdurulup tekrar devreye alınması halinde ilave masraflar gerektirmektedir.

Gazlaştırma ve piroliz yöntemleri sonucu elde edilen ürünün fuel-oil'e göre asidik karakter de olduğu dolayısıyla korrozif özellikler gösterdiği bilinmektedir. Ayrıca bu prosesler çöplerin önceden

mekanik olarak hazırlanmasını gerektirmekte bu faktörde maliyeti yükseltmektedir. Bu tip prosesler çok fazla miktarda artık bırakan ve sadece çöplerin miktarını azaltan işlemler olarak görülmektedir.

Biyolojik dönüşümler içerisinde hidrojen üretimi ileri bir teknolojiyi gerektirmekte ve halen gelişmektedir. Anaerobik sindirim prosesi sonucu çok yaygın bir kullanım alanı olan biyogaz elde edilmektedir. Bu teknik Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülke için fazla masraf gerektirmeyen ve kolay uygulanabilen bir işlem olarak görülmüş ve incelenmiştir.



BÖLÜM 4. ANAEROBİK SİNDİRİM

4.1 Prosesin Biyokimyası

Oksijene gereksinim duyan biyokimyasal süreçlerde O_2 , elektron alıcısı olarak davranıp karbonlu bileşikleri CO_2 'e oksitler. Oksijensiz ortamda gerçekleştirilen biyokimyasal süreçlerde ise elektron alıcısı olarak O_2 yerine NO_3^- (nitrat), NO_2^- (nitrit), SO_4^{2-} (sülfat), H^+ (Proton) ve CO_2 gibi bileşikler görev yapmaktadır. Bu görev sonucunda NO_3^- ve NO_2^- , N_2 gazına (denitrifikasyon) SO_4^{2-} , HS^- ; H^+ , H_2 gazına, CO_2 de CH_4 indirgenir. Bu süreçte önce nitrat, sonra SO_4 ve H^+ son olarakta CO_2 indirgenir.

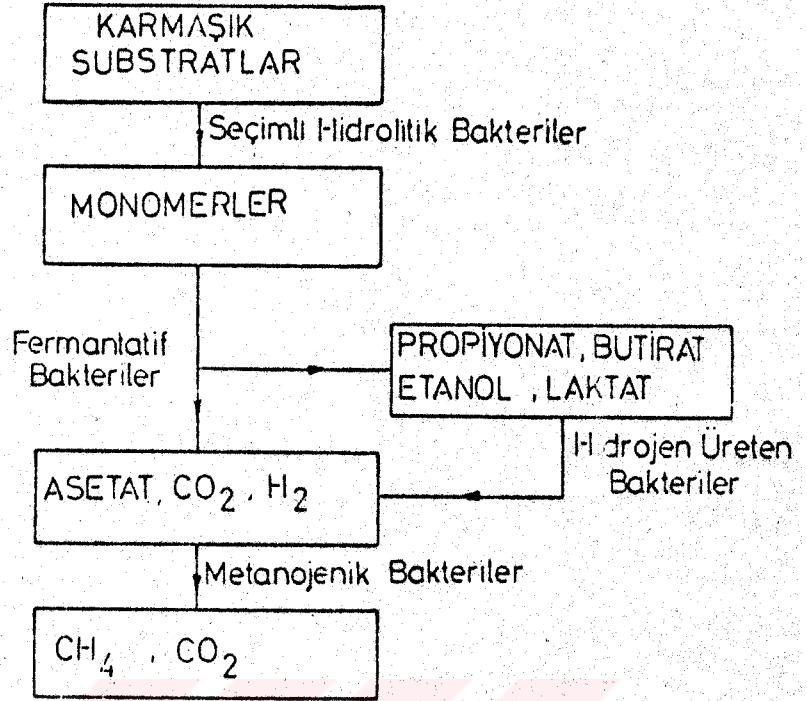
Son zamanlara kadar karmaşık substratların anaerobik sindiriminin iki aşamada gerçekleştiği öne sürülmekteydi. İlk aşamada substrat bir grup fermentatif bakteriler tarafından uçucu asitler, alkoller, CO_2 ve H_2 'e hidrolize olduğu ve ikinci aşamada da bu ara ürünlerin metanojenik bakteriler tarafından metana dönüştüğü kabul ediliyordu. Ancak biyant ve arkadaşlarının 1979 da yaptığı çalışmalar sonucu bu olayın Şekil 4.1 de gösterildiği gibi üç aşamada oluştuğu saptanmıştır.

Birinci aşamada karbonhidrot, protein ve yağlardan oluşan karmaşık organik maddeler, seçimli hidrolitik bakterilerin salgıladıkları lipaz, amilaz, proteaz ve selülaz gibi hücre dışı enzimlerle şeker aminoasit, yağ asitleri ve alkoller gibi suda çözünebilir monomerlerine parçalanmaktadır. Organik karbonun çözünür olmadığı artıklar da (hayvan dışkı ve bitkisel artıklar gibi) bu aşama sistemde hız sınırlayıcı adım olmaktadır.

İkinci aşamada ilk aşamanın ürünleri asetik asit ve CO_2 'e oksitlenirken bir kısımda propiyonat, butirat etanol v.b. gibi maddelere dönüşürler. Bu aşamada H^+ iyonu hidrojen üreten bakteriler tarafından H_2 e indirgenir.

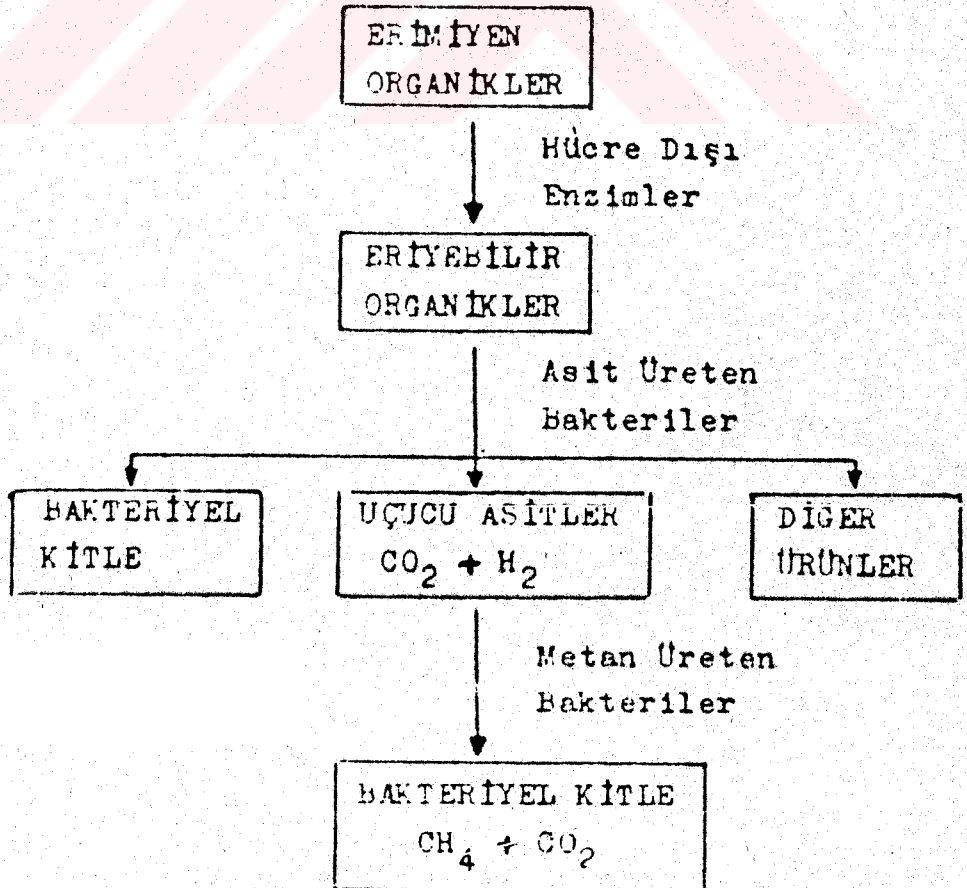
Üçüncü aşamada ise metan üreten bakteriler asetatı, CO_2 ve H_2 ni substrat olarak kullanarak CH_4 oluşumunu gerçekleştirirler. Metan üreten (metanojenik) bakterilerin yeterli derişimde olmamaları halinde sistemde asit birikimi olur ve bunun sonucunda metanojenik bakterilerin ölüm hızları artar. Bu nedenle başarılı bir biyogaz üretiminin gerçek-

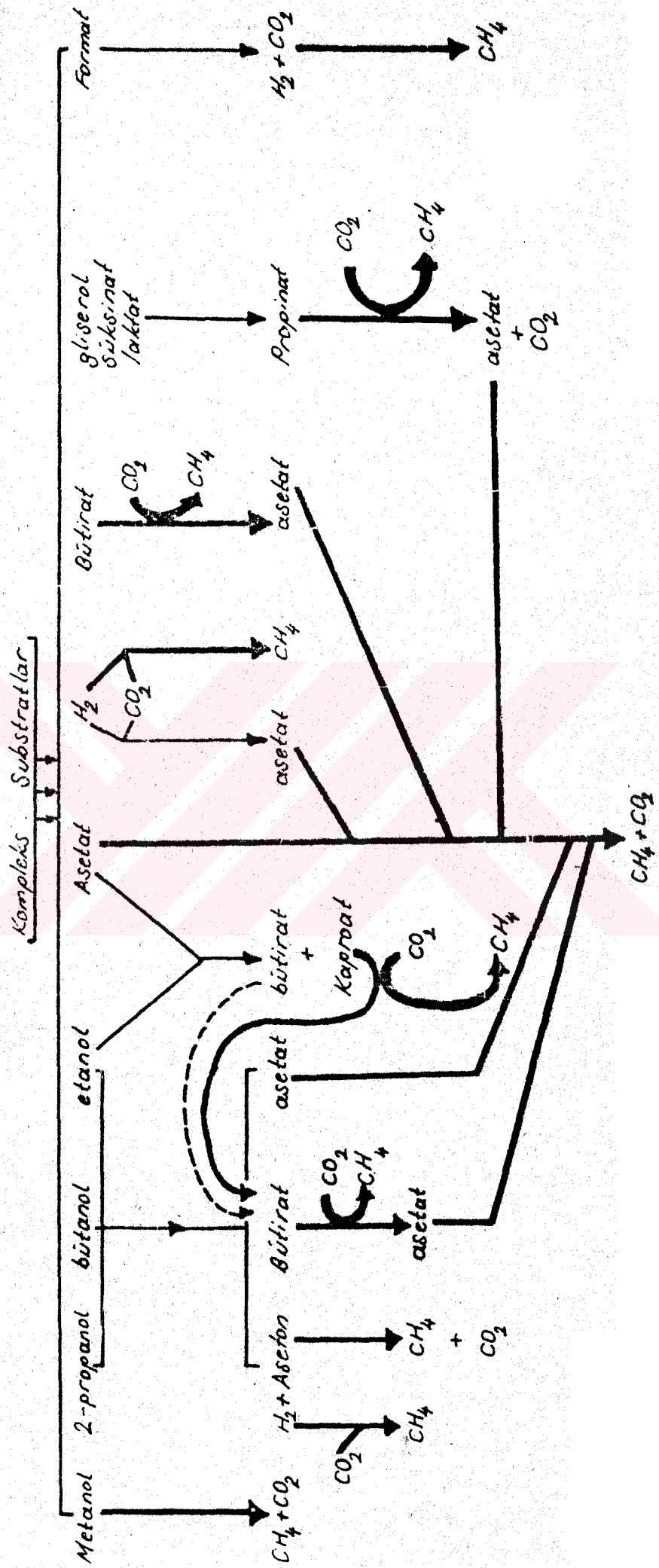
- a -



Şekil 4.1(a,b). Anaerobik sindirimin oluşum düzeni

- b -





Şekil 4.2. Karbon çevrimi maddeleri ile metan bakterilerinin ilişkisi

leşmesinde bu bakterilerin varlığı son derece önemlidir.

Şekil 4.2 de oksijensiz ortamdaki karbon çevriminin maddeleri ile metan bakterileri arasındaki besleme ve metabolizma ilişkileri özetlenmiştir. Şekilde kalın oklar metanojenik bakterilerin faaliyetlerini göstermektedir.

4.2. Biyogaz Oluşumunun Mikrobiyolojisi

Yapılan araştırmalar sonucunda biyogazlaşma sürecinde birbirleriyle çok yakın ilişkileri olan ve aşağıda özetlenen dört bakteri grubunun rol oynadığı saptanmıştır.

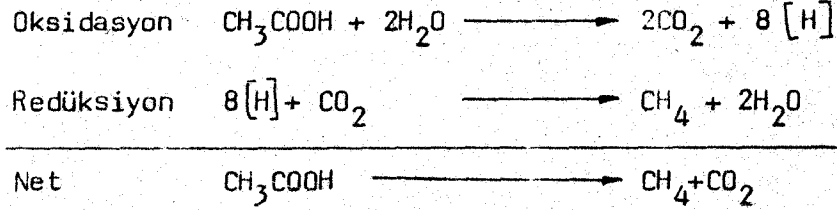
A) Hidrolitik Bakteriler: Bu bakteriler karbonhidrat protein, yağ ve benzeri yapıdaki polimer maddeleri hücre dışına salgıladıkları enzimlerle metabolize ederek, daha ufak moleküllere parçalarlar. Propionibacteri, Escherichia citrobacter, clostridium ve Thermoanaerobium bilinen hidrolitik bakterilerdendir. Bunların içinde clostridium thermocellum önemli bir hidrolitik bakteri olup yüksek sıcaklıkta selülozu parçalama yeteneğine sahiptir.

B) Hidrojen üreten Asetojenik bakteriler: Bu grup bakteriler üçten yedi karbone kadar olan alkol ve uçucu yağ asitlerini hidrojen ve asetata parçalarlar. Bu grubun bilinen en iyi örneği propiyonik asitten H_2 ve asetik asit üreten syntrophobacter wolinii dir.

C) Homoasetojenik Bakteriler: Clostridium ve Acetobacterium lar hidrojen okside edebilen homoasetojenik bakteri grubunun bilinen örnekleridir. Homoasetojenler, hem metan üretiminde gerekli olan asetikasidi oluşturduklarından hemde hidrojeni kullanarak hidrojen dengesini sağladıklarından önemlidirler. Çünkü, H_2 nin kısmi basıncının yüksek olması metanojenik bakterilerin ölmesine neden olmaktadır.

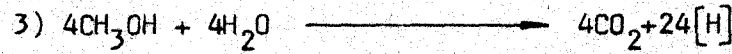
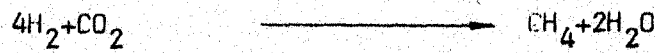
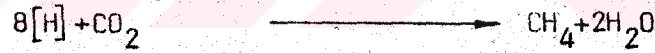
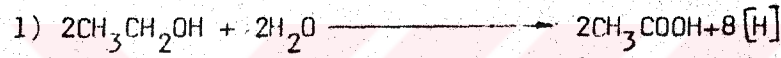
D) Metanojenik Bakteriler: Biyogazlaşma sürecinin en son aşamasında etkin olan metanojenik bakterilerin hemen hepsi enerji ve hücre karbonunun sentezi için H_2 ve CO_2 'e substrat olarak kullanabilirler. Ayrıca format, metanol ve asetat bazı metanojenikler tarafından substrat olarak kullanılabilirler. Amino asitleri ve moleküler azotu ise azot kaynağı olarak kullanamazlar. Azot kaynağı olarak NH_4 'a gereksinim duyarlar. Bazı metanojenik türlerinde kükürt kaynağı olarak H_2S ihtiyaç duydukları belirlenmiştir. Metanojenik bakteriler anorganik tuzlara da gereksinim duyarlar.

CH₄ oluşumu bakterilerin metabolizmaları sonucu olan küçük moleküllü organik bileşiklerin metan bakterileri tarafından CO₂'e oksidasyonu ve oluşan karbondioksitin tümünün yada bir kısmının redüksiyonu ile olmaktadır.

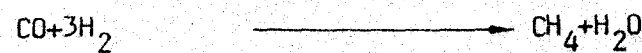


Çeşitli metan bakterilerinin gerçekleştirdiği metan oluşumu reaksiyonları aşağıda belirtilmiştir.

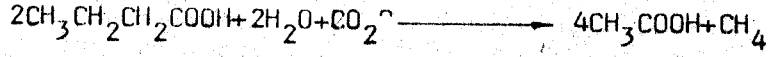
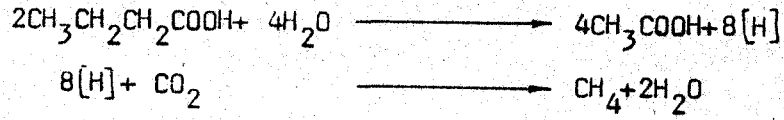
a) Methanobacterium Omelianskii



b) Methanobacterium Formicicum:



c) Methanobacterium Suboxydans



d) Methanobacterium Propionicum



(a) (1), (b) ve (c) şıklarında asetat bir ek son ürün olarak oluşur. Substratlar tümüyle metana dönüşmemiştir. Substratların tümüyle oksitlenememesinden dolayı bu tip reaksiyonlar fermentatif tip olarak adlandırılır.

Yukarıdaki bakteri türleri içerisinde, çubuk şekilli müstakil olarak yaşayan ve sıcak ortamı seven Methanobacterium omelianskii türü literatürlerde belirtildiğine göre metan üretiminde en yaygın kullanılanıdır.

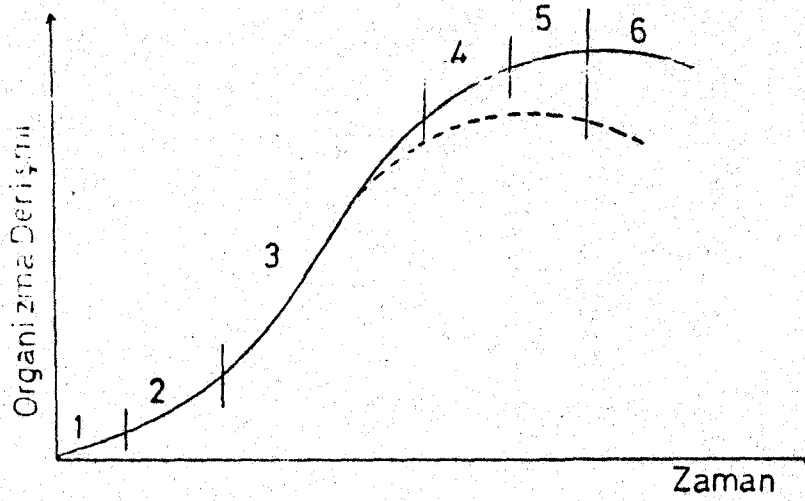
4.3. Biyogaz Üretimine Etki Eden Faktörler

Biyogaz değişik tür mikroorganizma faaliyetlerinin yer aldığı fermentasyon işleminin sonucudur. Mikroorganizmaların gelişme ve üremelerine etki eden faktörler, dolaylı olarak biyogazlaşma sürecinde etkileyecektir. Üretime etki eden faktörler aşağıda özetlenmiştir.

4.3.1. Mikroorganizmaların Üreme Evreleri:

Mikroorganizmaların gelişme ve üremeleri sırasında geçirmekte oldukları evreler Şekil 4.3 de gösterilmiştir.

Birinci evre gelişme evresi olup sistemdeki mikroorganizmalar ortama uyum gösterip çoğalmaya başlayıncaya kadar geçen süredir. Bu evrede hücre sayısında önemli bir artış gözlenir. Gelişme evresi süresinin kısıtlanması ekonomik yönden yararlıdır.



Şekil 4.3. Mikroorganizmaların üreme evreleri

Gelişme evresinden sonra mikroorganizma sayısı artmaya başlar. Bu evreye hızlanma veya geçiş evresi denir. Üçüncü evre "logaritmik evre" olarak adlandırılmaktadır. Bu evrede mikroorganizmalar üssel olarak artar. Mikroorganizmaların üçüncü evrede genç ve dinç oldukları kabul edilerek ölüm yok sayılmakta ve kinetik bağıntılar türetilirken mikroorganizmaların ölüm hızı gözönüne alınmamaktadır.

Kesikli çalışan fermentörlerde, ortamdaki besin giderek azalmakta, mikroorganizmaları inhibe edecek ara ürünler oluşabilmekte sonuçta üreme ideallikten saparak şekil 4.3 de gösterilen duruma düşmektedir. Sürekli sistemde ise taze besin beslenmesi yapıldığından ideal olarak gösterilen logaritmik evreye varılabilir. Logaritmik devrede mikroorganizmaların üremeleri:

$$n = n_0 e^{kt} \quad (4.1)$$

üssel bağıntısı ile verilmektedir. Burada;

n_0 : Başlangıçtaki canlı mikroorganizma sayısı

n : Herhangi bir t anındaki canlı mikroorganizma sayısı

k : Sabit

t : zaman

ifade etmektedir. $\ln \frac{n}{n_0}$ ile t arasında çizilen grafikten elde edilen doğrunun eğimi logaritmik evredeki üreme hız sabiti (k) değerini

verir.

Logaritmik evreden sonra mikroorganizmaların yaşlanması ve ölüm olayının belirginleşmesi üzerine üreme hızında yavaşlama gözlenir. Dördüncü evreye yavaşlama evresi denilir. Beşinci evreye ise "duraklama evresi" denilmektedir. Bu evrede bazı mikroorganizmalar ürerken bazıları da ölür, bazılarıda üremeden yaşamlarını sürdürür. Bu evrede mikroorganizmalarda net artış yada azalış gözlenmez. Son evre olan altında evrede mikroorganizmaların ölüm hızları artmakta ve bu nedenle mikroorganizma derişiminde azalma olmaktadır.

Şekil 4.3 den anlaşılacağı gibi verimli bir biyogaz üretimini gerçekleştirebilmek için mikroorganizmaların üreme evrelerini mümkün olduğu kadar ikinci ve dördüncü evre arasında tutabilecek koşulları temin etmek gerekmektedir.

4.3.2. Biyogaz Üretiminde Sıcaklığın Etkisi:

Sıcaklık mikroorganizmaların üreme hızına etki eden bir faktör olduğundan, biyogaz üretiminde de önemli etkisi olmaktadır. Üreme hızının sıcaklığa bağımlılığına göre mikroorganizmaların sınıflandırılması Tablo 4.1 de verilmiştir.

Grup	Sıcaklık (°C)		
	minimum	optimum	maksimum
Termofil	40 - 45	55 - 70	60 - 80
Mezofil	10 - 15	30 - 45	35 - 47
Psikofil	(-5)- 5	15-- 18	19 - 22
Fakültatif	(-5)- 5	25 - 30	30 - 35

Tablo 4.1 Mikroorganizmaların üreme hızının sıcaklığa göre sınıflandırılması

Sıcaklığın etkisi Arrhenius bağıntısına göre tanımlanabilir. Bu bağıntıya göre reaksiyon hızı katsayısı,

$$k = A_r e^{-E/RT} \quad (4.2)$$

k: Reaksiyon hız katsayısı (gün⁻¹)

R: Gaz sabiti (kj/kmol °k)

E: Aktivasyon enerjisi (kj/kmol)

A_r : Arrhenius katsayısı (gün^{-1})

ifade etmektedir.

Mikroorganizmalar canlı varlıklar olduklarından, belirli bir sıcaklıktan sonra sıcaklıktaki artış, organizmaları öldüreceğinden üreme hız katsayısı da azalmakta ve eğim ters yöne doğru değişmektedir. Eğimin ters yöne doğru değiştiği yani kırılmanın başladığı bu nokta üretim için en uygun sıcaklığı vermektedir. Biyogaz üretiminde optimum sıcaklık bulunmasında mikroorganizmaların özgül büyüme hızı temel alınmalıdır. Böylece büyüme hızları optimuma ulaşan mikroorganizmaların substratı tüketme ve dolaylı olarak metan üretme hızları artacaktır. Çeşitli araştırmacılar 60°C nin termofilik, 35°C nin mezofilik bölge için optimum olduğunu saptamıştır. Bu araştırmacılar (Varel, Hashimoto) sıcaklığın, mikroorganizmaların maksimum özgül büyüme hızı (μ_m) üzerine etki eden birinci faktör olduğunu aşağıdaki ampirik bağıntıyla göstermişlerdir.

$$\mu_m = 0,013 T - 0,129 \quad (4.3)$$

Burada;

μ_m = Maksimum özgül büyüme hızı (gün^{-1})

T = Sıcaklık, ($^{\circ}\text{C}$)

ifade etmektedir. Bu bağıntı, sıcaklığın 20°C ile 60°C arasındaki değerleri için geçerli olmaktadır. F.S.Atalay'ın bu konuda yaptığı deneyler ve incelemelerde kesikli fermentörlerde sıcaklığın fazla önem taşımadığı görülmüştür. İnek gübresi ile yapılan bu deneylerde sıcaklığın artmasıyla birlikte fermentasyon süresinin kısaldığı gözlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda da metan üretilebilmekte ancak istenilen miktarı üretmek için gerekli fermentör hacmi çok büyük olmakta, buda sistemin kuruluş maliyetini artırmaktadır. Bu nedenle biyogaz üretimi gerçekleştirmek için çalışma sıcaklığı mezolitik yada termofilitik bölgede seçilmektedir.

Metanojenik bakterilerin sıcaklık değişimlerinden etkilendiği bilinmektedir. Speece ve Kem asetatla beslenen mezofilik bir kültürü 15 dakika ile iki saat arasında sürelerde $15^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{C}$ sıcaklık düşmelerine tabi tutarak 20°C nin altında gaz üretiminin tamamen durduğunu ancak sistem 35°C ye çıkarıldığında gaz üretiminin tekrar başladığını gözlemişlerdir. Bu sonuç, mezofilik metanojenlerin kısa süreli sıcaklık

değişikliklerine uyum gösterdiğini ve sistem tekrar sıcaklığına getirildiğinde faaliyetlerine devam edebileceklerini ortaya koymaktadır.

Ancak, termofilik metanojenler için durum böyle değildir. D. Stuckey termofilik metanojenlerin sıcaklığa karşı çok hassas olduklarını ve 1^o-2^oC lik sıcaklık değişimlerinin bile kısa sürede giderilmemesi halinde termofilik metanojenlerin öleceklerini ve neticede gaz üretiminin tamamen durabileceğini belirtmiştir. Bu nedenle termofilik sıcaklıkta çalışmak çok hassas sıcaklık kontrolünde beraberinde getirmekte bu durum küçük tesisler için ekonomik olmamaktadır.

4.3.3. Besin ve Katkı Maddelerinin Üretime Etkisi

Anaerobik sindirimde organizmaların besin ihtiyacı tespit edilirken daha önce bahsedilen dört grup organizmayı ayrı ayrı incelemek gerekir. Fermentatif bakterilerin büyüme hızları genellikle yüksek olup az bir besin eksikliği olsa dahi, büyüme hızlarında azalma genel süreci fazla etkilememektedir. Ancak aretojenler ve metanojenler söz konusu olduğunda besin maddelerindeki bir sınırlama anaerobik sindirim sürecini bozmaktadır.

Üreteçlerin çoğu substrat kullanım modeli temel alınarak tasarlanmaktadır. Eğer bir besin maddesi sınırlayıcı rol oynuyorsa bu durum da reaksiyon hızı substrat teminine değil, bu besin maddesinin teminine bağlı olmaktadır. Mümkün olan en yüksek sindirim hızını sağlayabilmek için bütün besin maddelerinin gerekli miktarlardan daha fazla bulunması gerekir.

Farklı bakteriler üzerinde yapılan denemeler sonucunda bakterilerin % 80 H₂O ve % 20 sinin kuru madde olduğu, ve bu kuru maddenin yaklaşık % 90'nının organik % 10 nun anorganik madde olduğu saptanmıştır. Yapılan elementel analiz sonucunda bakterilerin yaklaşık formülünde C₅H₇O₂ olarak saptanmıştır. Bu formülden anlaşılacağı gibi organik klemen ağırlıkça % 53'ü karbondur. Yani bakterilerin metabolik faaliyetleri için öncelikle karbon kaynağına gereksinim vardır. Karbon ile birlikte azot ve anorganik maddeler gibi diğer besin kaynaklarına ihtiyaç vardır. Bakterilerin anorganik kısmının içerdiği bileşiklerin niteliği % 50 P₂O₅, % 15 SO₃, % 11 Na₂O, % 9 CaO, % 8 MgO, % 6K₂O ve % 1 Fe₂O₃ şeklindedir. Buradan anorganik maddeler içerisinde fosfora en fazla gereksinim duyulacağı anlaşılmaktadır.

Anaerobik mikroorganizmaların en önemli besin maddeleri karbon ve azottur. Bakteriler karbonun bir kısmını ve azotu yeni hücrelerin oluşturulmasında yapı malzemesi olarak değerlendirirken karbonun bir kısmını da yaşamlarını sürdürebilmek için enerji kaynağı olarak kullanmaktadırlar. Bu nedenle biyogaz üretiminde C/N oranı son derece önemlidir.

C/N oranının etkisi üzerinde birçok araştırmacı çalışmıştır. Sievers ve Brune glukoz ve üreyi kullanarak domuz gübresinde 2 den 25'e kadar değişen C/N oranlarında denemeler yapıp düşük C/N oranında amonyakın zehir etkisi nedeniyle düşük CH_4 verimi elde ettiklerini ve maksimum CH_4 verimliliğinin C/N oranı 16-19 arasında olduğunu saptamışlardır. Diğer bir araştırmacı Hills inek gübresi içine glukoz katarak $35^{\circ}C$ de deneyler yapmış ve C/N oranını 25 olarak saptamıştır. C/N oranı değişik biyomas kaynakları için Tablo 4.2 de gösterilmiştir.

Sonuçta düşük C/N oranına sahip artıkların fermantasyonunda daha yüksek CH_4 verimi elde edebilmek için, biyolojik parçalanabilirliği yüksek karbon kaynakları ile takviye edilmesi gerekmektedir.

Diğer taraftan mikroorganizmaların üremeleri için anorganik maddelerde gereksinim olmaktadır. Clark ve Speece 150/2 oranında karbon fosfor önermektedirler. Biyokimyasal bulgular Mg^{+2} iyonlarının mikroorganizmadaki fosfotaz enziminin aktivatörü olduğunu göstermektedir. Bu nedenle Mg^{+2} iyonlarından yoksun yada bu iyonların yetersiz oranda bulunduğu besin ortamından gelişen bakterilerde fosforilasyon reaksiyonu yavaşlayacağı için gelişme evresi uzun olmaktadır. Diğer taraftan K, Zn, Mn ve Cu'a da gereksinim duyulmaktadır. Keza Fe^{+3} şeklinde 300 mg/lit ye kadar demir katılmasının sindirim hızında önemli bir artış gösterdiği saptanmıştır. Bu durum değişik enzimlerin demire gösterdikleri gereksinimin bir fonksiyonu olduğu gibi demirin çözültiden sülfidi çökeltmesi ve böylece sülfid inkibisyonunu indirgemesinde yardımcı olmaktadır.

Besin maddeleri dışındaki katkı maddelerin (örneğin enzimler) etkisi konusunda uzun yıllar araştırmalar yapılmış ancak henüz sonuçta varılamamıştır.

Özellikle, sisteme selüloz enzimi katılarak bu enzimin selüloz artıklarına hücum edeceği böylece lignin kılıfının yırtılarak selülozun enzim hücumuna açık hale geleceği düşünülmektedir.

C, 8 ağırlık N, 8 ağırlık C/N

Organik Madde

Organik Madde	C, 8 ağırlık N, 8 ağırlık C/N	C, 8 ağırlık N, 8 ağırlık C/N
Bitki		
Buğday sapı	46	0,53 87:1
Çeltik sapı	42	0,63 67:1
Mısır sapı	40	0,75 53:1
Dökülmüş yaprak	41	1,00 41:1
Soyafasülyesi sapı	41	1,30 32:1
Ot	14	0,54 27:1
Yer fıstığı sap ve yaprağı	11	0,53 19:1
Gübre		
Koyun	16	0,55 29:1
Siğir	7,3	0,29 25:1
At	10	0,42 24:1
Domuz	7,8	0,65 13:1
İnsan dışkısı	2,5	0,85 2,9:1

4.3.4. Biyolojik Parçalanabilirliğin Üretime Etkisi

Karmaşık organik maddelerin biyolojik parçalanabilirliğini doğrudan ölçmek mümkün değildir. Çünkü bunlar bakteriler tarafından ayrıştırıldıklarında bir bölümü metan gibi son ürünlere dönüşürken, geri kalanı bakteriyel hücrelere dönüşmektedir. Bu nedenle uçucu katılardaki toplam azalma bakteriyel hücrelere dönüşen kısma ilişkin bir ölçü vermediğinden biyolojik parçalanabilirliğin ancak bir göstergesi olabilmektedir. Bu ölçü üretilen metan miktarının değerlendirilmesine imkan verdiği için mühendislik açısından çok geçerli olmaktadır.

Bir organik maddenin biyolojik parçalanabilirliği esas olarak onun fiziki ve kimyasal yapısına bağlıdır. Genel olarak bir substrat ne kadar karmaşık olursa ayrışabilirliği de o kadar düşük olur. Bu nedenle suda çözünür organikler çözünmeyenlere oranla daha fazla ayrışabilir eğilimdedirler. Saf selüloz ve lağım suyunda bulunan selülozun biyolojik parçalanabilirliğinin yüksek olduğu saptanmıştır. Hayvan ve tarımsal artıklarda olduğu gibi selüloz önemli miktarda lignin ve biraraya geldiğinde biyolojik parçalanabilirlik önemli miktarda azalmaktadır. Bunun, tümüyle erimez durumda olan ligninin selüloz boşluklarını doldurarak lignoselüloz boşluklarını doldurarak lignoselüloz bileşiğini oluşturması ve böylece selüloz enziminin içeriye girmesini engellemesinden ileri geldiği saptanmıştır.

Chandler ve çalışma grubu, lignin içeriği ile uçucu katıların parçalanması arasındaki ilişki üzerinde yaptıkları araştırma sonucunda, uçucu katıların sindirimi ile lignin arasında aşağıda verilen lineer bağıntının olduğunu saptamışlardır.

$$BY = -0.028 X_1 + 0.83 \quad (4.4)$$

Burada;

BY: Uçucu katının biyolojik parçalanabilir yüzdesi

X_1 : Uçucu katıdaki lignin yüzdesi.

Büyükbaş hayvanlardan elde edilen çiftlik gübresi üzerinde yapılan deneyler sonucunda biyolojik parçalanabilirliğinin toplam uçucu katının % 53-57 arasında olduğu saptanmıştır. Böyle lignoselülozik bileşiklerin biyolojik parçalanabilirliğini artırmanın tek yolu sindirim öncesi yapılarını ısıtıl yada kimyasal yöntemlerle değiştirmektir. Böylece çözünür hale getirilen lignoselülozun çözünürlük devresine göre

ayrışabilme yüzdeside artmış olacaktır.

Biyogaz üreteçlerinde geçerli olabilecek substrat tüketim modellerinde substrat derişimi olarak toplam uçucu katı yerine biyolojik parçalanana uçucu katı derişimi alınmalıdır. Buna göre kesikli fermentörde biyolojik parçalanabilir uçucu katı maddenin derişimi, gaz üretiminde harcanan uçucu katının derişimi ile mikroorganizma derişiminin toplamına eşit olacaktır.

4.3.5. Alkalite ve PH'nın Üretime Etkisi

Anaerobik sindirim için optimum PH aralığı 6,8-7,5 arasındadır. Anaerobik sistemlerdeki PH, CO₂/HCO₃ tamponunun karşılıklı etkileşimi ve amonyağın bazik görevi ile kontrol edilmektedir. Biyogaz üreteçlerinde CO₂/HCO₃ tamponu CO₂ in biyolojik evrede oluşumu ile sıvı evreden gaz evreye olan kütle transferine bağlı olmaktadır. CO₂ in sıvı fazda birikimi,

$$\frac{d(\text{CO}_2)_s}{dt} = R_B - k_{1a}(C - C_d) \quad (4.5)$$

bağıntısı ile verilir. Burada,

(CO₂)_s: Sıvı fazdaki CO₂ derişimi (mol/lt)

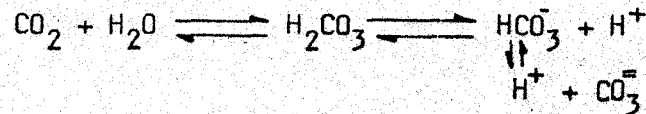
R_B : Biyolojik evrede üretilen CO₂ (mol/lt-gün)

k_{1a} : CO₂ in sıvı evreden gaz evreye olan kütle aktarım katsayısı (gün⁻¹)

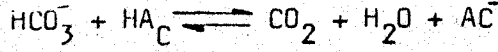
C : Sıvı evredeki CO₂ derişimi (mol/lt)

C_d : Gaz evredeki CO₂ ile dengede olan sıvı evredeki CO₂ derişimi (mol/lt)

ifade etmektedir. Çözünün CO₂ su ile aşağıdaki dengelere karbonat ve bikarbonat iyonları oluşturur.



Sıvı evredeki CO₂'in derişimi bu dengelerdeki iyonlaşma sabitlerine ve PH'a bağlı olacaktır. Aşırı yükleme ve zehirlenme nedeni ile üreteçteki denge bozulursa, uçucu asit derişimi artar ve HCO₃⁻ alkalitesini yok eder.



reaksiyonuna göre HCO_3^- azalır ve neticede $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$ tamponu bozularak sistemin PH'ı azalır. Bu durumda sistem PH'ını optimum sınırlar içinde tutabilmek için NaOH, NaHCO_3 , veya Ca(OH)_2 ilave edilebilir.

PH biyogaz üretiminde önemli olmakla birlikte yeterli C/N oranı oksijen ve diğer toksik maddelerin yokluğu v.b. koşulları sağlamış bir üreteçte optimum PH doğal olarak korunmaktadır (2).

4.3.6. Aşı Mikroorganizmanın Üretime Etkisi

Mikroorganizmaların birinci evresi olan gelişme evresini ortadan kaldırmak için sisteme aşı yapmak gereklidir.

F.S.Atala yaptığı araştırmalarda ve deneylerde, 2 mm elekten inek dışkısı süzülerek elde edilen elekaltı, serum şişelerine alınarak aşı mikroorganizma üretilmiş ve bu kültürden alınan organizmalar üreteçlere % 3 uçucu katı oranında aşılanmış, bu sayede mikroorganizmaların gecikme evresinin kısaldığını ve ortalama $0.36 \text{ ltCH}_4/\text{g}$ tükenen VS verimliliğinde metan üretimini gerçekleştirmiştir.

Aşı mikroorganizmaların üretilmesinde değişik kaynaklardan alınan (lağım suyu, şembe v.b.) organizmaların aşı kültürüne aşılanmasından elde edilecek kültürlerin metan verimliliğini dahada artırabileceği düşünülerek aşı kültürleri üretimi yönünde çalışmaların yapılması gerekmektedir.

4.3.7 Karıştırmanın Üretime Etkisi

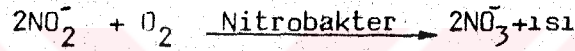
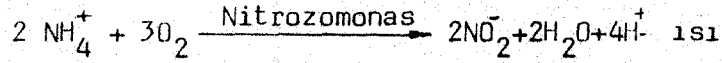
Karıştırma sistemde homojenlik sağlama açısından önemli olmaktadır. Substrat ve mikroorganizmaların dağılımında sağlanan homojenlik, organizmaların dengeli bir şekilde metabolizmalarını sürdürmelerini sağlamaktadır. Karıştırılmayan serum şişesinde fermente edilen inek dışkısının üç ayrı tabakaya ayrıldığı gözlenmiştir. Üst kısımda suyunu kaybeden hafif katmanların oluşturduğu katı katman gaz çıkışını engellemektedir. Orta kısımda sıvı evre, en alt kısımda da yüklenen dışkının 2/3 lük kısmının çöktüğü bir katman oluşmaktadır.

Karıştırma yapılmadığında sıcaklıkta homojen bir dağılım göstermemektedir. Hashimoto ve çalışma gurubu, sürekli karıştırmanın metan üretim hızına olan etkisini incelemiş ve sürekli karıştırılan ferman-

törlerde, günde ortalama iki saat karıştırılan fermentörlerden elde edilen metanın % 8-11 kadar daha fazla metan elde edildiğini gözlemişlerdir.

4.3.8. Zehirleyiciler ve Üretime Olan Etkileri

Anaerobik mikroorganizmalar oksijene karşı çok duyarlı olup özellikle metanojenik bakteriler çözülmüş oksijen tarafından zehirlenmektedirler. Diğer taraftan, üretilen nitrit ve nitrat bakterileri amonyum iyonunu ortamda çözülmüş halde bulunan oksijen ile okside etmekte ve sonuçta NH_4^+ kaybına neden olmaktadır. Bu olay sıcaklıkla artmaktadır.



Bu reaksiyonlar sonucunda H^+ iyonu açığa çıktığından ortam PH'nin düşmesine neden olmaktadır. Sonuçta, ortamda metanojen ve asetojen bakterilerin üremeleri NH_4^+ iyonunun kaybolması nedeniyle sınırlanmış olmaktadır.

Yapılan araştırmalar, Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{++} , Mg^{++} ve Fe^{+3} iyonlarının dışındaki iyonların 10 mg/lt derişim değerlerinde bile zehir etkisi yaptıklarını göstermiştir. Üretilen ve antagones olarak adlandırılan iyonların zehir etkisini azalttığı belirlenmiştir. Keyleman ve McCarty 300 mg/lt K^+ iyonunun, 7000 mg/lt Na^+ iyonunun zehir etkisini % 80 azalttığını saptamışlardır. Bu zehir etkisi 150 mg/lt Ca^{++} iyonlarının katılmasıyla tamamen ortadan kalkmaktadır.

NH_3 3000 mg/lt den fazla derişimde toksik olmakta ve düşük derişimlerde bile zehir etkisini sürdürebilmektedir. Amonyakın zehir etkisi PH'a çok bağımlıdır. PH 7,5 üstünde olduğunda $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ dengesi NH_3 lehine dönerek amonyak derişiminin artmasına neden olmaktadır.

Organik maddelerin zehir etkileri çok daha düşük derişimlerde olabilmektedir. Yapılan çalışmalarda bir milimolden küçük derişimlerde zehir etkisi yapan organik maddelerin CCl_4 , CHCl_3 , CHCl_2 , etilen klorür, amin ve hidrozinler olduğunu, bir milimolden daha yüksek derişimlerde propiyonik asit gibi uzun yağ asitlerinin zehir etkisi yaptığı saptanmıştır. Arka sayfadaki tabloda katyonların zehir etkisi yaptığı

maksimum iyon derişimleri mg/lt cinsinden verilmiştir.

Kasyon	Normalde	Alışılmış Durum	Antagonislerin Varlığında	
			Normalde	Alışılmış Durum
Na	4600	7000	5750-7000	10500
NH ₄	1800	-	2700-3240	-
K	3500	5850	5580-7800	13600
Ca	2800	8000	5200	800
Mg	1215	1820	2430	3400

Tablo 4.3 Kasyonların zehir etkisi yapan (mg/lt) derişim değerleri

4.4 Mikro Organizmaların Üreme Tekniği

Biyogaz üreteçlerinin tasarımının yapılabilmesi için mikroorganizmaların üreme kinetiğini ve bundan yararlanarak, substrat tüketim ve gaz üretim modellerinin saptanması gerekmektedir. Bu bölümde konu ile teorik yaklaşım ve daha önceden yapılmış deneysel bulgular-dan yararlanılarak kesikli bir sistem için geliştirilmiş metamatiksel model aktarılacaktır (3).

Kesikli bir üreteçte substrat ve mikroorganizmaların ölüm hızını ihmal ederek kütle denklikleri kurulursa,

$$\frac{dS}{dt} = - \left(\frac{\mu}{Y_{x/S}} \right) X \quad (4.6)$$

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (4.7)$$

bağıntıları bulunur (2). Burada;

S: Biyolojik parçalanabilen uçucu katı olarak substrat konsantrasyonu (g/lt)

X: Mikroorganizmaların kütleli konsantrasyonu (g/lt)

$Y_{x/S}$: Verimlilik katsayısı, (üretilen g.mikroo./Tüketilen g.sub)

μ : Mikroorganizma özgül büyüme hızı (gün^{-1})

Verimlilik katsayısı substrat cinsine bağılı olup yaklaşık ola-

rak sabit kalmaktadır. Monod'un bulgularına göre $Y_{x/s}$ değeri,

$$Y_{x/s} \approx -(dx/dS) \quad (4.8)$$

olmaktadır. (4.8) nolu denklemin sınır değerlerine göre entegre edilmesinden

$$x = x_0 + Y_{x/s}(S_0 - S) \quad (4.9)$$

bağıntısı bulunur. Burada,

x_0 = Başlangıç anındaki mikroorganizma konsant. (g/lit)

S_0 = Başlangıç anındaki substrat konsant. (g/lit)

ifade etmektedir. Eğer özgül büyüme hızı (2), substrat derişiminin fonksiyonu olarak ifade edilebilirse (4-6) nolu denklik sayesinde substrat-zaman ilişkisi çıkarılabilir. Mikroorganizmaların özgül büyüme hızlarına ait denklikler tablo 4.4 de verilmiştir (11).

Denklik Adı	Denklik
Monod	$\mu = \mu_m S(K_S + S)^{-1}$
Gizli Büyüme	$\mu = \mu_m S(K_{S_0} + S)^{-1}$
Teiser	$\mu = \mu_m S(K_1 + K_2 S_0 + S)^{-1}$ $\mu = \mu_m (1 - e^{-S/k})$
Contois	$\mu = \mu_m S(BX + S)^{-1}$
Moser	$\mu = \mu_m (1 + KS^{-1})^{-1}$
Substrat inhibisyonu	$\mu = \mu_m (1 + K_S/S + S/K_i)^{-1}$ $\mu = \mu_m (1 + K_S/S + (S/k_i)^2)^{-1}$

Tablo 4.4. Mikroorganizmaların özgül büyüme hızları.

Tablo 4.4 den faydalanarak elde edilen substrat-zaman ilişkileri çeşitli kaynaklarda detaylı olarak verilmiştir. Ege Üniversitesi Kimya bölümünde F.S. Atalay'ın yaptığı deneysel incelemeler (inek gübresi için), mikroorganizmaların özgül büyüme hızını ifade etmek için

Contois denkleğinin en uygun denklik olduğunu göstermiştir. Bu durumda özgül büyüme hızı ve kesikli sistem için aşağıdaki bağıntıların kullanılması gerekmektedir.

$$\mu = \mu_m S(BX+S)^{-1} \quad (4.10)$$

$$t = \frac{K(X_0+YS)}{\mu_m(X_0+YS_c)} \ln \frac{S_0 X_0 + Y(S_0 - S)}{X_0 S} + \frac{1-K}{\mu_m} \ln \frac{X_0 + Y(S_0 - S)}{X_0} \quad (4.11)$$

Bu denkliklerde,

μ_m = Maksimum özgül büyüme hızı, (gün⁻¹)

S = Substrat konsantrasyonu (g/lt)

S_0 = Başlangıçtaki substrat konsantrasyonu (g/lt)

B = Kinetik bir katsayı

X = Mikroorganizma konsantrasyonu (g/lt)

X_0 = Başlangıçtaki mikroorganizma konsantrasyonu (g/lt)

Y = Mikroorganizmaların substrat kullanım katsayısı

K = B ile Y nin çarpımından elde edilen kinetik parametre.

Sürekli beslemeli, karıştırılan tank tipi fermentörler için yine contois eşitliğinden yararlanarak substrat tüketimi ve metan üretiminin matematiksel modelleri kurulabilir. Geri akımı olmayan sürekli akış karıştırılan sistem için mikroorganizma ve substrat dengeleri yazılırsa,

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - \frac{X}{\theta} \quad (4.12)$$

$$\frac{dS}{dt} = -\dot{r} + \frac{S_0 - S}{\theta} \quad (4.13)$$

elde edilir. Burada,

θ : Hacimsal kalma süresi, (gün)

\dot{r} : Substrat tüketim hızı (g substrat/lt-gün)

(4.12) nolu denklemin türetilmesinde girişte mikroorganizma olmadığı kabul edilmiştir. Her ne kadar hayvan dışkısı mikroorganizma içermesine rağmen daha öncedende belirtildiği gibi girişteki mikroorganizma derişimi fermentör içindeki konsantrasyondan ihmal edilecek

kadar küçüktür.

Sistem dengeye geldiğinde (yatışkın halde) dx/dt ve dS/dt sıfıra eşit olup yukarıdaki eşitliklerden

$$\mu = \frac{1}{\theta} \quad (4.14)$$

$$\dot{r} = \frac{S_0 - S}{\theta} \quad (4.15)$$

$$X = Y(S_0 - S) \quad (4.16)$$

elde edilir. (4.16) nolu denklem Contois denkleğinde yerine konulursa,

$$\frac{\mu}{\mu_m} = \frac{S/S_0}{K + (1-K)S/S_0} \quad (4.17)$$

elde edilir. (4.14) ve (4.17) birleştirildiğinde aşağıdaki bağıntı bulunur.

$$\frac{S}{S_0} = \frac{K}{\mu_m \theta + K - 1} \quad (4.18)$$

Contois üreme modeline göre elde edilen (4.18) nolu denklik, sürekli beslemeli üreteçten çıkan substrat derişiminin, besleme derişimine, substratın cinsine (K) ve kalış süresine (θ) bağımlı olduğunu göstermektedir.

CH_4 üretimi, uçucu katı maddenin azalması ile doğrudan ilgilidir. Eğer üreteçte uçucu katı maddenin gramı başına üretilen metanın hacmi $\dot{U}M$, ve $(\dot{U}M)_0$ ile de sonsuz kalma süresinde üretilecek hacmi ifade edilirse, $S \propto (\dot{U}M)_0 - \dot{U}M$ ve $S_0 \propto (\dot{U}M)_0$ olacaktır. Bunlar (4.18) nolu eşitlikte yerine konur ve yeniden düzenlenirse

$$\dot{U}M = (\dot{U}M)_0 \left(1 - \frac{K}{\mu_m \theta + K - 1} \right) \quad (4.19)$$

denklemini elde edilir. Uçucu katı maddenin gramı başına üretilen CH_4 hacmini ifade eden (4.19) nolu denklem, üreteç besleme derişimi S_0 ile çarpılıp kalma süresine bölünürse üreteçin birim hacminden günde üretilen CH_4 hacmi elde edilir.

$$GM = \frac{S_o \cdot \dot{U}M}{\theta} = \frac{(\dot{U}M)_o \cdot S_o}{\theta} \cdot \left(1 - \frac{K}{\mu_m \theta + K - 1}\right) \quad (4.20)$$

Atalay deneylerinde sonsuz kalma süresinde kullanılan uçucu katının gramı başına üretilen CH_4 hacmini yaklaşık 0,36 lt olarak saptamış, Hashimoto ve çalışma grubu ise $(\dot{U}M)_o$ değerini beslenen uçucu katının gramı başına 0,42 lt olarak saptamıştır. (4.20) nolu denklemde geçen K parametresi, substratın cinsine ve substrat besleme konsantrasyonuna bağlıdır. K değeri substrat inhibisyonunun bir göstergesi olup, bu parametrenin artması ile mikroorganizmaların üremeleri azalmaktadır. Hoshimoto, sığır dışkısı üzerinde yaptığı çalışmalar da K parametresinin aşağıdaki ampirik bağıntı ile gösterileceğini belirtmiştir.

$$K = 0,8 + 0,0016 e^{0,0650} \quad (4.21)$$

(4.20) ve (4.21) nolu denklemlerle sürekli beslenen bir biyogaz tesisinden üretilen CH_4 miktarı hesaplanabilir.

BÖLÜM 5. BIYOGAZ TESİSLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Biyogaz üretiminde hammadde ve çevre koşulları kadar biyogaz üreteçlerinin kendileride üretimde etkili olmaktadır. Herşeyden önce, mevcut koşul ve olanaklarla en çok gaz üretebilecek, üretimi sürekli olacak ve ucuza maledilebilecek üreteç tipinin saptanması gerekmektedir. Bunun yapılabilmesi içinde değişik uygulamalar sonunda, bugüne kadar geliştirilmiş olan üreteçlerin tip ve özelliklerinin gözden geçirilmesi gerekmektedir. Üreteçler geliştirilerek kullanıldığı ülkelerin iklim durumlarıda uygun tip seçiminde gözönüne alınmalıdır.

Buğüne kadar geliştirilmiş olan biyogaz üreteçleri gaz depolama özellikleri gözönüne alınarak, aşağıdaki sınıflandırılabilir.

A) Fermentörü ve Gaz Toplayıcısı Birlikte Olan Üreteçler

Bu tip üreteçler genellikle Çin'de kullanılmaktadır. Çoğunlukla sabit kubbeli olmakla birlikte esnek torbalı üreteçlerde rastlanmaktadır. Çin tipinin avantajları bölgesel maddelerle inşa edilmesi ilk yatırım masraflarınının kısmen düşük olması, fermentörün beslenmesi esnasında yerçekiminden yararlanılması, tarımsal artıklarında kullanılabilmesidir. Dezavantajı ise, gaz basıncının düzensiz olmasıdır.

B) Gaz Toplayıcısı Yüzer Olan Üreteçler

Bunlar Hindistan'da kullanılmaktadır. Üzerlerindeki gazometre nedeniyle basıncı sabit tutmaları avantajlı olmaktadır. Yalnızca sıgır gübresi kullanılması ve gazometrenin pahalı olmasıda dezavantajlarıdır (Gaz toplayıcı metaldir).

C) Ayrı Gaz Toplayıcılı Üreteçler

Gaz basıncı sabittir. İlk yatırım masrafları yüksektir. Gazın ayrı yerde depolanması nedeniyle emniyetlidirler. Pek yaygın olmamakla birlikte Çin ve Tayland'da kullanılmaktadır.

Bu sınıflandırmanın yanısıra kanalizasyon tipi anaerobik bozunma tesisleride bu konu içerisine girmektedir. Bu tip tesisler daha ge-

lişmiş ve mekanizasyonu daha ileri seviyede olan tesislerdir. Bu tesisler hakkında teferruatlı bilgi (4) nolu kaynaktan edinilebilir.

Bu bölümde ülkemizde yaygın kullanım alanı bulan biyogaz tesislerinden ve özelliklerinden bahsedilecektir.

5.1. Biyogaz Tesislerinin Başlıca Bölümleri

5.1.1. Gübre Besleme Rogarı

5.1.2. Bağlantı Boruları

5.1.3. Fermentör ve Karıştırıcı

5.1.4. Gaz Toplama Yeri

5.1.5. Fermente Olmuş Gübrenin Tahliye Rogarı

5.1.6. Gaz Dağıtım Sistemi

5.1.7. Fermente Olmuş Gübrenin Depolama Yeri

5.1.8. Isıtma Sistemi

5.1.1. Gübre Besleme Rogarı

Bu bölüm gübre+su karışımının fermentör içerisine verilmesini sağlar. Kapasitesi günlük besleme miktarı kadar olmalıdır. Buraya konulacak gübre+su karışımının homojen bir şekilde karışmasını sağlamak için basit bir karıştırıcı ilave etmek gereklidir. Bu karıştırıcı basit bir vantilatör pervanesi şeklinde olabildiği gibi daha küçük tesislerde bu işlem kürek veya özel yapılmış bir çubuklada gerçekleştirilebilir. İyi bir karışımın sağlanıp tesisin tıkanmaması için önemlidir.

Besleme rogarının alt kotu fermentör gübre seviyesinden daha yukarıda olmalıdır. Aksi takdirde besleme yapmak mümkün olmaz. Beslemenin rahat yapılabilmesi için bu kot farkı 30-40 cm civarında olmalıdır.

5.1.2. Bağlantı Boruları

Bunlar, gübre besleme rogarı ile fermentörü bağlayan ve fermente olmuş gübreyi tahliye eden borulardır. Bu borular su sızdırmaz bir şekilde büz veya PVC borulardan yapılabilir. Burada dikkat edilecek nokta besleme rogarını fermentörü bağlayan boru ucu fermentörün altına yakın olursa boşaltma borusunun mutlaka fermentörün yukarısında bir

yere konulmasıdır. Bu sayede giren gübrenin hemen çıkması önlenmiş olur.

5.1.3. Fermentör

Gübrenin bozunmaya uğrayıp fermente olduğu bölümdür. Burası tesisin en önemli bölümüdür. Fermentasyon işlemi burada gerçekleştiği için ısı kayıplarına karşı izole edilmiş, su sızdırması önlenmiş, gaz kaçağına karşı yalıtılmış şekilde yapılması gerekir. Fermentör kapasitesi isteğe göre ayarlanabilir. Seçilen yada hesaplanan değerden %20 daha fazla bir kapasitede yapılır. Bu fazlalık fermentör üzerinde gaz odası diye tabir edilen gaz toplama yeri içindir.

Fermentörler çok iyi pişirilmiş tuğladan yapılabildiği gibi büyük tesislerde betorarme yapılması yararlıdır. Su sızdırmazlığını temin etmek için iç yüzüne sikalı şap sürülmesi tavsiye edilmiştir. Fermentörün dış yüzeyini ise yerel izolasyon malzemeleriyle izole etmek daha ekonomik olmaktadır.

Fermentör yeri seçilirken taban suyu seviyesi yüksek olmayan etkin rüzgarların etkisinde kalmayan ve güneşe bakan bir yerin seçilmesi faydalıdır. Çünkü taban suyu yüksek olan yerlerde kurulacak tesislerin izolasyon maddeleri su alarak izolasyon özelliğini kaybedeceği için ve dışarıdan tesis içine su sızıntısı olabileceği için sakıncalıdır.

Ayrıca deneme tesislerinde ortam sıcaklığının katı madde miktarının PH'ın kontrolü için yerler, termometre yeri ve numune alma yeri yapılmalıdır. Bu sayede tesisin kontrolü sağlanır.

Katı maddeler zamanla dibe çökeceği için belli bir süre sonra sistem tıkanacaktır. İşte bu tıkanma süresini kısaltmak için fermentör ortasına bir karıştırıcı koymak gereklidir. Bu sayede dibe çökmüş katı madde homojen bir şekilde sıvı içine dağılmış olur. Bu karıştırıcı basit ve insan gücüyle çalışır şekilde imal edildiği gibi bir elektrik motoruyla tahrikli de yapılabilir. Şekiller kısmında detaylı bir şekil verilmiştir.

Karıştırıcı için fermentör tabanından 30-40 cm yüksekliğindeki bir tabakanın karıştırılmasını ve sıvı yüzeyinde oluşan kabuklaşmayı parçalayabilecek bir pervane konulabilir. Diğer bir karıştırma şekli "Babul-Gun" denilen gaz kabarcığı tabancası kullanmakla gerçekleştirilebilir. Babul-gun denilen bir boru tesisin ortasına yerleştirilmiş üst

ucu bir kompresöre diğeri ucu delikli olarak tesisin altına tespit edilmiştir. Fermentörden elde edilen gaz gazometre dediğimiz gaz toplama deposundan bir kompresörle emilir. Babul-gun'a basılır. Bu gaz fermentör içinden geçirilerek tekrar gazometreye gider. Bu sayede iyi bir karışma sağlanmış olur.

5.1.4. Gaz Toplama Yeri

Bu bölüm tesislerde değişik şekillerde yapılmaktadır. Gazometre ayrı bir depo olarak düşünülebildiği gibi fermentör ile birlikte de yapılabilir. Çin tipi tesislerde fermentör ile gaz toplama yeri beraber inşa edilmektedir. Bu tip üreteçlerde kapasite hesaplanırken gaz toplama yeri tesis kapasitesine ilave edilmelidir. İlave edilen bu kapasite beklenen günlük gaz hacmi kadar olabilir. Gazometre kapasitesi değişik işletme şartlarında değişik değerler alır.

Gazometre genellikle saçtan imal edilir. Kore gibi uzak doğu ülkelerinde fiber glastan naylondan yapılmış gazometrelerde kullanılmaktadır. Gazometre fermentör içinde gübre ortamında hareket edebilecek tarzda yerleştirilir. Bu haliyle gaz çıkmaya başladığında toplanan gaz gazometreye basınç yapacağı için gübre içerisinde yükselmeye başlayacaktır. Çok soğuk bölgeler için ayrı bir gazometre çukuru yapılarak bunun içine su doldurup çıkan gaz fermentörden bir boru ile gazometreye taşınarak depolanması sağlanır. Bununla tesisteki ısı kaybı kısmen azaltılmış olur. Hint tipi tesisleri, Çin tipi tesislerden ayıran başlıca özellik gaz depolama yeridir. Çinlilerin yaptığı tesislerde gaz, gaz odası denilen fermentör içindeki bir bölümde toplanır. Gaz çıkarmaya başladığı zaman gübreye yapacağı basınç nedeniyle fermentördeki gübre+su karışımını aşağıya doğru iterek denge basıncı dediğimiz tahliye rogarındaki gübre seviyesini yükseltecektir. Gaz kullanıldıkça sistem ters çalışacaktır. Buradaki gaz odası hacmide alıkoyma süresince ve üreteç sıcaklığına bağlı olarak tesis kapasitesine göre ayarlanır.

5.1.5. Fermente Olmuş Gübrenin Tahliye Rogarı

Tespit edilen alıkoyma süresi gereğince alınan gübre tahliye rogarından günlük beslenen miktar kadar kendiliğinden atılacaktır.

Çinliler tahliye rogarını aynı zamanda denge bacası olarakta kullanılmaktadırlar. Bu tür üreteçlerde gazometre olmadığından gaz ba-

sıncı nedeni ile bu denge bacasında gübre yükselcek böyle tesis basınç fazlalığından doğan zararlardan korunmuş olacaktır. Diğer gazometreli tesislerde böyle bir basınç zorlaması söz konusu değildir. Onun için basit bir rogar bu işleme yeterli gelir.

Dikkat edilecek önemli bir nokta, boşaltma borusunun çıkış ağız kotu, gübre üst kotunda olmalıdır, aksi takdirde istenilen kapasitenin altına düşülmüş olur.

5.1.6. Gaz Dağıtım Sistemi

Üretilen gaz piyasada bulunan borularla dağıtılabılır.. Burada boru çapları taşınacak mesafeye ve gaz kullanım miktarına bağlı olarak seçilmelidir. Mesafe azaldıkça boru çapıda basınç kayıplarını azaltmak için büyüyecektir. Gaz dağıtım şebekesi gaz sızdırmayacak şekilde yapılmalıdır, kullanılan vana ve fittings malzemeleri gaza göre seçilmelidir.

Fermentör sıcaklığında elde edilen gaz içerisinde o sıcaklıkta belli oranda doymuş su buharı bulunmaktadır. Su buharı fermentör sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda sıvılaşacağından borularda su birikintisine neden olacaktır. Buda gaz naklini engelleyecektir. Bunu önlemek için gaz dağıtım şebekesinin en düşük kotlarına birer tulumba ile birer su deposu yerleştirilir. Sıvılaşan su borularda toplanır. Ve zaman zaman dışarı atılır.

Ayrıca gazın içerisinde bulunan H_2S (Hidrojen sülfür) gazını kısmende olsa tutabilmek üzere demir talaşından geçirmek uygun olur. Böylece H_2S gazındaki kükürt demirle birleşerek (Fe_2S) oluşturur.

5.1.7. Fermente Olmuş Gübrenin Depolama Yeri

Fermente gübre heran tarlaya atılamayacağı için tesis kapasitesine uygun büyüklükte kullanım yerine ve üretece uygun (su sızdırmayacak) bir yerde depolanmalıdır. Eğer olanaklar uygunsa bir kanalet sistemiyle gübre doğrudan tarlayada verilebilir.

Ayrıca biyogaz ünitelerinde ısıtma sistemi ve fermentör kapağında bulunur. Fermentör kapağı gerektiğinde tesisi boşaltabilmek için kullanılır. Bu kapak yerleştirildikten sonra gaz kaçırmayacak şekilde yalıtılmalıdır. Isıtma sisteminde yerine göre şofben, santrifüj pompa, termostat serpantinler bulunur. Bazı tesislerde emniyet süpabı kullanılmaktadır. Bu süpab içerisinde su bulunan bir U cam borusudur. Cam

boru içerisinde tesis basıncına eşit su sütunu bulunur ve bu cam boru tesisin gaz taşıma borularından birine bağlanır. Sistem basıncı maksimum değeri aştığında gaz cam borudan dışarı çıkarak tesis basıncını normale döndürür.

5.1.8. Isıtma Sistemi

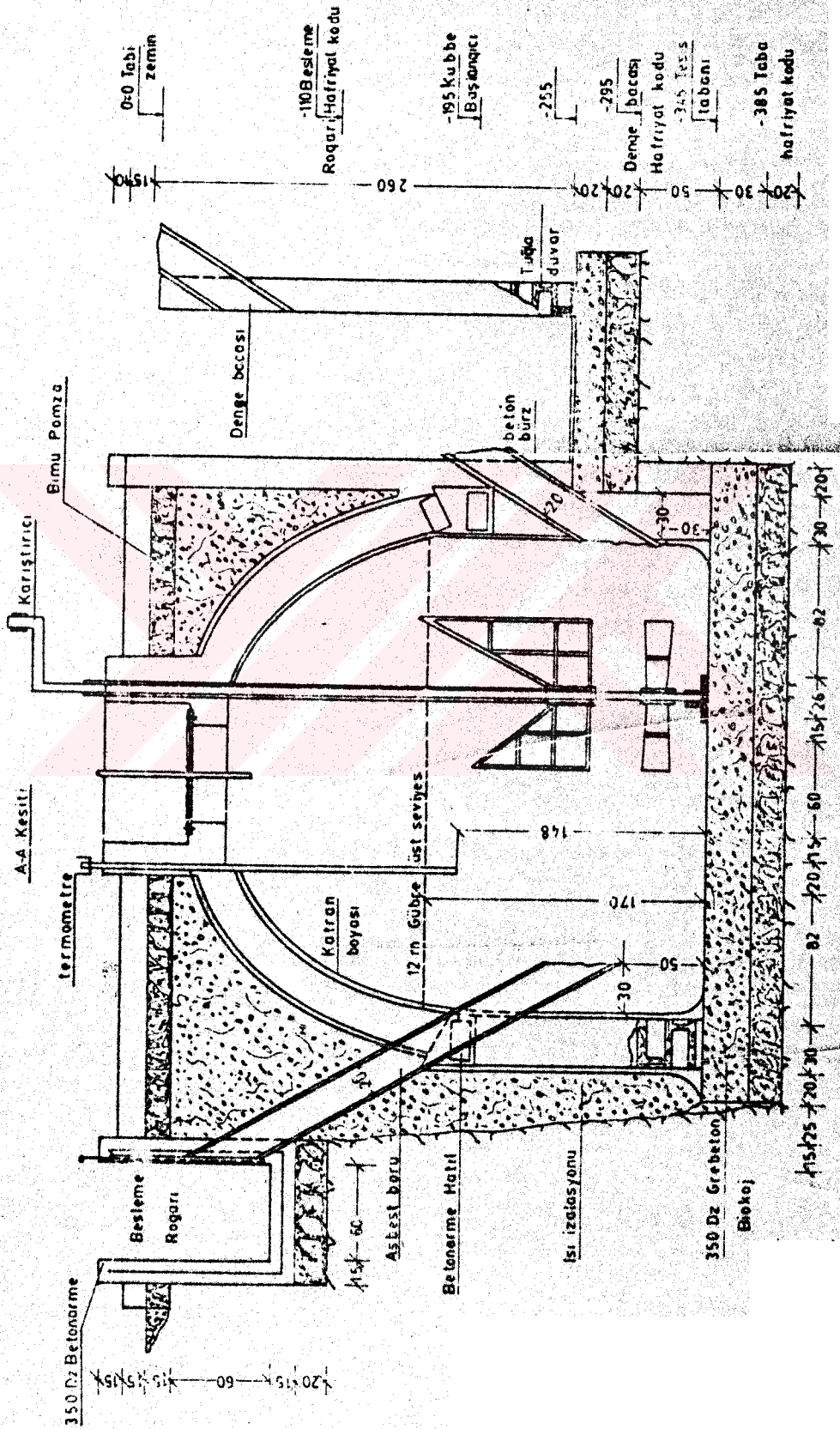
Biyogaz üreteçlerinde çeşitli ısıtma sistemleri uygulanmakla birlikte serpantinli ısıtma sistemi (ısı eşanjörü) yaygın olarak kullanılır. Fermentör içine yerleştirilen serpantinler (sıcak su boruları) içerisinde sıcak su dolaştırılarak kaybolan ısı karşılanmaktadır. Isıtma sistemi bir termostat yardımıyla otomatik olarak tesis ısısını sabit tutmaktadır.

Sistemde,

- 1) Motor-pompa grubu
- 2) Serpantinler
- 3) Su tankı
- 4) Su ısıtıcıları
- 5) Vanalar, termostat ve termometreler kullanılır.

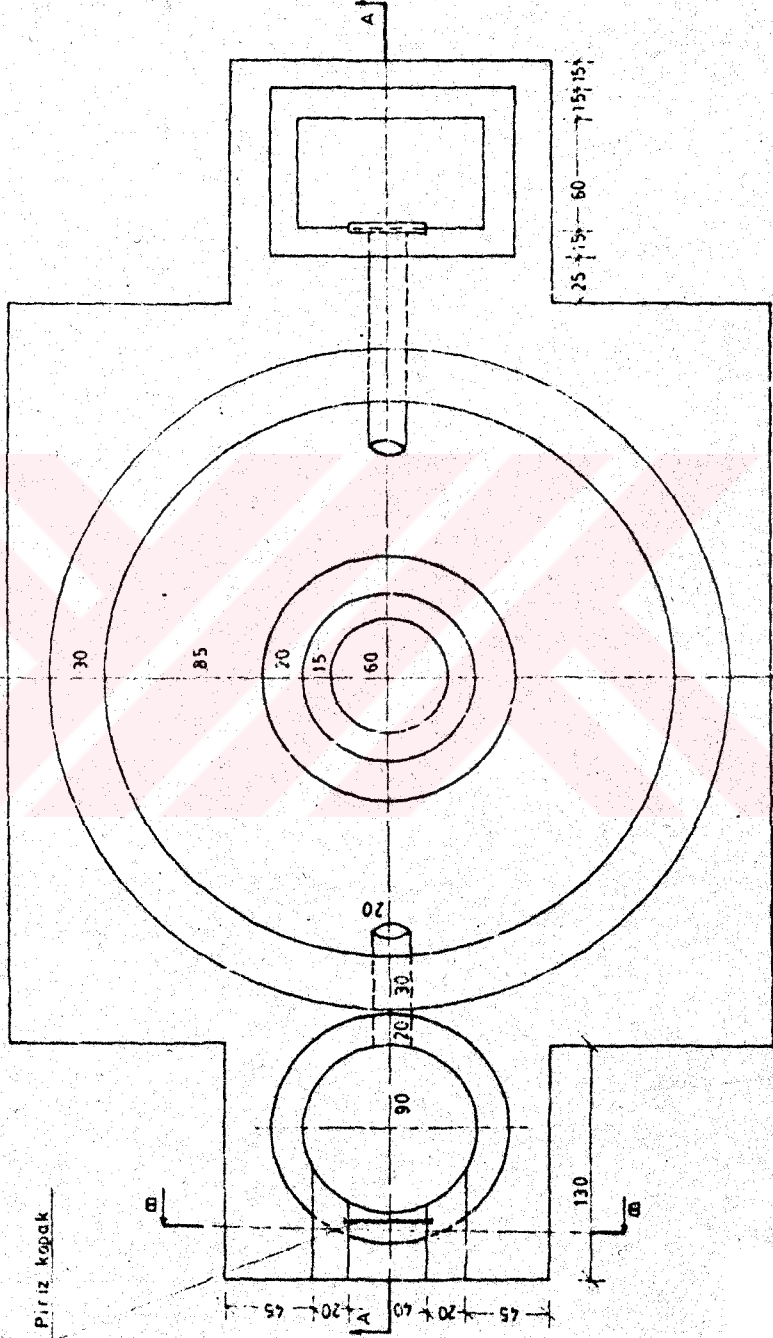
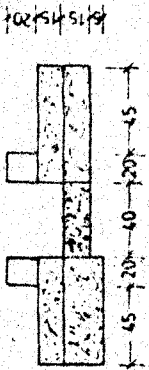
Motor-pompa grubu ısınan suyun fermentasyon tankı içindeki sirkülasyonunu sağlamaktadır. Pompa girişi üreteçteki serpantinlere, çıkışı ise ısıtıcıya giden boruya bağlıdır.

Serpantinler, ısınan suyu fermentasyon tankı içinde dolaştırarak tesisdeki ısı kaybının karşılanmasını sağlarlar. Su tankı, suyun kapalı bir sistem olarak sürekli devrini sağlamaktadır. Aynı zamanda tesis içine verilen su sıcaklığının 55°C den yüksek olmamasını sağlar. Isıtıcılarda ısınan su tanka gelmekte buradan tesise geçmektedir. Direkt ısıtıcılardan alınması halinde istenilenin üstünde sıcaklıklarda su dolaşabileceğinde mikroorganizmalar için ölüm nedeni olabilir. Su ısıtıcıları olarak; güneş kolektörleri, elektrikli ısıtıcılar, üretilen biyogazdan faydalanarak ısıtma yöntemleri uygulanabilir. Termometreler ve termostat sıcaklıkları kontrol amacıyla vanalarda su sirkülasyonunu istenilen düzeyde tutmak amacıyla yerleştirilmiştir.

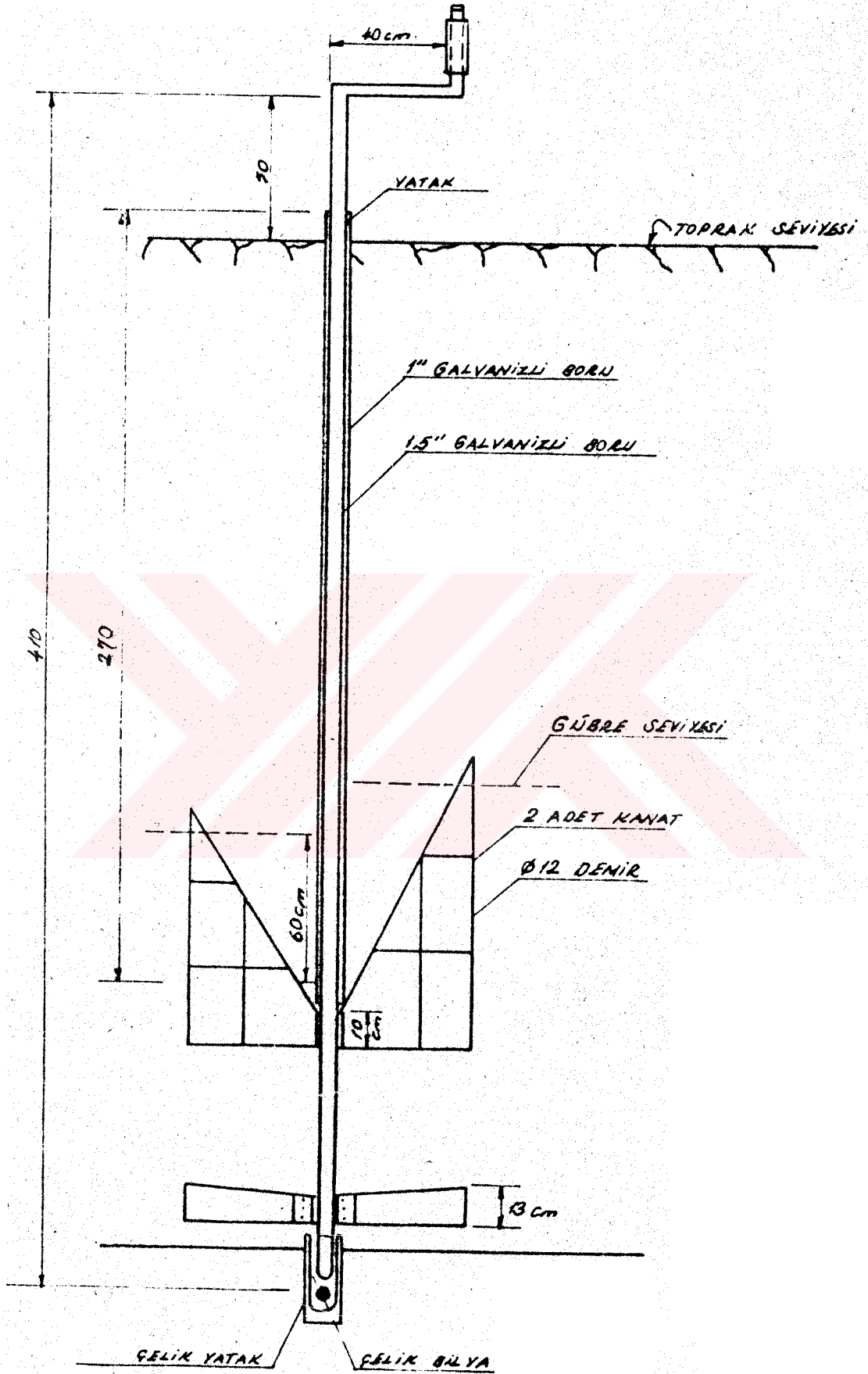


Şekil 5.1. Biyogaz tesisi projesi

BB Kesit



Şekil 5.2. Tesisin üstten görünüşü



Şekil 5.3. MEKANİK KARIŞTIRICI

5.2.1. FERMANTÖRÜN BOYUTLANDIRILMASI

Isı kayıplarını minimuma indirmek amacıyla fermentör silindirik olarak düşünülebilir. Fermentörün hacmi besleme debisine ve hacimsel kalma süresine göre değişir. Fermentörün optimum çap ve yüksekliği aşağıdaki bağıntılardan bulunmaktadır.

$$D_{opt} = (8 V/\pi)^{1/3} \quad (5.1)$$

$$H_{opt} = (4 V/(\pi D_{opt}^2)) \quad (5.2)$$

Burada,

V: Fermentör hacmi, (m³)

D_{opt}: Optimum fermentör çapı(m)

H_{opt}: Optimum fermentör yüksekliği(m)

5.2.2. Fermentör Isı Dengesi ✓

Fermentörü sabit sıcaklıkta tutmak için gereken ısı enerjisi, fermentör etrafında kurulan ısı dengesi ile hesaplanabilir.

$$Q_T = Q_{Yar} + Q_{Tab} + Q_{Tav} + Q_{Su} + Q_{Bes} + Q_{Gaz} - Q_{RX} \quad (5.3)$$

Burada,

Q_T: Fermentörü sabit sıcaklıkta tutmak için gerekli ısı enerjisi (Mj/gün)

Q_{Yar}: Yanal yüzeyden kaybedilen ısı enerjisi (Mj/gün)

Q_{Tab}: Tabandan kaybedilen ısı enerjisi (Mj/gün)

Q_{Tav}: Tavandan kaybedilen ısı enerjisi (Mj/gün)

Q_{Su}: Fermentörden buharlaşan suyun aldığı ısı enerjisi(Mj/gün)

Q_{Gaz}: Fermentörden ayrılan biyogazın hissedilir ısısı(Mj/gün)

Q_{Bef}: Besleme sıvısını fermentör sıcaklığına getirmek için gerekli olan ısı enerjisi (Mj/gün)

Q_{RX}: Reaksiyon ısısı (Mj/gün)

değerlerini ifade etmektedir. Bu ısı enerjisi değerleri kısaca şöyle elde edilir.

Yüzeylerden kaybolan ısı enerjisi: (Q_{yan}, Q_{tab}, Q_{tav}):

Fermentör duvarlarından kaybolan ısı değerini bulmak için yüzeyleri meydana getiren katmanlardaki ısı dirençleri bulmak gereklidir. Silindirik

bir yüzey için ısı direnç.

$$R_i = \frac{\ln(r_{i+1}/r_i)}{2\pi k_i H} \quad (5.4)$$

bağıntısı ile tanımlanabilir (2). Burada;

R_i : i katmanın ısı direnci ($^{\circ}\text{C gün/Mj}$)

r_i : i katmanın yarıçapı, (m)

k_i : i katmanın ısı iletkenlik katsayısı ($\text{Mj/m}^{\circ}\text{C gün}$)

H : Katman yüksekliği, (m)

ifade etmektedir.

Taban ve tavanın yapısı dairesel dış bir yüzey olduğundan ısı direnç:

$$R_i = \frac{4 \delta_i}{\pi k_i \cdot D_i^2} \quad (5.5)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada,

δ_i : i katmanın kalınlığı (m)

D_i : i katmanın çapı (m) göstermektedir.

Hesaplanan ısı dirençlerden yanal yüzey ve tabandan olan ısı kaybı aşağıdaki (5.6) ve (5.7) denklemlerinden hesaplanır.

$$Q_{\text{Yan}} = \frac{T_f - T_s}{\sum_{i=1}^N (R_i)_{\text{Yan}}} \quad (5.6)$$

$$Q_{\text{Tab}} = \frac{T_f - T_s}{\sum_{i=1}^N (R_i)_{\text{Tab}}} \quad (5.7)$$

Bu ifadelerde T_f ve T_s sırasıyla fermentör ve toprak sıcaklıklarını ($^{\circ}\text{C}$) göstermektedir. Tavandan kaybolan ısı enerjisi kondüksiyo-nun yanında havanın hareketli olması nedeniyle konveksiyonlada olmaktadır. Bu nedenle tavan için toplam ısı dirence konveksiyon ısı direncinin de katılması gereklidir. Konveksiyonla ısı transferi katsayı-

ısı tavan üzerindeki hareketli Reynolds sayısının bir fonksiyonudur. Reynolds sayısı,

$$Re = 70630 V_h D \quad (5.8)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Burada,

V_h : Hareketli havanın hızı, (m/s),

D : Fermentör tavanının çapı (m)

göstermektedir. Reynolds sayısına bağımlı olarak düz bir yüzeyden V_h (m/s) hızla akan havanın konvektif ısı transferi katsayısı tablo 5.1 de verilmiştir. Böylece konveksiyon ısı direnci:

$$R_{konv} = \frac{2}{\pi h \cdot D^2} \quad (5.9)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada,

h : Havanın konveksiyonla ısı transfer katsayısı ($Mj/m^2 \text{ } ^\circ C\text{-gün}$)

D : Tavan çapını (m)

ifade etmektedir.

Reynolds sayısı	Konveksiyon ısı transferi katsayısı ($Mj/m^2 \text{ } ^\circ C\text{-gün}$)
$Re < 300000$	$346 \cdot V_h^{0,5} \cdot D^{-0,5}$
$300000 < Re < 500000$	$1070 \cdot V_h^{0,8} \cdot D^{-0,2}$
$Re > 500000$	$1110 \cdot V_h^{0,8} \cdot D^{-0,2}$

Tablo 5.1. Düz bir yüzeyden akan havanın konveksiyonla ısı transfer katsayısı

Duvarlardan olan ısı kaybını veren bağıntılar incelendiğinde fermentör ve çevre sıcaklığının sabit olması halinde ve ısı direncin artması durumunda duvarlardan olan ısı kaybının azalacağı görülmektedir. Bu da sistemin ısı iletkenlik katsayısı küçük olan izolasyon maddesi ile izole edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Fermentörde Buharlaşan Suyun Aldığı Entalpi (Q_{su}):

Fermentör sıcaklığında buharlaşan suyun aldığı entalpi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$Q_{su} = W [AH_{su} + C_{p,su} (T_f - T_b)] \quad (5.10)$$

Burada,

W: Buharlaşan su miktarı (kg/gün)

ΔH_{su} : Fermentör sıcaklığında (T_f) suyun buharlaşma entalpisi (kj/gün)

$C_{p,su}$: Suyun ısı kapasitesi, (kj/kg⁰C)

T_f : Fermentör sıcaklığı (⁰C)

T_b : Besleme sıvısının sıcaklığı (⁰C) ifade eder.

Fermentör sıcaklığında buharlaşan suyun miktarı aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmaktadır.

$$W = 0,775 G_{CH_4} X_w / (1 - X_w) X_{CH_4} \quad (5.11)$$

$$X_w = (1.27)10^6 \cdot \exp(-5220/T) \quad (5.12)$$

$$T = T_f + 273 \quad (5.13)$$

Bu bağıntılarda:

G_{CH_4} : Günlük üretilen metan miktarı (m³/gün)

X_{CH_4} : Kuru biyogazdaki metan yüzdesi

X_w : Biyogaz içindeki suyun yüzdesi

T: Fermentör sıcaklığını (⁰K) göstermektedir.

Besleme sıvısını fermentör sıcaklığına yükseltmek için gerekli ısı enerjisi: (Q_{Bef}): Fermentöre giren sulu karışımı fermentör sıcaklığına ulaştırmak için verilmesi gereken ısı enerjisi

$$Q_{Bef} = m_b \cdot C_{p,b} (T_f - T_b) \quad (5.14)$$

denklemleri ile bulunmaktadır. Burada:

m_b : Toplam besleme debisi (kg/gün)

$C_{p,b}$: Besleme sıvısının ısı kapasitesini (Mj/kg⁰C)

göstermektedir. Besleme sıvısının ısı kapasitesi, beslemedeki katı maddenin yüzdesine bağlı olup,

$$C_{p,b} = (1 - 0,00812x_k) 0,00418 \quad (5.15)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Burada,

x_k = Beslemedeki katı madde yüzdesidir.

Fermentörden ayrılan biyogazın hissedilir ısısı: (Q_{gaz})

Fermentörü terkeden biyogazın hissedilir ısısı, metanın ve karbondioksitin hissedilir ısılarının toplamına eşit olmaktadır.

Buna göre,

$$Q_{\text{CH}_4} = n_{\text{CH}_4} \cdot C_{p, \text{CH}_4} (T_f - T_h) \quad (5.16)$$

$$Q_{\text{CO}_2} = n_{\text{CO}_2} \cdot C_{p, \text{CO}_2} (T_f - T_h) \quad (5.17)$$

bağıntılarından her bir bileşenin hissedilir ısısı hesaplanır. Bağıntılarda,

n_{CH_4} : Metanın molar olarak günlük üretimi (kmol/gün)

n_{CO_2} : Karbondioksitin molar günlük üretimi (kmol/gün)

C_{p, CH_4} : Metanın ısı kapasitesi (Mj/kmol^oC)

C_{p, CO_2} : Karbondioksitin ısı kapasitesi (Mj/kmol^oC)

T_h : Havanın sıcaklığı (°C)

Reaksiyon Isısı: (Q_{RX}): Biyogazlaşma işleminde açığa çıkan reaksiyon ısısı yaklaşık olarak -54507 (Mj/kmol) CH_4 olup (13) bu değer günlük üretilen metan miktarı ile çarpılarak reaksiyon esnasında açığa çıkan ısı enerjisi hesaplanmaktadır.

5.2.3. Isı Transfer Alanı

Fermentörü sabit sıcaklıkta tutmak için gerekli ısı miktarı (Q_T) atmosferik parametreler nedeni ile her an değişmektedir. Fermentöre yerleştirilecek ısıtıcı boruların alanı hesaplanırken en fazla ısı kaybının temel alınması şarttır. En büyük ısı kaybı aylık ortalama bazda bulunduğundan sonra ısıtma alanı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$A = \frac{Q_T}{U \Delta T_{\log}} \quad (5.18)$$

Burada, U: Toplam ısı transfer katsayısı (Mj/m² °C gün)

ΔT_{\log} : Logaritmik sıcaklık farkı ortalaması (°C)

göstermektedir. Isı transferi alanı bulunduğundan sonra ısıtıcı eşanjör gibi düşünülüp gerekli boru uzunluğu, eşanjör çapı, boru aralıkları geçiş sayısı gibi değişkenler bulunabilir.

5.2.4. Besleme Sistemi

Biyogaz eldesinde kullanılan organik artıklar yüksek viskoziteli maddeler olup, genelde Newtonien olmayan yalancı plastik davranış gösterirler. Bu tür akışkanlarda kayma gerilimi ve hız gradienti arasındaki ilişki üstel bir fonksiyon olarak bilinmektedir. Borudan geçen besleme sıvısının rejimini belirlemede kullanılan Reynolds sayısı:

$$Re = \frac{\rho D_b V}{K} \left(\frac{BV}{D_b} \right)^{1-n} \left(\frac{4n}{1+3n} \right)^n \quad (5.19)$$

bağıntısı ile belirlenir (2).

Burada;

ρ : Besleme sıvısının yoğunluğu (kg/m^3)

D_b : Besleme borusunun çapı (m)

V : Besleme sıvısının çizgisel hızı (m/s)

n : Kayma gerilimi ile hız gradienti ilişkisindeki üstel katsayı

K : Kayma gerilimi ile hız gradienti ilişkisindeki sabiti ifade etmektedir. Sulu inek dışkısı üzerinde yapılan çalışmalarda K sabiti ortalama olarak 4 dynsn/cm^2 ve n 'de 0,6 olarak saptanmıştır (2).

Besleme sisteminde kot farkı önemli olmadığından sistemdeki basınç kaybı sürtünme kayıplarına eşit olmakta ve aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilmektedir.

$$f = \begin{cases} 16/Re & Re \leq 3100 \\ 0,0306 Re^{-0.18} & R > 3100 \end{cases} \quad (5.20)$$

$$P = 2f \sum \frac{L_b}{D_b} V^2 \quad (5.21)$$

Bu bağıntılarda,

f : Sürtünme faktörü

P : Sistemdeki toplam basınç kaybı (N/m^2)

L_b : Eşdeğer boru uzunluğu (m)

D_b : Boru çapı, (m)

ρ : Besleme sıvısının yoğunluğunu (kg/m^3)

ifade etmektedir.

5.2.5. Karıştırma Sistemi

Biyogaz üretim tesislerinde homojenliği sağlamak için karıştırma yapılması şarttır. TÜBİTAK'ın desteklediği MAG-536 sayılı Ege Üniversitesindeki bir tasarım çalışmasında yatayla 90° lik açı yapan iki adet çift kanatlı karıştırıcı, yapım kolaylığı nedeni ile öngörülmüştür.

Bu karıştırıcının gücü aynı çapa fakat (2b) genişliğinde bir adet çift kanatlı karıştırıcının gücüne eşdeğerdir. Tasarım verilerinde kanadın çizgisel hızının 5 m/s geçmemesi ve kanat çapı fermentör çapının 0.4 ü kadar olması önerilmektedir.

Bir adet çift kanatlı karıştırıcı için güç sayısı,

$$\text{Güç say} = \frac{A}{Re} + B \left(\frac{10^3 + 1.2 \cdot Re^{0,66}}{10^3 + 3,2 \cdot Re^{0,66}} \right)^P \left(\frac{H}{D} \right)^{0,35+b/D} (\sin \alpha)^{1.2} \quad (5.22)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. (2). Karıştırmada Reynolds sayısı,

$$Re = \frac{D_k^2 N(11N)^{1-n}}{K} \left(\frac{4n}{1+3n} \right)^n \quad (5.23)$$

bağıntısı ile bulunmaktadır (2). Bu bağıntılarda,

H: Fermentör yüksekliği (m)

D: Fermentör çapı (m)

b: Bir kanadın genişliği (m)

α : Kanadın yatayla yaptığı açı, (derece)

N: Karıştırıcının saniyedeki devir sayısı (d/s)

D_k : Karıştırıcının çapını (m)

ifade etmektedir. Yukarıdaki bağıntılarda geçen A, B ve P değerleri,

$$A = 14 + \left(\frac{b}{D} \right) \left(670 \left(\frac{Dk}{D} \right)^{-0,6} + 185 \right) \quad (5.24)$$

$$B = 10 \cdot 1,3 - 4 \left(\frac{b}{D} \right)^{-0,5} - 1,14 \left(\frac{Dk}{D} \right) \quad (5.25)$$

$$P = 1,1 + 4 \left(\frac{b}{D} \right)^{-2,5} \left(\frac{Dk}{D} \right)^{-0,5} - 7 \left(\frac{b}{D} \right)^4 \quad (5.26)$$

bağıntıları ile hesaplanmaktadır. Güç sayısından yararlanarak karıştırma için gerekli olan motorun teorik gücü (watt):

$$\text{Teorik Güç} = (\text{Güç sayısı}) (N^3) (D_k^5) \rho \quad (5.27)$$

bağıntısından bulunur.

5.2.6. İzolasyon

İyi bir fermentasyon için belirli sıcaklık sınırlarının yanısıra fermentördeki ısı değişimlerini de minimuma indirmek, ani sıcaklık değişimlerini önlemek zorunludur. Ani sıcaklık değişimleri PH'ı değiştirmekte dolayısıyla asit üretimi ve metan üretimi arasındaki denge bozularak gaz verimi düşmektedir.

Bu nedenle biyogaz üreteçleri genelde kapalı yerlerde, toprak altında, ahır ve ağıllarda kurulmakta veya üreteçlerin üzerinde sera etkisi oluşturulmaya çalışılmaktadır. Bunların yanısıra izolasyon malzemeleri kullanarak bu durum sağlanmaktadır. Bu konuda yapılan değişik çalışmalarda, 35°C da çalışan hacımsal kalma süresi 20 gün olan ve 100 hayvanın gübreinin değerlendirildiği bir biyogaz tesisinde optimum izolasyon kalınlığı cam elyafı için 0,25 (m), perlit için 0,5(m) olarak bulunmuştur. Gübre miktarı ve kalma süresi değiştirildiğinde optimum izolasyon kalınlığının değişmediği görülmüştür. Ayrıca bu tür tesisler için izolasyon kullanmadan sadece beton monoblok şeklindeki bir tasarımda 0,9 metre beton kalınlığının optimum değer olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, biyogaz tesislerinin mutlaka ısı direnç katsayısı yüksek olan bir malzeme ile izole edilmesi gerektiğini göstermektedir.

5.2.7. Ekonomiklik Hesabı

Bu tür sistemlerin ekonomiklik analizi deneysel çalışmalardan ve model çalışmaların değerlendirilmesinden yapılır. Tesisin kurulacağı yıldaki fiyatlar temel alınır. Aşağıda ekonomik analizde kullanılacak bağıntılar verilmiştir (2).

$$\text{Geri dönüş oranı} = \frac{K}{TSM} \quad (5.28)$$

$$\text{Metan birim maliyeti} = \frac{YTM}{YUMM} \quad (5.29)$$

$$\text{Ömür boyu tasarruf} = \frac{1}{(EO-FO)} \left(\frac{1+EO}{1+FO} \right)^m - 1 \cdot k \quad (5.30)$$

Bu bağıntılarda,

k: (Metanın yıllık parasal değeri)-(yıllık toplam maliyet)(TL/yıl)

TSM: Toplam kuruluş maliyeti(TL)

YTM: Yıllık toplam maliyet(TL/yıl)

YUMM: Yıllık üretilen metan miktarı(m³/yıl)

EO: Yıllık enflasyon oranı(yüzdesi)

FO: Yıllık Net faiz yüzdesi

M: Amortisman süresi (yıl)

ifade etmektedir.

BÖLÜM 6. GÜL POSALARININ TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Bu bölümün amacı gülyağı fabrikalarının posalarından biyogaz elde etme olasılığının araştırılmasıdır. Böyle araştırmalarda teorik ve deneysel çalışmalar birlikte yürütülür. Teorik katsayılar deneyler sonucunda ideal değerine ulaşır. Kısıtlı laboratuvar olanakları nedeniyle sağlıklı bir deneysel inceleme yapılamamış bu yüzdende teoriye uygunluk sağlanıp sağlanmadığına kesin bir karar verilememiştir. Ancak deneyler sırasındaki gözlemlere dayanarak sonuç bölümünde bazı noktalar belirtilmiştir.

6.1. Teorik Yaklaşım

Artıkların anaerobik sindirime uygunluğu kontrolde ilk aşama, kimyasal kompozisyonlarının bilinmesidir. Tablo 6.1 de gül posasının kimyasal bileşimi verilmiştir. Bu verilere dayanarak C/N oranının 17.43 olduğu görülmüştür. Bu oran biyogaz üretimi için yeterlidir. Literatürde bu oranın 20/1 civarında olması halinde dengeli PH ın sağlanacağı ve hücre gelişmesi için gerekli azotun varlığı belirtilmektedir. Karbon fazlalığı fermentasyonu durdurmakta, azot fazlalığı ise NH₃ oluşumuna neden olup bakteriler üzerinde belli bir konsantrasyondan sonra toksik etki oluşturmaktadır.

Gül çiçeklerinden distilasyon ve ekstraksiyon yöntemleriyle elde edilen gülyağı ve gülsuyu üretiminden sonra yılda 750 ton gül posası yakılmakta veya derelere dökülmektedir. Bu artıkların kuru örneklerinde yapılan ön analizlerde posanın kuru ot düzeyinde besin maddesi (karbonhidrat+protein) kapsadığı görülmüştür. Posanın havada kurutulduktan sonra gübre halini aldığıda gözlenmiştir. Posayla birlikte dışarı atılan ikinci bir artık distilasyon sularıdır. Bu artık sular gelişigüzel arklara bırakıldığında çevredeki bitkisel varlık için zararlı olmakta, kurutucu özellik göstermektedir. Bunun nedeni atık sularındaki fenil etil alkol ve fenil asit türevleridir. Bu asit türevleri taze artıklarında hem besin hemde gübre değerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durumun daha ileri derecede çalışmalar için gözönüne alınması gerekir.

Elementel AnalizKuru numune, % ağırlık

C	40.44
H	5.2
N	2.32
O	36.71
P	0.1
Kül	4.26
Diğer elementler	10.97

Endüstriyel yaş analiz% ağırlık

Nem	23.63
Uçucu madde	58.35
Kül	4.26
Sabit karbon	13.76

Organik bileşikler% ağırlık

Ham protein	13.91
Selüloz	26.7
C/N	17.43

Tablo 6.1. Gül posasının kimyasal analiz sonuçları

Biyogaz dolayısıyla da metan üretiminin ortamdaki mikroorganizmaların büyüme hızıyla orantılı olduğu bölüm 4 de açıklanmıştır. (4.3) nolu denklemden mikroorganizmaların mezofilik fermentasyonla çoğalma hızı:

$$\mu_m = 0,13 T - 0,129 \text{ gün}^{-1}$$

$$T = 35^\circ\text{C} \text{ (mezofilik fermentasyon sıcaklığı)}$$

$$\mu_m = 0,326 \text{ gün}^{-1}$$

olarak bulunur.

Deneyler sonucu bulunan,

$S_o = 35 \text{ kg/m}^3$ Beslemedeki uçucu madde konsantrasyonu (4.21) nolu kinetik katsayı denkleminde kullanılırsa.

$$K = 0,8 + 0,016 e^{0,66S_o}$$

$$K = 0,93$$

olarak bulunur. Artıkların fermentörde hacimsal kalma süresi (θ)=25 gün olarak seçilmiştir. Değişik hayvansal artıklar üzerinde yapılan deneylerde sonsuz kalma süresinde kullanılan uçucu katının gramı başına üretilen CH_4 hacmi yaklaşık 0,36 litre civarında tespit edilmiştir. Bu değer bitkisel artıklar için $(\text{ÜM})_o = 0,32 \text{ m}^3/\text{kg}$ olarak kullanılacaktır. Bu verilere dayanarak fermentör birim hacminde günde üretilen metan miktarı, (4.20) nolu denklemden bulunur.

$$GM = \frac{S_o \text{ ÜM}}{\theta} = \frac{S_o (\text{ÜM})_o}{\theta} \left[1 - \frac{K}{\mu_m \theta + K - 1} \right]$$

$$GM = \frac{0,32 \times 35}{25} \left[1 - \frac{0,93}{0,326 \cdot 25 + 0,93 - 1} \right]$$

$$GM = 0,399 \text{ m}^3/\text{gün-m}^3 \text{ bulunur.}$$

$$\frac{GM}{S_o} = \frac{0,399}{35} = 0,0114 \text{ m}^3/\text{kg-gün}$$

Seçilen günlük besleme miktarına göre fermentör hacmi hesaplanabilir. Bu hesaplamada aşağıdaki değerler deneysel olarak bulunmalı veya literatürlerden belirli bir yaklaşıklıkla alınmalıdır. Görüleceği gibi bazı değerlerde hesaplanmaktadır.

G_g : Fermentöre yüklenecek artık kapasitesi kg/gün

X_{yk} : Artıkların katı madde yüzdesi

X_{vs} : Katı maddedeki uçucu katı oranı

S_o : Beslemedeki uçucu katı konsantrasyonu kg/m^3

VS_m : Beslemedeki günlük uçucu katı miktarı kg/gün

X_{ggk} : Fermentöre yüklenen günlük katı madde miktarı kg/gün

G_{so} : Fermentör için gerekli substrat beslemesi kg/gün

G_{su} : Gerekli su miktarı kg/gün

V_{su} : Hacimsal su debisi $m^3/gün$

V_U : Fermentasyon hacmi m^3

Bu değerlerden bilinenler aşağıda sıralanmış bilinmeyenler hesaplanmıştır.

$$G_g = 500 \text{ kg/gün}$$

$$X_{yk} = \% 18$$

$$X_{vs} = \% 80$$

$$S_o = 35 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = 980 \text{ kg/m}^3 : \text{Besleme sıvısının yoğunluğu}$$

$$X_{ggk} = (G_g) \times (X_{yk})$$

$$X_{ggk} = 500 \times 0,18 = 90 \text{ kg/gün}$$

$$V_{sm} = (X_{vs}) \times (X_{ggk})$$

$$VS_m = (0,80) \times (90) = 72 \text{ kg/gün}$$

$$G_{so} = \frac{VS_m \cdot \rho}{S_o}$$

$$G_{so} = \frac{72 \times 980}{35} = 2016 \text{ kg/gün}$$

$$G_{su} = (G_{so} - G_g) = 2016 - 500$$

$$G_{su} = 1516 \text{ kg/gün}$$

$$V_{su} = \frac{G_{su}}{g_{su}} = \frac{1516}{1000}$$

$$V_{su} = 1.516 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$V_F = \frac{(G_{so} \times \theta)}{g_{bs}} = \frac{2016 \times 25}{980}$$

$$V_F = 52,00 \text{ m}^3 \text{ alınır.}$$

Bu hacime sahip bir fermentörden günde üretilebilecek metan miktarı, $GM \times V_F$ değerindedir.

$$GM \times V_F = 0,399 \times 52 = 20.74 \text{ m}^3/\text{gün}$$

Fermentöre yüklenen 1 kg katı madde miktarına düşen metan ise, $(GM \times V_F) / X_{gk} = 0,23 \text{ m}^3/\text{kg}$ katı madde-gün olur.

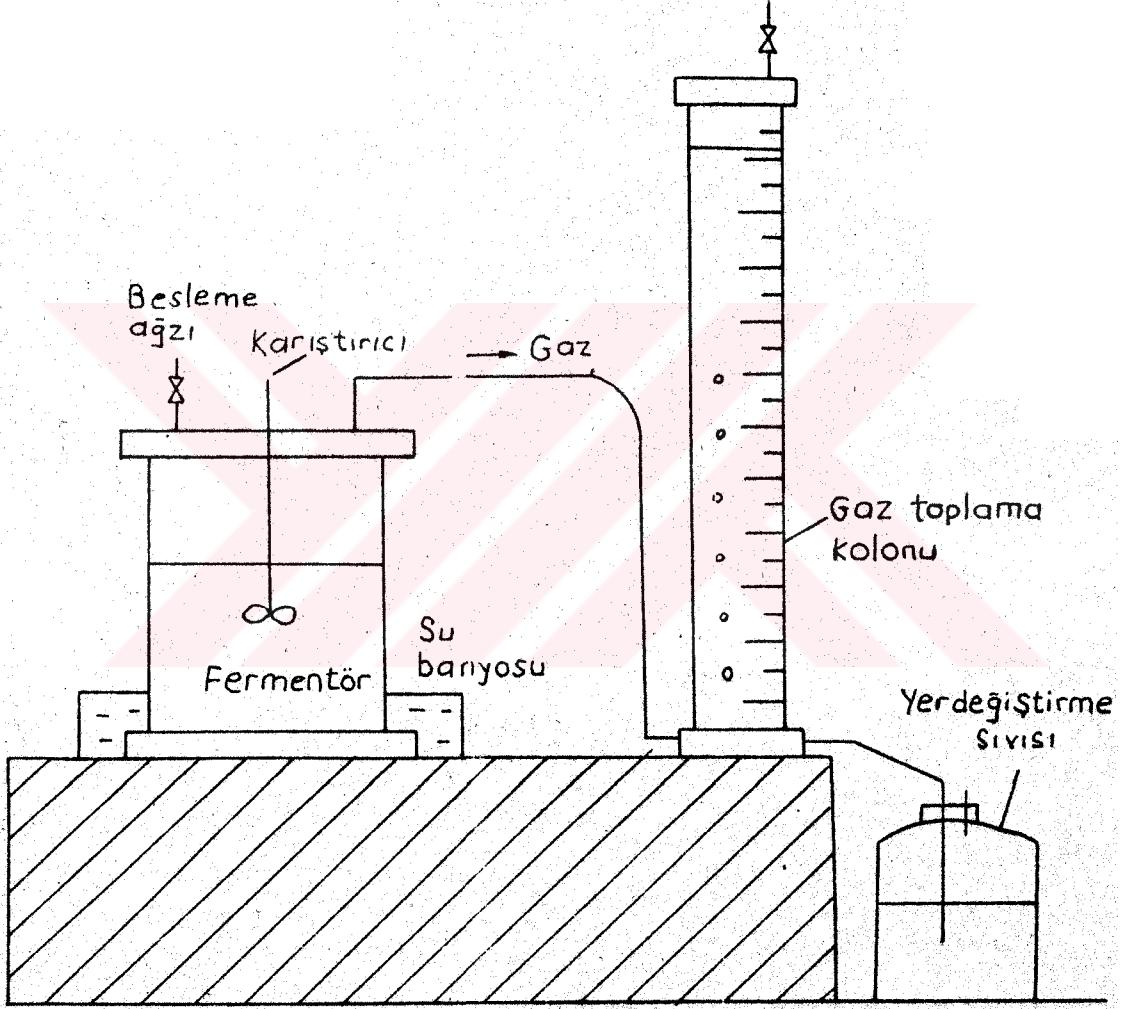
Bu yaklaşımlarla elde edilebilecek metanın enerji kapasitesi hesaplanabilir.

6.2. Deneysel İnceleme

Gülbirlik tesislerinden alınan gül artıkları yıkanma ve küçük parçalara ayrılma gibi ön işlemlerden geçtikten sonra fermentöre alınmıştır. Gaz üretici dediğimiz fermentör olarak kullanılan kap Gıda Kontrol Mühendisliği laboratuvarlarından temin edilmiş 1,5 litrelik vakumlu desikatördür. Deney kabına % 5 katı madde % 35 su karışımı konularak desikatörün içindeki hava vakum pompasıyla çekilmiş ve deney başlatılmıştır. Başlangıçta 6,9~7,1 arasında PH değerleri gösteren karışım zaman geçtikçe asidik ortama doğru kayma göstermeye başlamıştır. Deneylerde 1000 ml karışım kullanılmış bunun 50 ml lik kısmını katı madde oluşturmuştur. Gaz toplama kolonunda kullanılan su, gazı soğurmasın diye tuzla doyurulmuştur.

Karışımın sıcaklığını 35°C de tutabilmek için fermentör olarak kullanılan desikatör termostatlı bir elektrikli su ısıtıcısının içine konmuştur. Karıştırma işlemi küçük bir mekanik karıştırıcıyla yapılmaya çalışılmış zaman zamanda desikatörü çalkalayarak karıştırma yapıl-

mıştır. Aşağıdaki şekilde deney seti görülmektedir.



Şekil 6.1. Deney Seti

I. Deneme:

Artıklar direkt fermentöre konmuş ve % 5 katı-%95 su oranı sağlandıktan sonra 15 günlük süreyle bekletilmiştir. Bu deney başarısızlıkla sonuçlanmış ve karışım kokulu asidik sindirim haline gelmiş gaz çıkışı gözlenmemiştir. Bu başarısızlığın nedenleri, desikatörün metalden yapılmış bir kapakla kapatılmaya çalışılması dolayısıyla sızdırmazlığın sağlanamaması, artıklarda kalmış olan fenil etil alkol türevlerinin zamanla karışımının biyolojik dengesini etkilediği ve mikroorganizmaların ölümüne yol açmaları şeklinde belirlenmiştir. Bunların yanında elektrik kesintisi nedeniyle zaman zaman ısıtmanın aksaması ve iyi bir karıştırma sağlanamaması da büyük olumsuz etkenler olarak değerlendirilebilir.

II. Deneme:

Artıklar bir miktar temiz suyla yıkanıp dinlendirildikten sonra çok küçük parçalara ayrılarak % 5 katı oranında fermentöre yerleştirilmiştir. Fermentörün metal kapağı yerine cam bir kapak kullanılmıştır ve sızdırmazlık kısmen sağlanılmıştır. 20 günlük bekleme süresi sonunda çok az gaz çıkışı elde edilmiştir.

Yukarıda sıralanan olumsuz etmenlerden olan gaz kaçaqları ve havanın fermentöre girmesi tamamen engellenememiştir.

III. Deneme:

I ve II. deneyde görülen ve işlemi olumsuz yönde etkileyen girdiler tamamen giredilmeye çalışılmış desikatörün kapağı mekanik kelepçelerle sıkıştırılmış, ısıtıcı daha düzenli ısıtma sağlayacak hale getirilmiştir. Bu deneyde kullanılan karışıma II. deneydeki karışımdan (10 gr) aşlama yapılmıştır. % 5 katı-%95 su konsantrasyonundaki katı artık ve su karışımı 25 günlük bekleme süresine tabi tutulmuştur. İlk 10 gün içinde maksimum gaz çıkışı olmuş sonra bu değer ya-

vaş yavaş azalma göstermiştir. Dency sonucunda elde edilen gaz üretimi Şekil 6.2 de gösterilmektedir. Toplam gaz üretimi ölçümlerin birleştirilmesinden bulunmuştur. Bu değer şekilde görülen eğrinin altında kalan alanlarda ifade edilebilir.

25 günlük bekleme süresi sonunda elde edilen toplam gaz üretimi 20,8 ml olmuştur. Bu değer 50 gr katı maddenin bozunması sonucudur. 1 kg katı maddeden 416 ml gaz elde edilebilir. Bu gazın % 60 oranında metan içerdiği gözönüne alınırsa 1 kg katı maddeden 250 ml gaz elde edilir. Gül artıklarınının % 18 katı madde içerdikleri düşünülerek 1 kg artıktan 45 ml gaz elde edilebileceği görülmektedir.

Deneyssel olarak bulunan 0,45 (lt/kg) metan üretim değeri teorik olarak elde edilen 0,014 m³/kg-gün değerinin yanında çok küçük kalmaktadır. Fakat bu deneyssel çalışmanın çok kısıtlı laboratuvar imkanlarıyla yapıldığı göz önüne alınırsa elde edilen sonuç anormal değil beklenen bir sonuçtur. Elde edilen bu gazın kokusuz ve mavi bir alevle yandığı gözlenmiştir.

Artıklardan biyogaz eldesi konusunda çeşitli üniversitelerin laboratuvarlarında deneyssel incelemeler yapılmaktadır. O.D.T.Ü.kimya bölümünde samanın yarı sürekli bozunması için bir deney seti kurulmuş ve önemli aşamalar kaydedilmiştir.

Bu deneyssel incelemenin sonuçları 6.3.a, 6.3b ve 6.3c deki şekillerde gösterilmiştir. Bu çalışmada öğütülmüş saman yarı sürekli olarak 55°C ta 10 günlük bekleme süresi ile iki ayrı incelemeye tabi tutulmuştur. Birinci deney, temel karışımla ve hiçbir ön işlem uygulanmadan yapılmıştır. İkinci deneyde temel karışım alkali ile ön işlem den geçirilmiştir. % 5 katı madde içeren karışıma (2 gr NaOH/100 gr Uçucu katı) eklenmiş oda sıcaklığı ve basıncında 24 saat bekletildikten sonra bu karışım fermentöre beslenmiştir. Deneyler boyunca toplam gaz üretimi ölçülüp kaydedilmiştir. Temel karışım için metan yüzdesi ortalama 33 iken alkali ile muamele edilen karışım için bu değer 62 dir. Temel karışım için yataşkın durumdaki metan üretim hızı 0,142 m³/m³-ferm.gün iken alkali ile muamele edilmiş karışım için 0,682 m³/m³ fer.gün dür. Bu belirgin farklılıklar, hidrolizin samanın anaerobik bozunurluğu üzerindeki olumlu etkisini ortaya çıkarmıştır. Ön hidrolizin etkisi şöyle açıklanabilir: Alkali ile muamele, ligninin karbonhidratlarla olan bağlarını gevşetir ve böylece substrata erişilebilirliği ve dolayısı ile anaerobik bozunabilirliği artırır.

Ege Üniversitesi kimya bölümünde inek gübresi üzerinde benzeri deneysel ve teorik incelemeler yapılmış, ayrıca bir tesisde inceleme amacıyla kurulmuştur. Şekil 6.4.a, 6.4.b, 6.4.c deneysel inceleme sonuçlarını, Şekil 6.5 de kurulan tesisi göstermektedir. Bu deneysel incelemelerde de 32.32 gr, 41.14 gr, 51.72 gr biyolojik parçalanabilir uçucu katı için elde edilecek gaz ve metan miktarları araştırılmıştır. Bu değerler için mikroorganizma derişimi-zaman, biyolojik parçalanabilir uçucu katı madde-zaman, mikroorganizma özgül büyüme hızı-biyolojik parçalanabilen uçucu katı madde arasındaki ilişkiler de Şekil 6.6a, 6.6b, 6.6c de gösterilmiştir. Bu araştırma için kurulan tesiste Şekil 6.5 de gösterilmiştir. Şekil 6.6 dede gübre-su karışımı sıcaklığının bir fonksiyonu olarak gaz üretimi gösterilmektedir.

Isparta-Gölcük yolu üzerinde ve Isparta'ya 15 km mesafede kurulan tavuk gübresi ile çalıştırılan bir biyogaz tesisi bir evin ihtiyaçlarını karşılayacak kadar gaz üretebilmektedir. Üniversitemizin makina bölümü de bu gazın motorlarda kullanılabilirliği hakkında araştırmalar yapmaktadır.

Gül artıklarından teorik yaklaşımla ($0,0114 \text{ m}^3/\text{kg-gün}$) elde edilen metan değerinden hareket ederek 750 ton/yıl kapasiteli artıkların enerji içeriği hesaplanabilir. Gül artıklarındaki katı oranı %18 katı madde içindeki uçucu katı oranı da % 80 olarak tespit edilmişti. Bu durumda toplam uçucu katı:

$$750 \times 10^3 \times 0,18 \times 0,8 = 108 \times 10^3 \text{ kg}$$

bulunur.

Bu uçucu katının üretebileceği metan miktarı:

$$0,0114 \times 25 \times 108 \times 10^3 = 30,78 \times 10^3 \text{ m}^3$$

olarak bulunur. Bu işlemdeki 25 sayısı gün olarak artıkların fermentörde kalma süresidir. Metanın alt ısıl değeri $33000 \text{ kg(m}^3 \text{ olduğuna göre}$ teorik olarak elde edilebilecek enerji eşdeğeri:

$$30,78 \times 10^3 \times 33000 = 1015 \times 10^6 \text{ kJ}$$

bulunur.

Bu teorik enerji değerinin ise, çeşitli kayıplar, ısıtma masrafları kullanılan cihazların ve metanın değerlendirildiği makinaların verimide göz önüne alındığında, ancak % 35 inden faydalanılabileceği düşü-

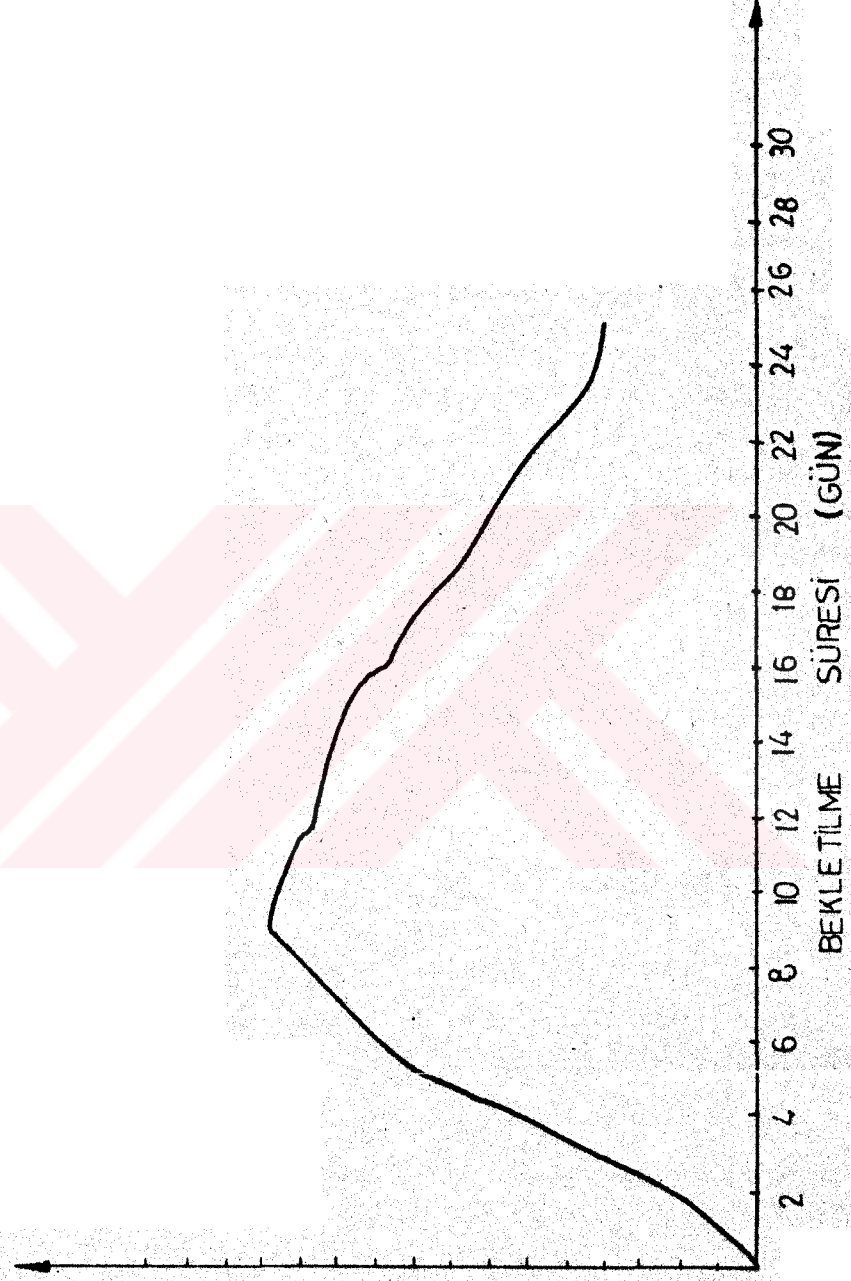
nülürse

$$1015 \times 10^6 \times 0,15 = 355 \times 10^6 \text{ kJ}$$

değerinde bir enerji kapasitesi ile karşı karşıya kalındığı görülür. Bu değer 98620 kwh elektrik gücüyle eşdeğerdir. Günümüz şartlarında elektrik enerjisinin kw-h'nin 50 TL olduğu gözönüne alınırsa bu artıkların değerlendirilmesiyle yılda 50 milyonluk enerji tasarrufu sağlanabileceği görülür.

Enerjiye çok fazla ihtiyacı olan ülkemizde gül artıkları gibi çeşitli yöresel artıklar, çay, fındık, tütün artıkları, bitkisel ürünleri işleyen fabrikaların artıkları kullanılmadan boşa harcanmakta ve çevre kirliliği oluşturmaktadır. Bu enerji değerinin yanında metan üretiminden sonra elde edilen fermentasyon çıkışındaki artıktaki kaliteli gübre olarak değerlendirilebilmektedir.

GAZ ÜRETİMİ (M³-gaz/t hacmi)



Şekil 6.2. Gül artıklarından elde edilen gaz üretimi

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Biyomas konusunda yapılan bu araştırmanın sonunda ülkemizin oldukça büyük kapasitede biyomas kaynaklarına sahip olduğu görülmüştür. Bu enerji kaynağının en uygun şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan incelemeden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- 1) Isıl değeri yüksek çöplerin, sanayi artıklarının ve özel artıkların dışında kimyasal enerji içeriğinden anaerobik sindirim prosesiyle yararlanabileceğimiz her tür tarımsal ve orman biyomas artıklarının mevcut potansiyelini ihmal etmemeli, bu potansiyelden mutlaka akılcı ve ekonomik bir şekilde yararlanmalıyız.
- 2) Günümüzde çöplerin ve artıkların yakılması, termik reaksiyonlarla gazlaştırılması veya sıvılaştırılması, çevre kirliliğine yol açar fazla miktarda artık bırakan, ekonomik olmayıp kompleks bir teknolojiyi gerektiren ve sadece çöplerin miktarını azaltan işlemler olarak görülmektedir. Dolayısıyla anaerobik sindirim prosesi rahatlıkla tercih edilebilir.
- 3) Biyomasdan enerji üretim teknikleri içinde her yönüyle en uygunu genel olarak fermentasyon tekniğini kapsayan anaerobik sindirim prosesi olarak saptanmıştır.
- 4) Anaerobik sindirim prosesi esnasında çevre kirliliği önlenmekte, iyi bir yakıt sayılan biyogaz elde edilmekte geriye kalan sindirim çamurunda gübre olarak doğrudan toprağa verilebilmektedir.
- 5) Anaerobik sindirim prosesinde kullanılan biyomasın fiziksel ve kimyasal yapısı oldukça önemli olmaktadır.
- 6) Bir biyogaz ünitesinde elde edilen net enerji verimi, kullanılan artığın biyolojik ayrışabilirliği, ayrışma oranı, ısıtma, karıştırma ve pompalama için gerekli enerji miktarının kompleks bir fonksiyonudur.

Anaerobik sindirim prosesinin incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) Substrat konsantrasyonunun artması ile mikro organizmaların

büyüme hızının azaldığı gözlenmiştir.

2) Düzenli miktarda gaz üretimi için sabit sıcaklıkta çalışmanın gerekli ve şart olduğu belirlenmiş kontrol kolaylığı yönü ile 35°C (mezofilik) çalışmanın uygun olduğu anlaşılmıştır.

3) Mikroorganizmaların gecikme evresinin azaltılması için başlangıçta sisteme aşı mikroorganizma katılmasının gerekli olduğu belirlenmiştir.

4) Karıştırmanın homojenlik temini açısından gerekli ve şart olduğu saptanmıştır.

5) Karışımın PH'ı her şeyi iyi ayarlanmış fermentörler için önemli olmayıp 6,8~7,2 değerleri arasında kalmaktadır.

6) Substrat konsantrasyonunun artmasıyla özgül büyüme hızının azalması (K) parametresinin zehir etkisi yapan bir özellik taşıdığını göstermektedir.

7) Biyomasın özelliğine göre belli oranlarda alkali (NaOH) ilavesi metan yüzdesini ve gaz üretimini artırmaktadır. Bu oran değişik biyomas kaynakları için araştırılmalıdır.

8) Biyogaz üretimi için prizma yerine silindirik geometride bir fermentör tavsiye edilmektedir. Bunun nedeni prizma tip fermentörlerde mikroorganizma ve substrat dağılımı istenilen düzeyde olmamakta ve tam karışım sağlanmamaktadır.

9) Değişik boyutlandırmalarda silindir yanal yüzeyi maliyetinin tavan ve taban yüzeyi maliyetinin iki katı olduğu gözönüne alınarak optimum çap/yükseklik hesabı yapılmalıdır.

10) Isı kayıplarını minimuma indirmek ve besleme sıvısının naklini kolaylaştırmak amacıyla fermentörün toprağa gömülmesi düşünülebilir. Tesisin kurulacağı yerde yeraltı suyunun ulaşılacağı maksimum yükseklik dikkate alınmalı, suyun toprak seviyesine yakın olduğu durumda tesisin zorunlu olarak yerüstüne inşa edilmesi gerekecektir. Bu durumda sistemde bir besleme pompasının kullanılması zorunludur.

11) Prosesin ıssısını sabit tutmak çok önemli olduğu için tesisin izole edilmesinin şart olduğu görülmüş, perlit, cam elyafı ve strafor gibi izolasyon malzemelerinin kullanılabileceği düşünülmüştür.

Köylerde tesisin bir ahır içine inşa edilmesi veya tesis üzerinde sera etkisi oluşturulması uygun bir yöntemdir.

12) Termofilik sıcaklıkta çalışma esnasında uçucu parçalanma yüzdesi mezofilik bölgede çalışmaya göre daha fazla olmakta ve daha kısa sürede daha fazla gaz üretimi yapılabilmektedir. Ancak yüksek sıcaklıkta termofilik bakteriler daha hassas davrandıklarından termofilik çalışmada sıcaklığın çok iyi kontrol edilmesi gerekmektedir. Mezofilik bölgede çalışmak pratiklik ve kontrol kolaylığı yönünden daha uygun olmaktadır. Organik artık miktarının çok olduğu, iklim koşullarının uygun olduğu yörelerde termofilik bölgede çalışılabilir.

13) Tesisin kurulacağı yere su temin edilebilmeli ve kullanılacak substratın uçucu katı madde yüzdesi, biyolojik parçalanabilirlik yüzdesi, C/N oranı, besleme sıvısının yoğunluğu ve viskozitesi vb. kimyasal ve fiziksel özelliklerin önceden belirlenmiş olması gerekmektedir.

14) En fazla ısı, fermentöre giren besleme sıvısının sıcaklığını çalışma sıcaklığına yükseltmek için gereklidir. Sistemin enerji giderlerini azaltmak için fermentörden çıkan sulu karışımın enerjisinden ve/veya karışımı hazırlamada kullanılan suyun ısıtılmasında güneş enerjisinden yararlanılmalıdır.

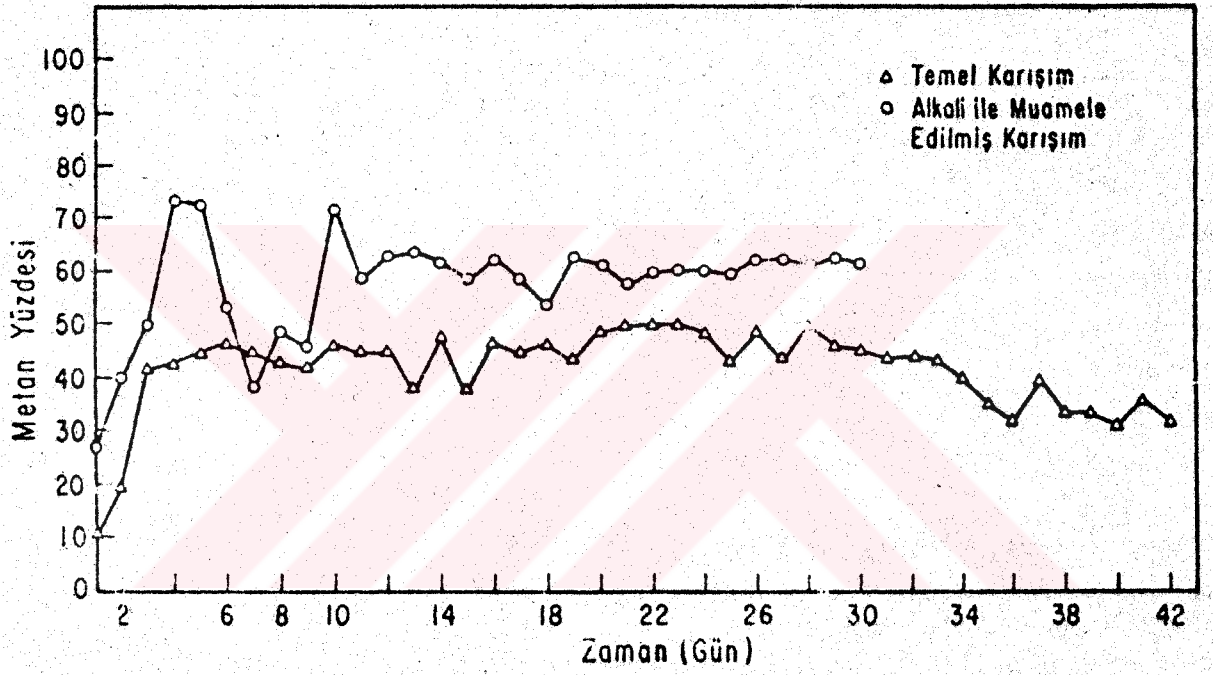
15) Aşı mikroorganizma üretim için hayati önemde olduğundan anaerobik bakterilerin üretimini gerçekleştirecek organizasyonlar oluşturulmalı, biyogaz tesisleri için gerekli aşı bu kuruluşlardan temin edilebilmelidir.

16) Fazla artığın olması, sistemin ekonomikliğini olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenle Türkiye ve benzer koşullardaki ülkelerde biyogaz tesislerinin büyük hacimli (köy tipi) olarak kurulması ve yaygınlaştırılması bu tip çalışmaların en somut önerileri arasındadır.

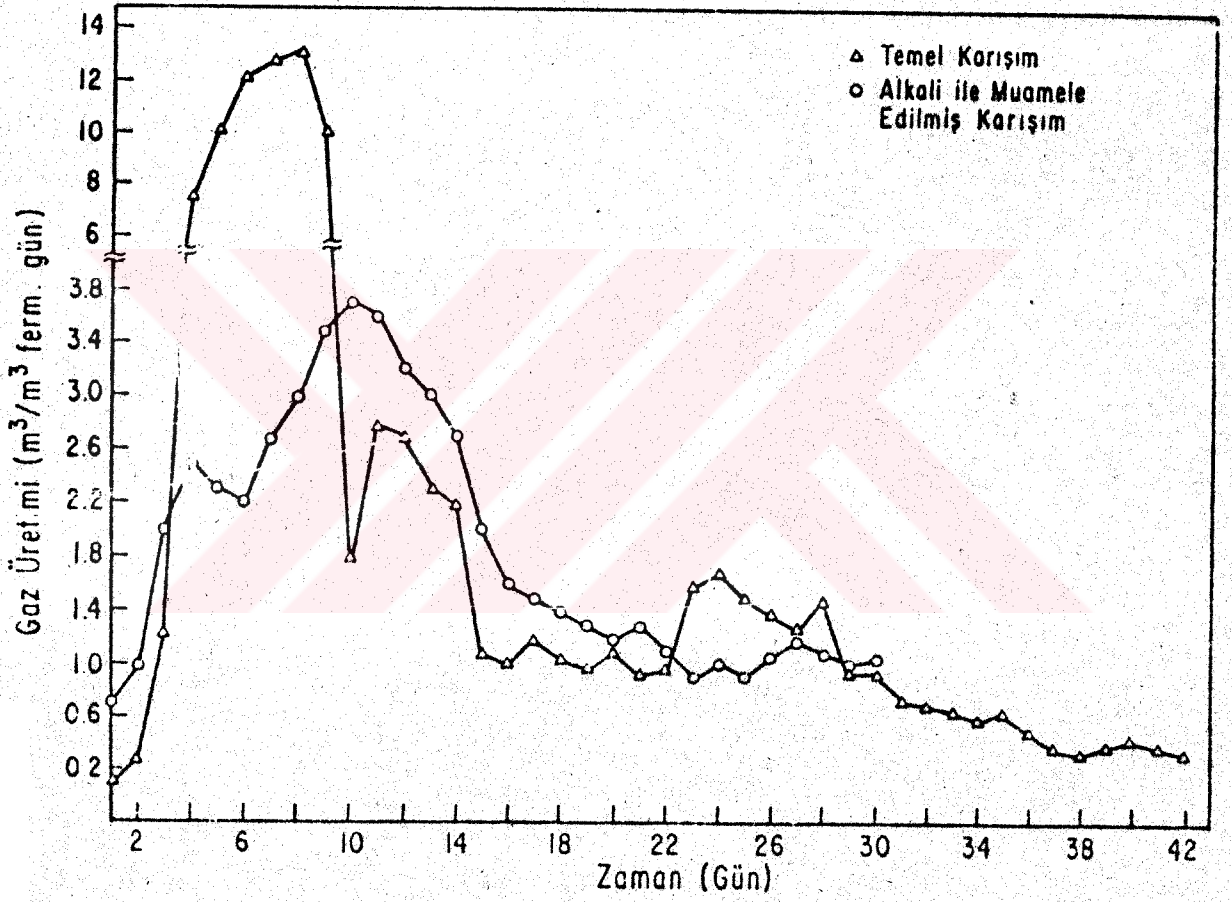
17) Bu ve benzeri çalışmalarda makina, kimya ve ziraat mühendisliği bölümlerinin birlikte araştırma yapması, laboratuvarlarını ortaklaşa kullanması ve ileriye dönük araştırmalar için bilgi alış-verişinde bulunmaları gerekmektedir.

K A Y N A K L A R

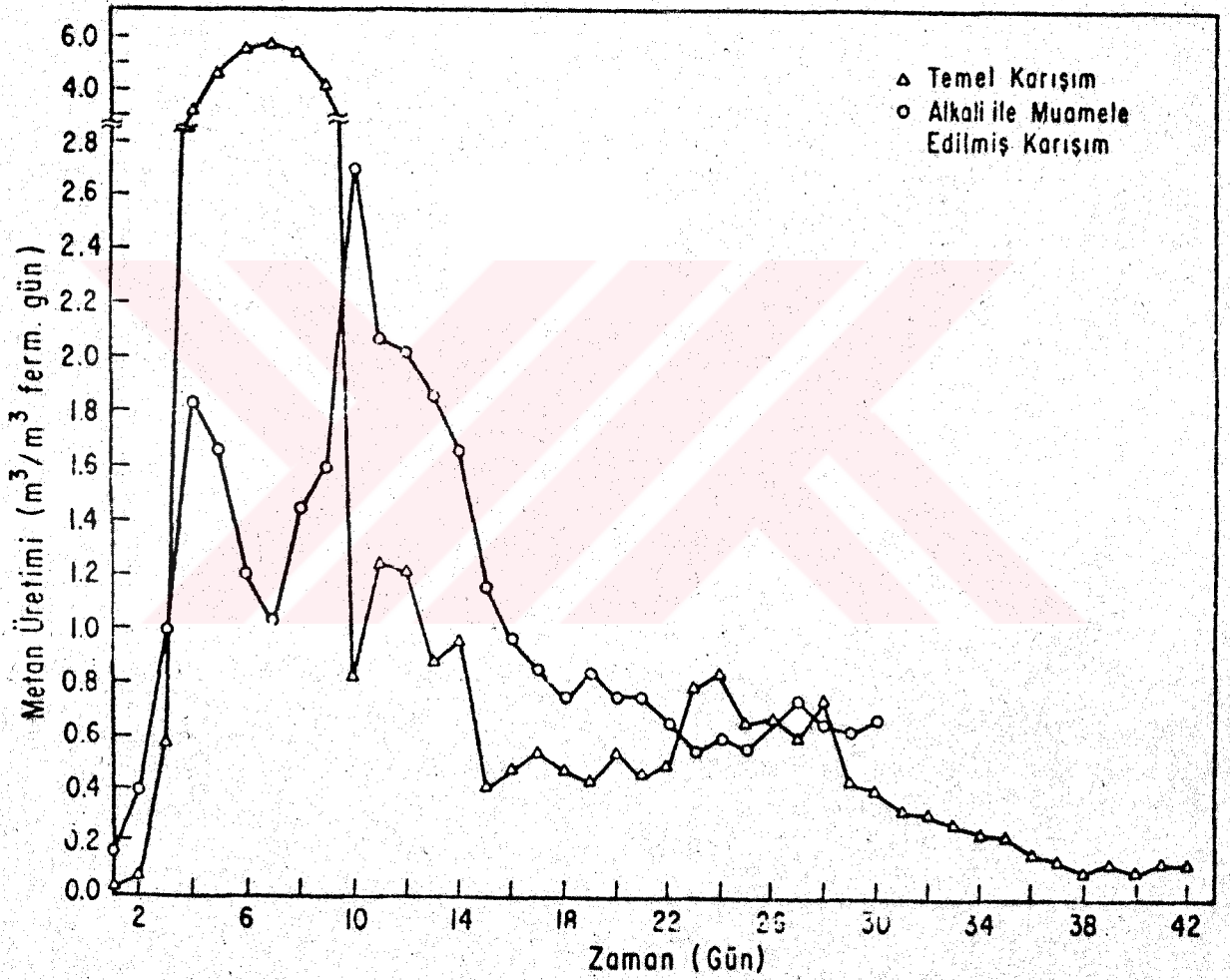
1. PEKİN Burhan, "Biyokimya Mühendisliği (Temel İlkeler), Birinci kitap, Kısım-II, E.Ü.Matbaası (1979).
2. ATALAY, F.S., "Biyogaz üretim koşullarının incelenmesi ve tesis tasarımı" Doktora tezi, E.Ü.1984.
3. Uluslararası Biyogaz semineri, Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti-UNUCEF ortak organizasyonu 1981-Ankara.
4. AKYURT, Mehmet, "Biyogaz Teknolojisi", İstanbul, 1987.
5. Özel Oturum Tebliğleri, Türkiye 4.Enerji Kongresi, İzmir,1986.
6. BAHAR, M. "Biyogaz üretimi ve ön tasarım", Diploma projesi (Yönetici: Beba, A.) E.Ü.Kimya Fakültesi (1981).
7. PAMİR, M.N., "Tarımsal kaynaklı selüloz içeren artıkların biyolojik parçalanma yoluyla değerlendirilmesi ve bu bakımdan memleketimizin olanakları" A.Çağlar (Editör), "Biyoteknoloji ve Biyomühendislik" III. Ulusal Biyomühendislik Kongresi Tebliğleri, Ankara, 1981.
8. TELLİ, Z.K, "Termodinamik", A.Ü.Mühendislik Fakültesi,Isparta,1984.
9. TOSUN, A., SELÇUK,N., SOYUPAK, S., "Samandan Biyogaz Üretimi",Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 11, Sayı 1. Ankara, 1988..
10. OECD Report, "Biomass For Energy", Paris, 1984.
11. Clausen, E.C.and Gaddy.J.L., "Separate Strage Fermentation Of Biomass to Methane", AICLE, Symp., Vol.74, 1973, PP.56-74.
12. Klass, D.L.and Ghosh, S., "Methane production by Anaerobic Digestion Of Bermuda Grass", 177 th National Meeting, American Chemical Society, April 1979, Biomass aSa Nonfossil Fuel Source, PP. 230-249.
13. Jevell, W.J. etal(1976), "Bioconversion of agricultural wastes for pollution control and energy conservation, Final Report, Agr.Eng., Cornell Üniv.İthaca, New York.
14. -(1977) "Methane generation from human, animal and agricultural wastes, National Acad, sci.Washington,D.C.
15. Barnett, A.Pyle, L, Subramanian, S.K."Biogas Technology in the The Third World, International Development Research Centre, (1978).



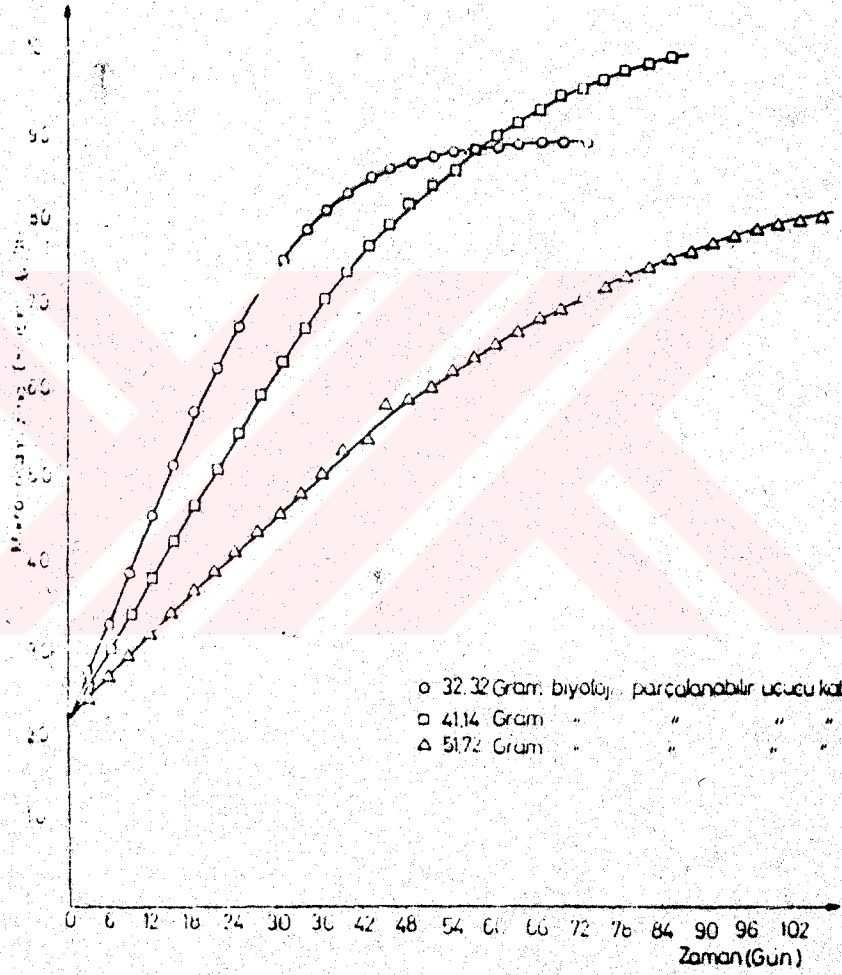
Şekil 6.3.b. Metan yüzdesinin zamana göre değişimi (bekleme süresi=10 gün)



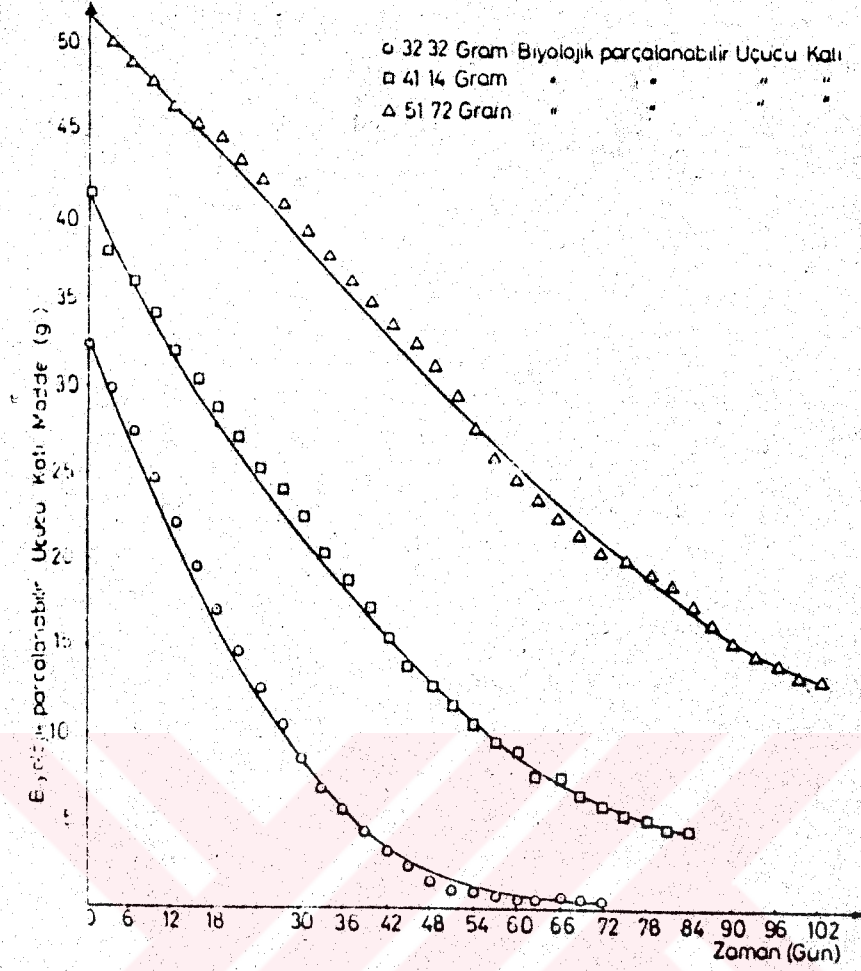
Şekil 6.3.a. Samandan gaz üretiminin zamana göre değişimi .



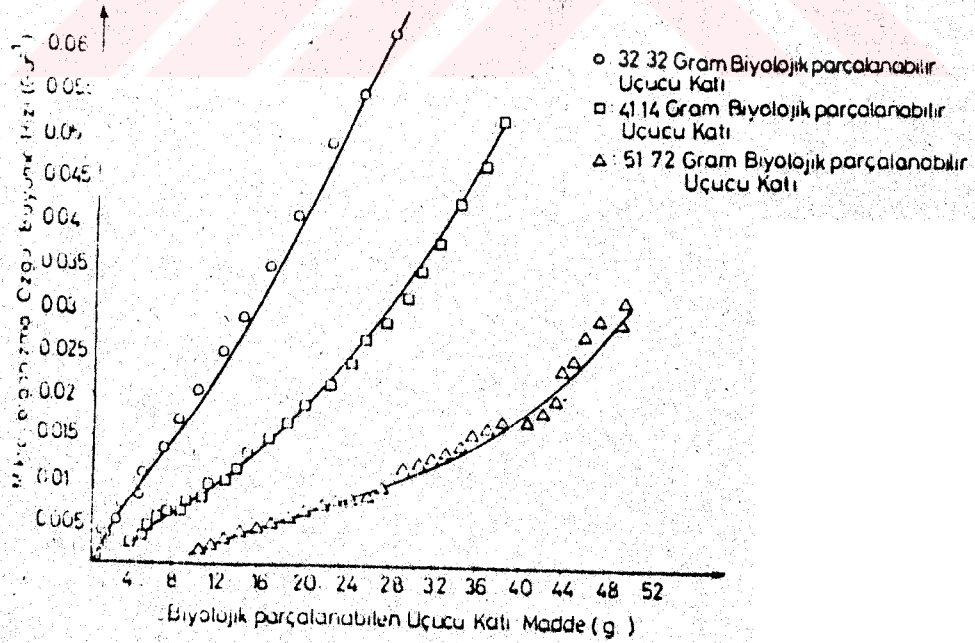
Şekil 6.3.c. Metan üretim hızının zamana göre değişimi (bekleme süresi=10 gün)



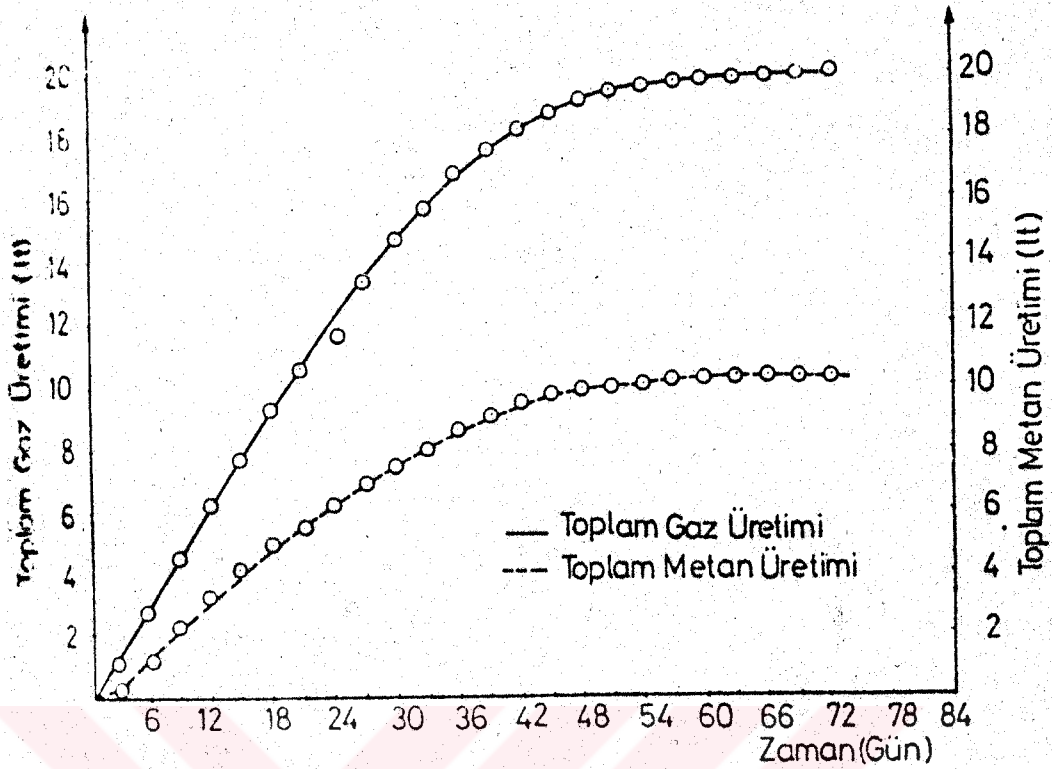
Şekil 6.4.a. İnek gübresi için mikroorganizma değişimi ile fermentasyon süresi arasındaki ilişki



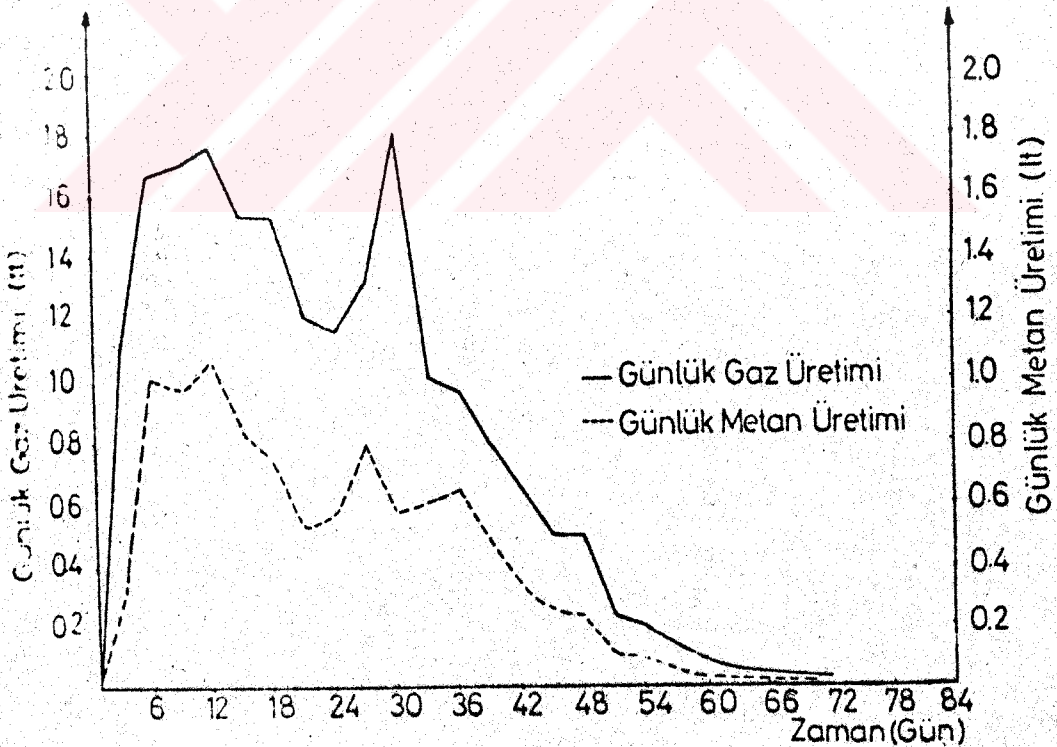
Şekil 6.4.b. - Biyolojik parçalanabilir Uçucu Katı ile Fermentasyon Süresi Arasındaki İlişki



Şekil 6.4.c. - Mikroorganizma Özgü Büyüme Hızı ile Biyolojik Parçalanabilir Uçucu Katı Arasındaki İlişki

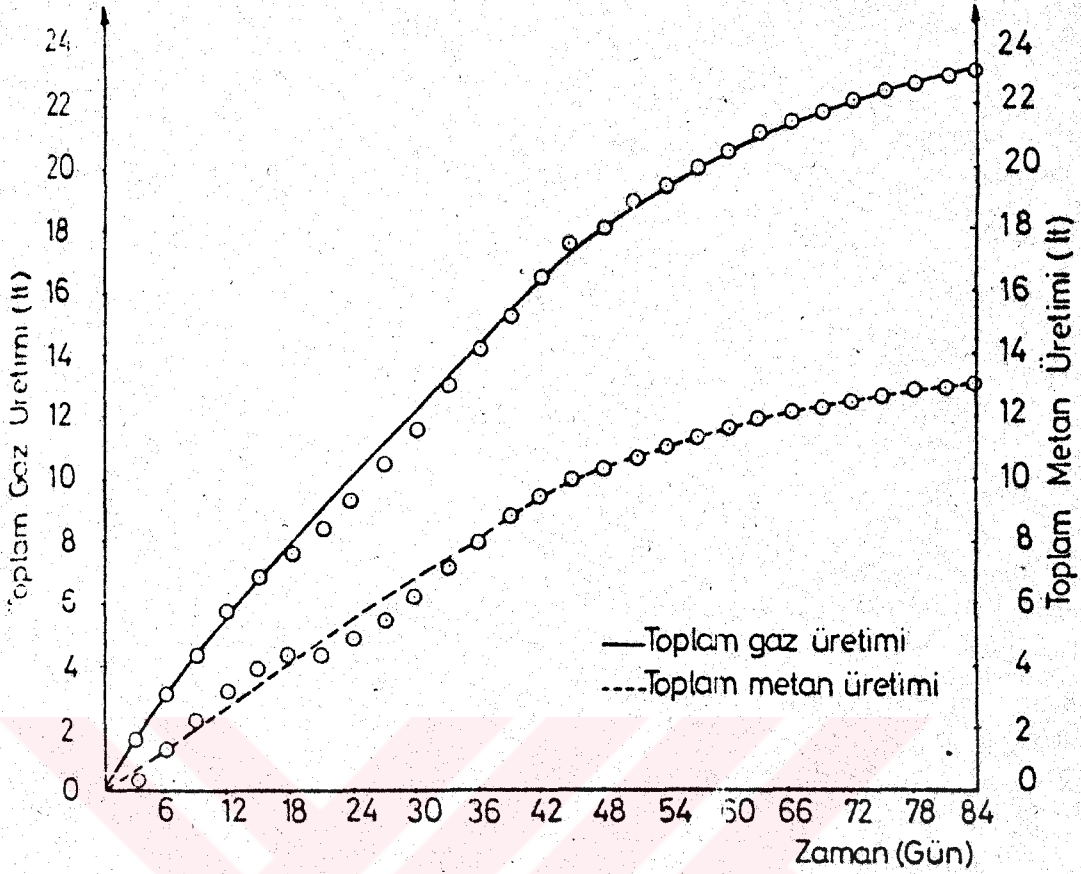


Gram Biyolojik parçalanabilir Uçucu Katı için
Toplam Gaz ve Metan Üretimi

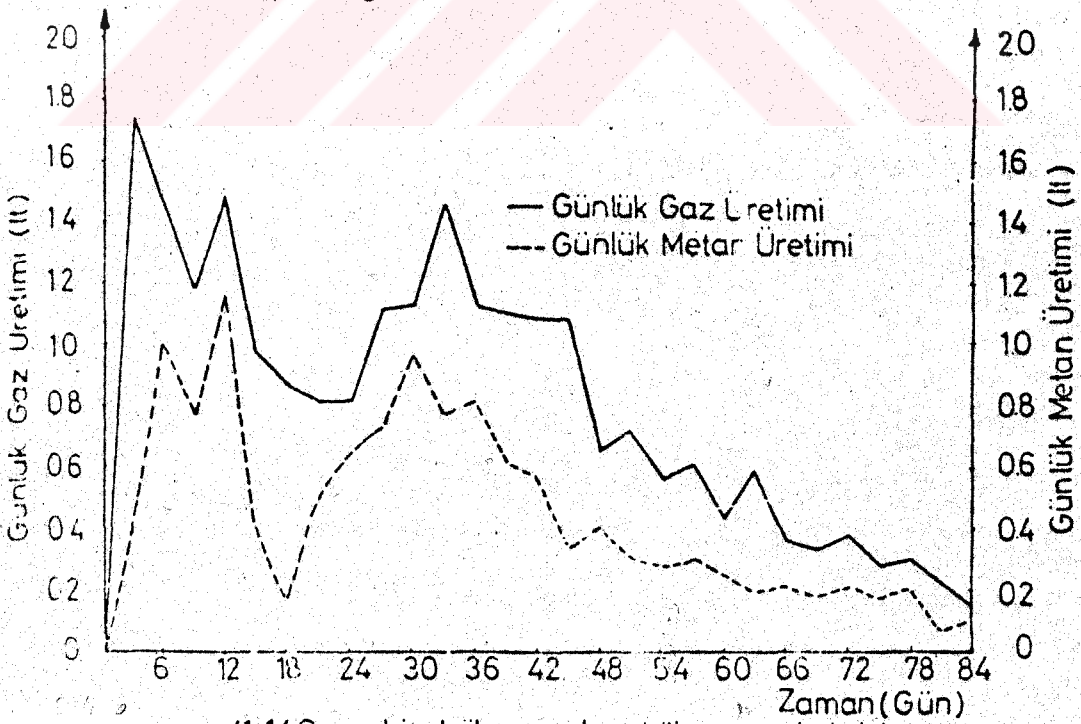


Gram Biyolojik parçalanabilir Uçucu Katı için
Günlük Gaz ve Metan Üretimi

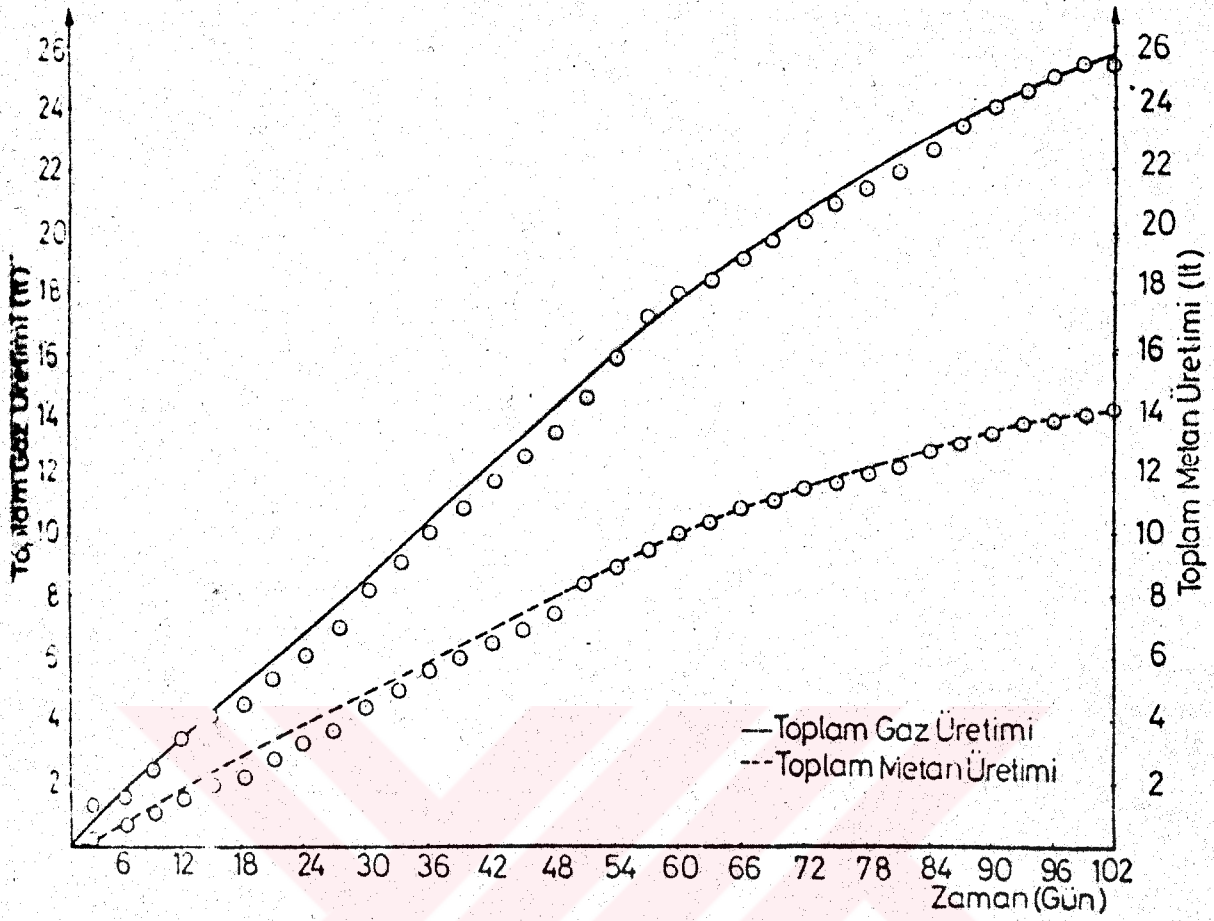
Şekil 6.4(d,e,f). Değişik miktarlarda biyolojik parçalanabilir uçucu katı için günlük gaz ve metan üretimi



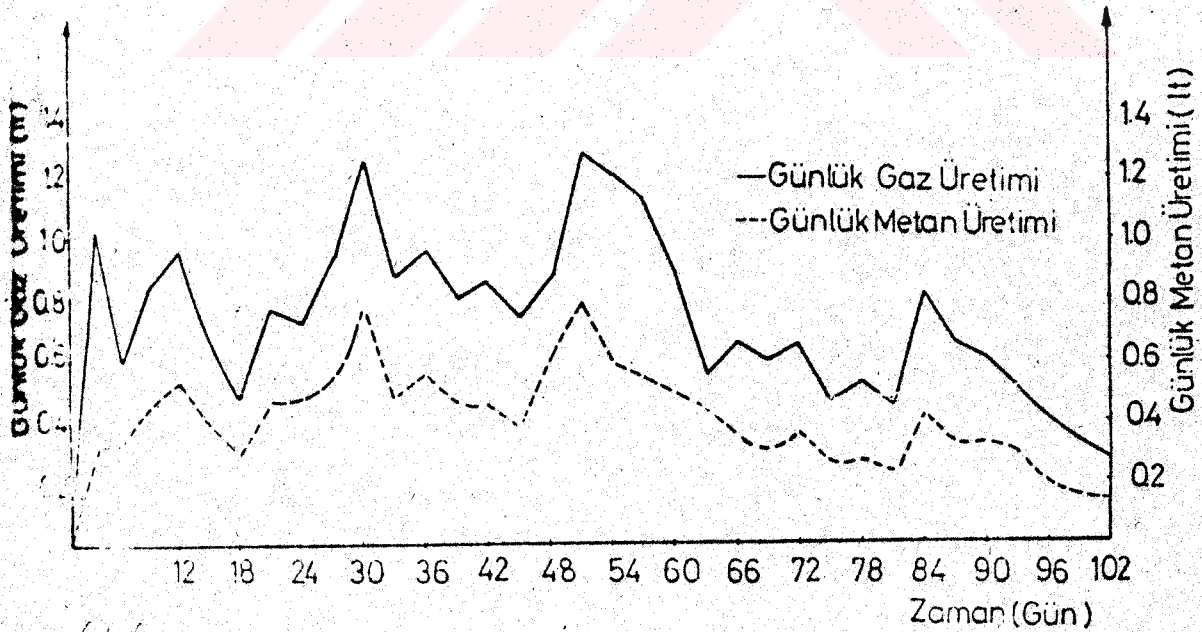
41.14 Gram biyolojik parçalanabilir uçucu katı için
Toplam gaz ve metan üretimi.



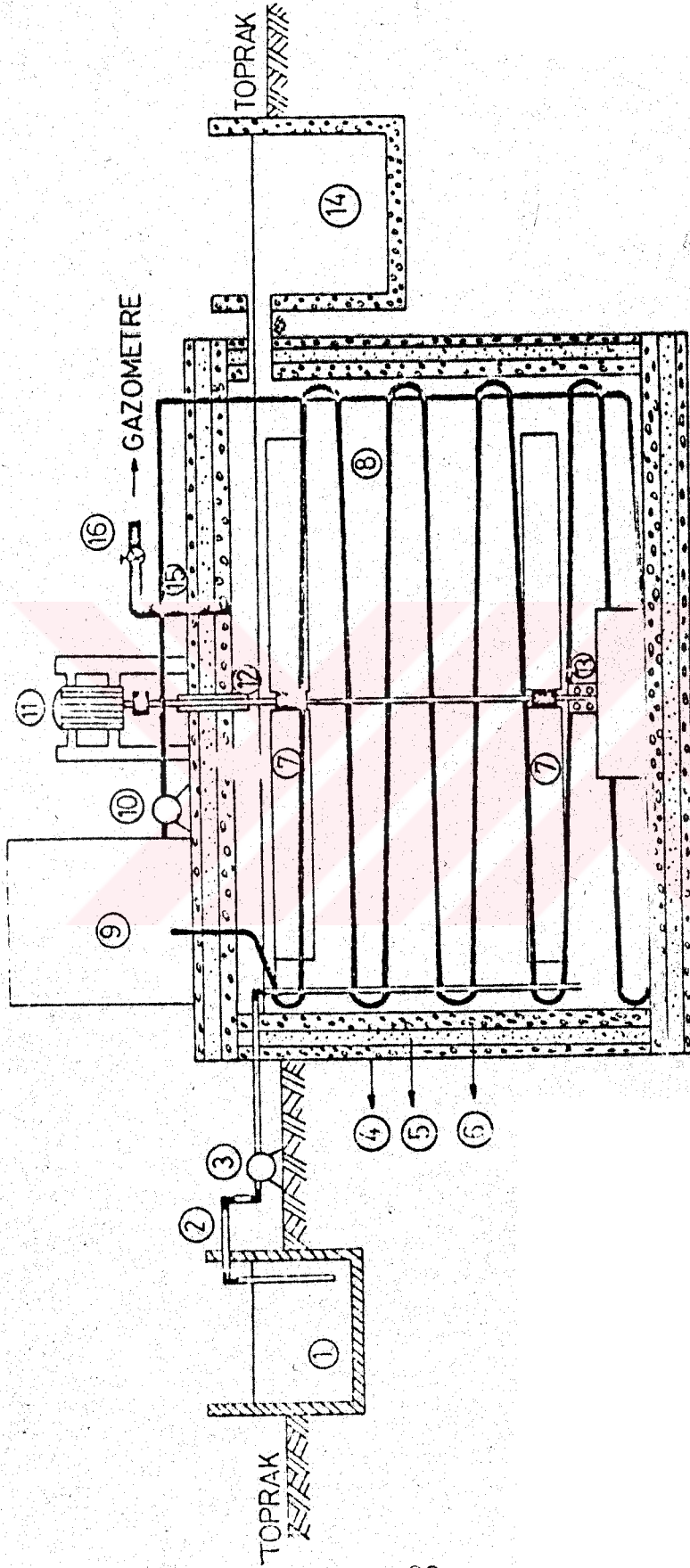
41.14 Gram biyolojik parçalanabilir uçucu katı için
Günlük gaz ve metan üretimi.



51.72 Gram Biyolojik parçalanabilir Uçucu Katı İçin Toplam Gaz ve Metan Üretimi

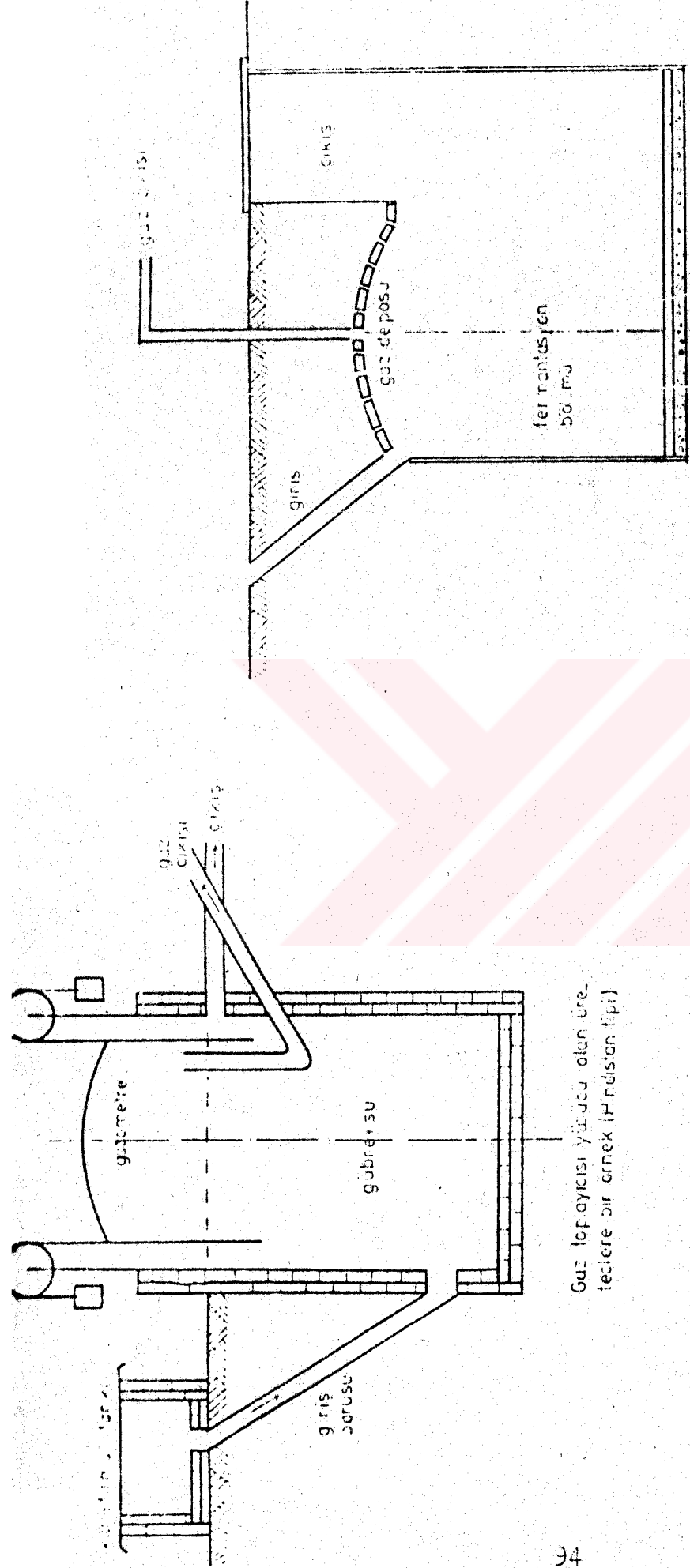


51.72 Gram Biyolojik parçalanabilir Uçucu Katı İçin Günlük Gaz ve Metan Üretimi

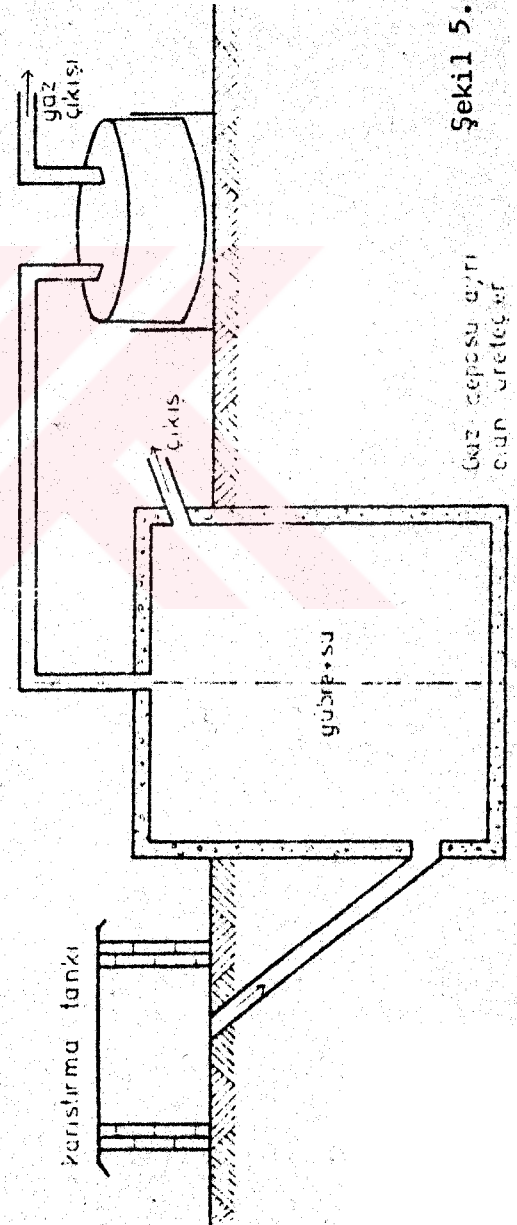


Şekil 6.5. Ege Üniversitesinde kurulan tesisin şeması

- | | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| ① Besleme Havuzu (2 Gün Kapasiteli) | ⑥ Fermentör İç Beton Duvarı | ⑫ Sızdırmaz Salmastro |
| ② Besleme Borusu (2") | ⑦ Karıştırma Kanatları | ⑬ Karıştırıcı Mil Yatağı |
| ③ Besleme Pompası | ⑧ Isıtma Kargal Borusu (1/2" Boru) | ⑭ Boşaltma Havuzu |
| ④ Fermentör Dış Beton Duvarı | ⑨ Su Isıtma Sistemi | ⑮ Gaz Çıkış Borusu |
| ⑤ İzolasyon | ⑩ Sıcak Su Sirkülasyon Pompası | ⑯ Gaz Vanası |
| | ⑪ Karıştırıcı Motoru | |



Gaz topluyucu yükücü olan üreticilere bir örnek (Hindistan tipi)



Gaz deposu ayrı olan üreticiler

Şekil 5.4. Değişik tip biyogaz üreticileri