

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATI, SIVI VE GAZ ATIKLARDAN ENERJİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Salih KARDAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Yaşar İSLAMOĞLU

Temmuz 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATI, SIVI ve GAZ ATIKLARDAN ENERJİ ÜRETİM
YÖNTEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

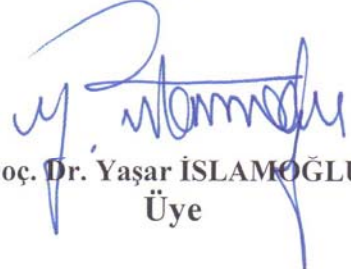
Çevre Müh. Salih KARDAŞ


Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Bu tez 30 / 07 /2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Rıza GÜVEN
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Yaşar İSLAMOĞLU
Üye


Yrd. Doç Dr. Hasan KÜÇÜK
Üye

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam süresince her türlü yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç.Dr. Yaşar İSLAMOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelene kadar her türlü sorunda yanımda olan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca sürekli yanımda bulunan ve herşeyi paylaştığımız arkadaşlarım Tolga SUGETİREN ve Esra DEVAY'a ve bu çalışmanın düzeltilmesi ve bitirilmesinde ki desteğinden dolayı Belkıs BAYRAKTAR'a teşekkür ederim

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Atıklar ve Oluşum Nedenleri.....	1
1.2. Atıkların Arıtılması.....	2
1.2.1. Sıvı atıkların arıtılması.....	2
1.2.2. Katı atıkların arıtılması.....	8
BÖLÜM 2.	
ENERJİ.....	10
2.1. Enerji Çeşitleri	10
2.1.1. Potansiyel enerji.....	10
2.1.2. Kinetik enerji.....	11
2.2. Enerji Elde Etme Yöntemleri.....	11
2.3. Türkiye’de Enerji Üretimi.....	15
BÖLÜM 3.	
BİYOGAZ.....	20
3.1. Biyogaz Oluşumu.....	20

BÖLÜM 4.	
KATI ATIKLARDAN ENERJİ ELDE ETME YÖNTEMLERİ.....	28
4.1. Akışkan Yataklı Reaktörde Polipropilen Plastik Atıklarının Hava Gazifikasyonu.....	28
4.1.1. Ölçüm ve veri toplama işlemi.....	32
4.1.2. Deney yöntemi.....	33
4.1.3. Deneyin sonuçları.....	34
4.2. PVC Atıklarından Buhar Gazifikasyon Prosesi Tasarımı.....	42
4.2.1. Tasarım varsayımları.....	44
4.2.2. Baloncuklu akışkan yataklı reaktörün seçim ve tasarımı.....	46
4.2.3. Proses açıklaması.....	49
BÖLÜM 5.	
GAZ ATIKLARDAN ENERJİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	55
5.1. Isı Değiştiricilerinin Seçim Kriterleri.....	57
BÖLÜM 6.	
SIVI ATIKLARDAN ENERJİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	58
6.1. Deney Düzenegi.....	58
6.2. Deneyin Yapılışı.....	61
6.3. Deneyin Sonuçları.....	62
BÖLÜM 7.	
ATIKLARIN BERTARAFI SONUCUNDA METAN DIŞINDA ELDE EDİLEN ENERJİ KAYNAKLARI.....	67
7.1. Organik Atık Arıtımında Hidrojen ve Elektriksel Enerji.....	67
7.2. Peyniraltı Suyundan Sürekli Sistemde Etanol Üretimi.....	75
BÖLÜM 8.	
ORTA ÖLÇEKLİ BİR SÜT TESİSİNİN ATIK PEYNİRALTI SUYUNDAN ENERJİ ELDE EDİLMESİ.....	86
8.1. Peyniraltı Suyunun Anaerobik Artılması ve Biyogaz Elde Edilmesi.....	87

8.1.1. Anaerobik arıtma ve çeşitleri.....	87
8.1.2. Anaerobik arıtmanın süreçleri ve metan oluşumu.....	89
8.1.3. Orta ölçekli süt tesisi için anaerobik reaktör seçimi ve boyutlandırılması.....	91
8.1.4. Anaerobik reaktörden çıkan biyogaz miktarının hesaplanması.....	96
8.2.Elde Edilen Biyogazın Kojenerasyonlu Sistemle Değerlendirilmesi	98
8.2.1. Kojenerasyon sistemleri.....	98
8.2.2. Süt tesisinde elde edilen biyogaz için kojenerasyon sistemi seçimi.....	101
8.2.3. Kojenerasyon sisteminin verim ve maliyet hesaplaması.....	104
BÖLÜM 9.	
TARTIŞMA VE SONUÇ.....	108
KAYNAKLAR.....	111
EKLER.....	113
ÖZGEÇMİŞ.....	121

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABGC	Hava üflemeli gaz çemberi (Air Blown Gazification Cycle)
AD	Anaerobik parçalanma (Anaerobic Digestion)
AFC	Alkalin bazlı devre (Alcaline Based Fuse Circuit)
AKM	Askıda katı madde
b	Ölüm- İçsel solunum hız sabiti
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
CHP	Güç ünitesi (Combined Heat and Power Unit)
DS	Kuru katılar (Dry Solids)
ER	Denklik Oranı (Equalition Ratio)
FD	Organik maddelerin ayrışmayan kısmı
fd	Yıllık faiz oranı
G_i	Yıllık net kazanç
G_y	İlk yatırım maliyeti
HHV	Gazın yüksek ısıtma değeri (High Heating Value)
IGCC	Tümleşik gazifikasyon kombine çevrimi (Integrated Gazification Combined Cycle)
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
K_s	Yarı doyumluk sabiti
LHV	Gazın düşük ısıtma değeri (Low Heating Value)
MSW	Kentsel katı atıklar (Municipal Solid Waste)
PE	Polietilen

PEM	Proton değişim membranı (Proton Exchange Membrane)
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PVC	Polivinilklorüd
Q	Günlük atıksu debisi
\hat{q}	Maksimum substrat kullanım hızı
Q_r	Geri devir debisi
Q_w	Atılan çamur debisi
R	Geri devir oranı
S	Çıkış suyu substrat konsantrasyonu
S_0	Giriş substart miktarı
S_g	Günlük giderilen substrat kullanım miktarı
TCD	Isı iletim dedektörü
TG	Geri ödeme süresi
u	Spesifik substrat kullanım hızı
UAKM	Uçucu askıda katı madde
UKM	Uçucu katı madde
VS	Uçucu katılar (Volitile Solids)
X_1^0	UAKM İnerit biyokütle miktarı
X_a	Üretilen aktif UKM miktarı
X_d	Devredilen UKM miktarı
X_i	Üretilen inaktif UKM miktarı
X_v	Toplam UKM miktarı
X_v^0	UAKM Aktif biyokütle miktarı

γ	Biyokütlenin substrata dönüşüm hızı
θ	Hidrolik bekleme süresi
θ_c^d	Tasarıma esas çamur yaşı
θ_{cmin}	Minimum çamur yaşı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	Arıtma sistemlerinin girişlerinde kullanılan kaba ızgaralar.....	3
Şekil 1.2	Arıtma sistemlerinin girişlerinde kullanılan ince ızgaralar.....	4
Şekil 1.3	Arıtma sistemlerinde kullanılan çökeltme havuzları	5
Şekil 1.4	Atıksuyun flokülasyon ile arıtılması.....	6
Şekil 1.5	Arıtma tesislerinde kullanılan biyofiltre.....	7
Şekil 1.6	Vahşi depolamaya bir örnek.....	8
Şekil 2.1	Dalga enerji santrali.....	12
Şekil 2.2	Güneş enerjisinin toplanması için kullanılan aynalar.....	13
Şekil 2.3	Güneş enerjisi tesisi.....	13
Şekil 2.4	Jeotermal enerjinin oluşumu.....	14
Şekil 2.5	Rüzgar santralleri.....	15
Şekil 3.1	Biyogaz üretimi akış şeması.....	23
Şekil 3.2	Biyogaz üretim tesisi.....	24
Şekil 4.1	Deney setinin şematik çizimi.....	31
Şekil 4.2	Üç farklı ER değeri için sıcaklık profilleri.....	34
Şekil 4.3	Çeşitli akış hızları için ER'nin yatak sıcaklığına etkisi.....	35
Şekil 4.4	ER'nin üretim dağılımına etkisi.....	36
Şekil 4.5	Yatak yüksekliğinin üretim çeşitliliğine etkisi.....	38
Şekil 4.6	Akış hızının üretim çeşitliliğine etkisi.....	38
Şekil 4.7	ER'nin gaz kompozisyonu ve HHV'ye etkisi.....	39
Şekil 4.8	Yatak yüksekliğinin gaz kompozisyonuna etkisi.....	40
Şekil 4.9	Akış hızının gaz kompozisyonuna etkisi.....	41
Şekil 4.10	ER'nin gaz verimine etkisi.....	42
Şekil 4.11	H ₂ O ve HCl için 1 bar daki T _{x-y} diyagramı.....	48
Şekil 4.12	CaCl ₂ nin azeotropik durumdaki etkisi.....	49
Şekil 4.13	PVC atıklarından buhar gazifikasyon prosesinin diyagramı.....	50

Şekil 4.14	PVC atık ücreti ile HCl fiyatı ve toplam yatırım arasındaki diyagramlar.....	54
Şekil 5.1	Türlerine göre ısı değiştiricileri.....	56
Şekil 6.1	Deney düzeneğinin genel görüntüsü.....	59
Şekil 6.2	Glikozun biyokimyasal metan potansiyeli.....	65
Şekil 6.3	Peyniraltı suyunun biyokimyasal metan potansiyeli.....	65
Şekil 6.4	Bitkisel yağ sanayi atıksuyunun biyokimyasal metan potansiyeli.....	66
Şekil 7.1	AD sisteminin genel yapısı.....	69
Şekil 7.2	Tipik bir AD sistemi için proses ve ısı akış diyagramı.....	69
Şekil 7.3	Biyogaz alanı temel yapıları.....	70
Şekil 7.4	Laboratuar tipi alkalın yakıt hücresi.....	72
Şekil 7.5	AFC, CHP ünitesinin şeması.....	72
Şekil 7.6	Hibrid yakıt hücresinin kontrolü.....	73
Şekil 7.7	Yakıt hücresinin devre modeli.....	73
Şekil 7.8	İdeal standart yük ve sıcaklık diyagramı.....	74
Şekil 7.9	Tek bir hücre için ideal yakıt hücresinin voltaj devre karakteristiği.....	75
Şekil 7.10	Deney setinin şeması.....	76
Şekil 7.11	Değişik substrat konsantrasyonlarında bekleme süresinin etkileri	80
Şekil 7.12	Değişik substrat konsantrasyonları ve hidrolik bekleme süreleri için hücre konsantrasyonunun deneysel ve öngörülen değerleri.....	81
Şekil 7.13	Değişik substrat konsantrasyonları ve hidrolik bekleme süreleri için atıksu substrat konsantrasyonunun deneysel ve öngörülen değerleri.....	81
Şekil 7.14	Değişik substrat konsantrasyonları ve hidrolik bekleme süreleri için etanol konsantrasyonunun deneysel ve öngörülen değerleri.....	82
Şekil 7.15	Gerçek ve öngörülen hücre konsantrasyonu değerlerinin karşılaştırılması.....	84
Şekil 7.16	Gerçek ve öngörülen substrat konsantrasyonu değerlerinin karşılaştırılması.....	84
Şekil 7.17	Gerçek ve öngörülen etanol konsantrasyonu değerlerinin karşılaştırılması.....	85
Şekil 8.1	Anaerobik reaktör çeşitleri.....	88

Şekil 8.2	Anaerobik arıtmanın süreçleri.....	89
Şekil 8.3	Metan oluşum süreci.....	91
Şekil 8.4	Anaerobik arıtma sisteminin akış diyagramı.....	92
Şekil 8.5	Peyniraltı suyundan gaz üretimi.....	96
Şekil 8.6	Kojenerasyon ve konvansiyonel sistemlerle enerji üretiminin Sankey diyagramıyla karşılaştırılması.....	98
Şekil 8.7	Gaz türbin sistem diyagramı.....	99
Şekil 8.8	Buhar türbin sisteminin diyagramı.....	100
Şekil 8.9	İçtan yanmalı motorlu sistem diyagramı.....	100
Şekil 8.10	Gaz motorlu sistem diyagramı.....	101
Şekil 8.11	Kojenerasyon sisteminin taşınması.....	102
Şekil 8.12	Kojenerasyon sistemin yerleştirilmesi.....	103
Şekil 8.13	Kojenerasyon sisteminin montajı.....	103

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1	Türkiye’de güç ve enerji üretim kapasitesi	16
Tablo 2.2	Türkiye’nin uzun dönem elektrik arz projeksiyonu.....	16
Tablo 2.3	Dünya ve Türkiye hidroelektrik potansiyeli.....	17
Tablo 2.4	Türkiye’nin güneş enerji potansiyeli ile güneşlenme süreleri.....	18
Tablo 2.5	Türkiye güneş haritası.....	18
Tablo 3.1	Biyogazın içeriği.....	20
Tablo 3.2	Organik maddenin türüne göre biyogaz miktarı.....	22
Tablo 3.3	Çiftliklerdeki hayvan sayısına göre üretilebilecek biyogaz miktarı.....	23
Tablo 4.1	Besleme malzemesinin özellikler.....	30
Tablo 4.2	Yatak malzemesinin karakteristiği.....	30
Tablo 4.3	Deney setinde kullanılan cihazlar ve hassaslıkları.....	32
Tablo 4.4	Deneyin operasyon koşulları.....	33
Tablo 4.5	Katran ve kömürün özellikleri.....	37
Tablo 4.6	Karışık plastik atıklar için çeşitli ısıl deneyler.....	43
Tablo 4.7	PVC Atık İçeriği.....	45
Tablo 4.8	1250 K ve atmosferik basınçta deneysel ve bilgisayar programı yardımıyla denklemlere göre taze PVC nin içeriği.....	45
Tablo 4.9	1250 K ve atmosferik basınçta bilgisayar programı yardımıyla PVC atığının buhar gazifikasyon eşitlikleri.....	47
Tablo 4.10	Proses net olarak yapılan giriş ve çıkışlar (kg/s).....	51
Tablo 4.11	PVC gazifikasyon alanında 50 kton PVC için ana enerji ihtiyaçları ve enerji çıkışı.....	52
Tablo 4.12	Azalan nakit akış yöntemine göre 50 ktonluk PVC gazifikasyon alanının ekonomik gelişimi.....	53
Tablo 6.1	Bira fabrikası anaerobik arıtma çamuru özellikleri.....	59

Tablo 6.2	Evsel atıksu arıtma tesisi anaerobik çamur özellikleri.....	59
Tablo 6.3	Glikozla hazırlanan yapay atıksuyun özellikleri.....	60
Tablo 6.4	Peyniraltı suyunun özellikleri.....	60
Tablo 6.5	İz elementler.....	61
Tablo 6.6	Substrat olarak glikoz kullanarak Biyolojik Metan Potansiyeli (BMP) deney verileri.....	62
Tablo 6.7	Substrat olarak glikoz kullanarak BMP deney verileri.....	63
Tablo 6.8	Substrat olarak glikoz kullanarak BMP deney verileri.....	63
Tablo 6.9	Substrat olarak peyniraltı suyu kullanarak BMP deney verileri...	64
Tablo 6.10	Substrat olarak bitkisel yağ sanayi atıksuyu kullanarak BMP deney verileri.....	64
Tablo 7.1	Atık içeriği.....	68
Tablo 7.2	Enerji verim hesaplaması.....	71
Tablo 7.3	Peyniraltı suyunun karakteristiği.....	77
Tablo 7.4	Kinetik Parametreler.....	83
Tablo 8.1	Gaz motorunun teknik verileri.....	104

ÖZET

Anahtar kelimeler: Enerji kazanımı, atık yönetimi, peyniraltı suyu, biyogaz

Geleceğin en önemli sorunu enerjinin tükenmesidir. Bu amaçla her ülke ve işletme kendi enerji kaynaklarına sahip çıkmakta ve yeni enerji elde etme yöntemleri konusunda çalışmaktadır.

Üretim sırasında var olan enerjilerin harcanmasının yanı sıra insan ve çevre yaşamını etkileyen atık oluşumuna da neden olmaktadır. Üretim arttıkça uğraşılması gereken atıkların miktar ve çeşitleri de artmaktadır.

Bu çalışmada geleceğin en önemli iki sorunu olan enerji kıtlığı ve atıklara ortak bir çözüm bulmak amacıyla dünyada kullanılan çeşitli çalışmalar araştırılmış ve bunlardan uygun örnekleri de uygulanabilir olup olmadıkları incelenerek. Türkiye şartlarındaki orta ölçekli bir süt tesisi için modellenip, uygunluğu araştırılmıştır.

ENERGY RECOVERY FROM SOLID, LIQUID AND GAS WASTES

SUMMARY

Key Words: Energy recovery, waste management, cheese whey, biogas

The most important problem of the future is energy shortness. As a result of this every country and corporation protect their own sources and research for new recovery methods.

In production, energy is increasing also another problem which effects human and environmental life is waste production. Waste's types and quantities are increasing with the new technologies.

In this study, investigating for a mutual solution for the most important problem of the future which are energy crisis and wastes. This study investigates the studies in the world wide which are feasible and makes a model in the dairy waste water which has Turkey's dairy characteristics.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanlar yaşamlarının devamlılığı için sürekli bir üretim ve tüketim faaliyetleri içindedir. Bu üretim ve tüketim aslında dengede olmayıp bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Yeni ürünler üretirken kısıtlı kaynakları kullanıp, enerji harcamaktadır ve bu kaynakların azalmasıyla enerji darboğazlarına neden olmaktadır. Aynı anda tüketim faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan atıklar da çevreyi kirleterek yaşam alanlarının daralmasına neden olmaktadır.

Günümüze kadar bu iki sorun; enerji açığı ve atıkların bertarafı ayrı sorunlar olarak ele alınmaktaydı fakat insan yaşamının bir döngüsü olarak bu iki sorunun birbiriyle bağlantılı olduğu ortaya konmuştur.

Bu çalışmada çeşitli atıkların sadece bertaraf edilmesi gereken sorunlar değil aynı zamanda enerji üretimi için de kullanılabilir değerli bir kaynak olduğu gösterilmeye çalışılmıştır.

1.1. Atıklar Ve Oluşum Nedenleri

Kullanma süresi dolan ve yaşadığımız ortamdan uzaklaştırılması gereken maddeler atık olarak tanımlanmaktadır. Atık çeşitleri aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Evsel Atıklar: Konutlardan ve /veya iş yerlerinden ortaya çıkan zararlı maddeler içermeyen atıklardır.

Tehlikeli Atıklar: Sanayide ve çeşitli üretim tesislerinde ortaya çıkan insan ve çevre sağlığına zarar verebilecek atıklardır.

Endüstriyel Atıklar: Sanayi ve üretim tesislerinde bir işlem sonrası veya sonrasında ortaya çıkan atıklardır.

İnşaat Atıkları: Yapılan inşaatlar, yıkımlar, evlerdeki tamiratlar sırasında çıkan atıklardır.

1.2. Atıkların Arıtılması

İnsanlar geçmişte atıklardan kurtulmak amacıyla kullanılmayan alanlarda bu atıkları yığınlar halinde depolayarak kurtulmaya çalışmışlardır. Fakat sonrasında yaşanan salgın hastalıklar sonucunda bunun çok büyük bir hata olduğunu fark etmişlerdir. Günümüzde atıklardan kurtulmaktan ziyade onların büyük bir kaynak olduğu fark edilmiş ve bunların arıtılarak geri kazanılması amacıyla modern yöntemlerin uygulandığı tesisler inşa edilmiştir.

Atıklar fiziki özelliğine göre gerektiğinde geri kazanılabilmekte veya gaz atıklar gibi depolanması zor olduğu durumlarda ise zararı en aza indirilerek çevreye salınmaktadır. Sıvı ve katı atıklarda ise yapılan arıtma işlemleri aşağıdaki gibidir.

1.2.1. Sıvı atıkların arıtılması

Sıvı atıkların arıtılmasında çok farklı işlemler uygulanabilmektedir. Bu işlemler arıtılacak sıvının içeriğindeki kirliliğin cinsine, miktarına ve kirleticilik derecesine göre değişmektedir. Bu işlemler temel olarak 3'e ayrılır.

- Fiziksel Arıtma
- Kimyasal Arıtma
- Biyolojik Arıtma

Değişik karakterdeki atık sular için değişik arıtma yöntemleri kullanılabilir. Evsel atık sular için genelde biyolojik ve fiziksel arıtma yapılır. Endüstriyel atık sularda ise içeriğindeki ağır ve zehirli bileşenlerden dolayı kimyasal arıtma tercih edilir.

1.2.1.1. Fiziksel arıtma yöntemleri

Suyun içindeki kirleticinin fiziksel özelliğine bağlı olarak sudan arıtılmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu arıtma şeklinde kirleticinin boyutları, yoğunluğu, viskozitesi

sayesinde sudan ayrılması sağlanır. Bu amaçla kullanılan yöntemler aşağıdaki gibidir.

1- Izgaralar: Suyun içindeki geniş boyutlu parçaları (şişeler, bez parçaları, taş parçaları ...vs) tutan elemanlardır. Bunlar ya paralel çubuklardan meydana gelirler ya da tambur şeklinde olurlar. Izgaralarda biriken maddeler elle ya da mekanik ekipmanlar ile ızgaralardan uzaklaştırılırlar. Izgaralar tuttukları maddelerin büyüklüklerine göre kaba veya ince olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Kaba Izgaralar: Arıtma tesislerinde tıkanmalara yol açabilecek olan büyük ölçekli maddelerin sudan uzaklaştırılması için kullanılır. Izgara çubukları arası 4 cm ve üzeri genişliktedir. Bu çubuklar yatayla 30 - 60° açı yapacak şekilde yerleştirilirler. Temizlikler el ile yapılır.



Şekil 1.1 Arıtma sistemlerinin girişlerinde kullanılan kaba ızgaralar [1]

İnce Izgaralar: Bunların çubuk, elek, tambur şeklindeki modelleri mevcuttur. Eleme aralıkları 1,5 – 3 cm arasındadır. Temizlenmeleri mekanik yöntemlerle veya el ile yapılabilir.



Şekil 1.2 Arıtma sistemlerinin girişlerinde kullanılan ince ızgaralar [1]

1- Kum Tutucular: Suda bulunan kum, çakıl gibi maddelerin ağırlığından faydalanarak çökmesi sağlanır, böylece tesisteki kanal, pompa ve tankların zarar görmesini engellenmesi amaçlanır. Suyun hızı 0,3 – 0,4 m/s'ye ayarlanılarak 0,2 mm çapından büyük maddeler çöktülebilir.

2 - Çökeltme Havuzları: Suda kalmış olan askıdaki katı maddeleri çöktürmek için kullanılırlar. Bu maddeler organik temellidir. Burada bu maddeler çamura çevrilerek atık sudan çeşitli sıyırıcılar yardımıyla ayrılırlar. Bu havuzların kesitleri dikdörtgen veya dairesel olabilir.



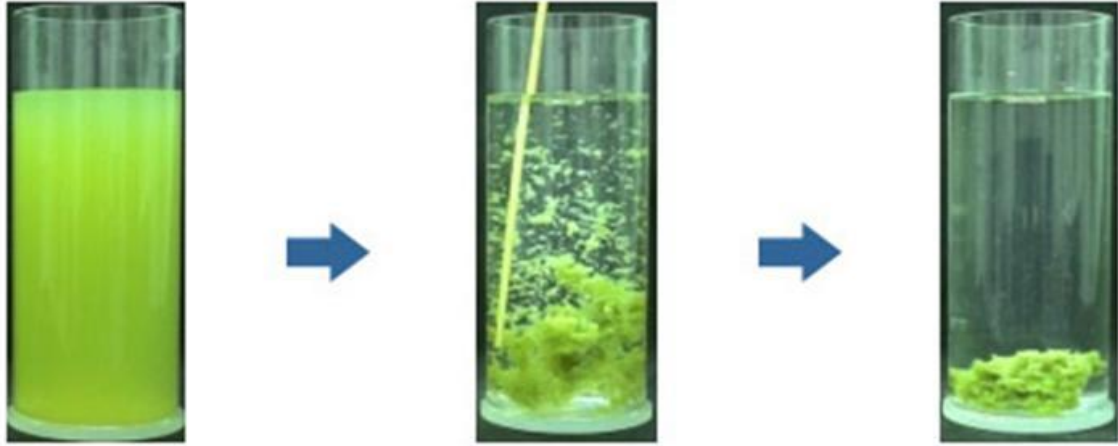
Şekil 1.3 Arıtma sistemlerinde kullanılan çöktürme havuzları [1]

1.2.1.2. Kimyasal arıtma yöntemleri

Suyun içindeki kirletici kimyasal takviyeler eklenerek kimyasal reaksiyonlar sonucunda sudan ayrılmasını sağlayan yöntemdir. Bu amaçla kullanılan yöntemler aşağıdaki gibidir.

Koagülasyon: Suyun içinde var olan çözünmüş olan kirleticilerin alüminyum sülfatlar, kireç ve çeşitli yapay polimerler yardımıyla kimyasal reaksiyonlar geçirerek sudan daha ağır bileşikler elde edilerek bu kirletici unsurlar sudan uzaklaştırılır

Flokülasyon: Suyun içinde suya çözünmemiş, çökmesi çok uzun süre alan veya elektriksel yüklerden dolayı askıda kalan çok ufak boyuttaki ($200 \mu\text{m}$ 'den daha küçük) kirleticilere eklenen kimyasal maddeler ile kimyasal bağlar oluşması sağlanarak bu kirleticilerin çökmesi ile sudan uzaklaştırılır.



Şekil 1.4 Atık suyun flokülasyon ile arıtılması [2]

Klorlama: Atık su sadece fiziksel ve kimyasal kirleticilerin haricinde çeşitli zararlı mikroorganizmalar da ihtiva edebilir. Bu mikroorganizmaların dezenfekte edilmesi amacıyla suya klorlama işlemi uygulanarak, mikroorganizmalardan temizlenmesi sağlanır.

Ozonlama: Klorlama işleminin bir benzeri olarak son yıllarda geliştirilmiş bir yöntemdir. Mikroorganizmaları dezenfekte amacıyla kullanılır. Klorlamaya göre avantajı dezenfeksiyon gerçekleşikten sonra suda klor gibi zararlı kalıntı bırakmaz fakat uzun süreli dezenfeksiyon sağlamaz.

1.2.1.3. Biyolojik arıtma yöntemleri

Suyun içindeki kirleticilerin çeşitli mikroorganizmalar yardımıyla biyokimyasal reaksiyonlar kullanılarak sudan ayrılmasını sağlayan yöntemdir. Bu yöntemde suyun mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerini etkilemeyecek özellikte olması gerekmektedir. Örnek vermek gerekirse kullanılacak mikroorganizmaya uygun yaşam ortamı sağlamak amacıyla uygun sıcaklık, pH, ışık, besi miktarı sağlanmalıdır. Ayrıca mikroorganizmaları zehirleyebilecek ağır metaller ve kimyasallar içermemelidir.

Biyolojik Filtreler: Biyolojik filtrelerde mikroorganizmaların tutunabileceği yapılar oluşturularak bu yapıların içinden atık su geçirilir. Suyun geçiş işlemi sırasında mikroorganizmalar besin değeri taşıyan kirleticileri sudan alacağından dolayı filtre görevi görmektedir.



Şekil 1.5 Arıtma tesislerinde kullanılan biyofiltre [3]

Aktif çamur : Suyun içindeki kirleticiler aktif çamur adı verilen ve içinde çok çeşitli mikroorganizmaların bulunduğu bir karışımın bulunduğu havuzda bekletilir. Bu sırada arıtma işlemi gerçekleşir. Aktif çamur kirletici olan besinlerle mikroorganizmaların birleşmesinden meydana gelir ve gerektiğinde arıtmanın ihtiyacına göre havuzdan bir kısmı alınabilir veya eklenebilir.

Stabilizasyon havuzları: Atık suyun belirli bir süre özel tasarlanmış havuzlarda dinlenmesi sağlanarak doğada mevcut olan mikroorganizmalarla arıtılmasını amaçlar.

Anaerobik reaktörler: Bazı mikroorganizmaların yaşamsal süreçlerinde oksijenli ortam zehirleyici olabilir. Bu amaçla bu organizmaların yaşayabileyeceği havasız reaktörler tasarlanmıştır. Bu mikroorganizmaların arıtma oranları diğerlerine göre daha iyi olduğundan arıtma aşamalarında ayrı bir yere sahiptirler.

1.2.2. Katı atıkların arıtılması

Katı atıklar kapladıkları hacim bakımından arıtılmaları diğer atıklara göre daha zor gerçekleşmektedir. Eski dönemlerde arıtmaktan ziyade insanların yaşadığı çevreden uzaklaştırılmaları amaçlanmıştır. Bu amaçla kullanılan yöntemler düzenli ve düzensiz depolama, kompostlaştırma ve yakmadır.

Düzensiz (Vahşi Depolama): Atıkların yerleşim alanlarının dışındaki herhangi bir boş alana öylece bırakılarak bu atıklara hiçbir işlem yapmadan depolanmasıdır. Bu atıklar bırakılırken hiçbir şekilde çevresel etkileri düşününmeden sadece kurtulmak amacıyla yapılan işlemdir.



Şekil 1.6 Vahşi depolamaya bir örnek [4]

Düzenli Depolama: Atıkların özel olarak seçilmiş alanlarda çeşitli bilimsel verilere göre sınıflandırılarak, belirlenen alanda en düzenli ve ekonomik olarak depolanmasıdır. Kullanım ömrünü dolduran alanlar ise sonradan çeşitli amaçlarla kullanılabilir.

Kompostlaştırma: Organik içerikli atıkların belli alanlarda depolandıktan sonra çürütülerek sonradan bu atıkları organik gübre olarak kullanılmasıdır. Bu atıklar kompost haline geldiğinde hacimce küçüldüğünden dolayı yer kazancı da sağlanmaktadır.

Yakma: Hacim azaltmak için kullanılan yakma yöntemi eskiden beri kullanılır fakat eskiden kontrolsüz olarak yapılan bu yöntem günümüzde modern tesislerde kontrol altında yapılmaktadır.

Son yıllarda katı atıkların kurtulması gereken maddelerden daha çok kullanılabilir kaynaklar olduğunun farkına varılmıştır. Kaynak olarak kullanılmasının en basit yöntemi ise içerdiği değerli materyallerin ayrıştırılarak geri kazanılmasıdır. Bunun haricinde içeriğinde organik bileşikler içeriyorsa kimyasal ve biyolojik bozunma sağlanarak yakıt gazlar elde edilmesidir.

Geri Kazanım: Üretimde yeni hammaddeler kullanmak yerine kağıt, plastik ve metal gibi maddelerin atıklarının bu maddelerin üretimi için işlendikten sonra yeniden kullanılmasını sağlayan yöntemdir.

Kimyasal ve Biyolojik Bozunma: İçeriğindeki organik maddelerin ısı işlemler sonucunda yakıt olarak kullanılabilir yapısal olarak küçük kimyasal bileşiklere dönüştürülmesi işlemidir. Aynı bozundurma işlemi bazı mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilirse biyolojik bozunma olarak adlandırılırlar.

BÖLÜM 2. ENERJİ

Enerji bir cisim ya da sistemin iş yapabilme kabiliyetidir. Doğrudan ölçülemez fakat durum değişikliğine göre hesaplanabilir bir değerdir. Enerji korunumlu bir büyüklüktür fakat ısı biçiminde olduğundan bulunduğu ortamda yayıldığından dolayı kayıplar oluşmaktadır.

2.1. Enerji Çeşitleri

Enerjinin 2 ana çeşiti bulunmaktadır. Bunlar kinetik ve potansiyel enerjidir. Bu enerjilerde kendi içinde türlere ayrılmaktadır.

2.1.1. Potansiyel Enerji

Bir nesnenin konumundan dolayı sahip olduğu enerji çeşididir.

Yer Çekimi Potansiyel Enerjisi: Bir cismin belirli bir noktadan daha yüksek bir yerde olduğundan dolayı kazandığı enerjidir.

Isıl Potansiyel Enerji: Yakıtların yakılmasıyla elde edilen enerji türüdür. Bu enerji türbin ile mekanik ve jeneratör ile de elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir ya da ısınma amaçlı olduğu gibi sadece ısı şeklinde de kullanılabilir.

Elektrik Potansiyel Enerjisi Elektrik yüklenmiş partiküllerin hareket enerjisidir.

Kimyasal Potansiyel Enerji: Kimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan enerji türüdür. Kimyasal potansiyel enerjisi mekanik, ısı ve ışık enerji türlerine çevrilebilmektedir.

Nükleer Potansiyel Enerji: Atom çekirdeklerinde depolanmış enerjidir ve atomun kararsızlığından dolayı dışarı atılır.

Manyetik Potansiyel Enerji: Mıknatısların manyetik kuvvetlerinden kaynaklanan enerji türüdür.

Elastik Potansiyel Enerji: Elastisitesi yüksek olan maddelerin uzamasıyla kazanılan enerji türüdür.

2.1.2. Kinetik Enerji

Hareket nedeniyle kazanılan enerji türüdür.

Mekanik Enerji: Kinetik enerjisi iş yaptığında ortaya çıkan enerji türüdür. Faydalı iş yapabilen enerji türüdür. Mekanik enerjiyle faydalı iş haricinde elektrik enerjisi de üretilebilmektedir.

2.2. Enerji Elde Etme Yöntemleri

Enerji elde etme yöntemlerine göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar yenilenebilir ve yenileneyen enerjilerdir.

Yenileneyen Enerji: Yenilenemeyen enerji türleri kömür ve petrol türevi yakıtların yakılmasıyla elde edilen enerjidir. Bu yakıtların miktarı gün geçtikçe azalmaktadır ve bu yakıtların yerlerine ikame edebilecek yenilenebilir enerji türlerinin kullanılmasına geçilmektedir.

Yenilenebilir Enerji: Yenilenebilir enerji doğanın gereği olan korunumu sayesinde bir döngüde tür değiştirebilen ve doğada farklı formlarda yüksek miktarda bulunan enerji türleridir. Bunlara örnek olarak aşağıdakileri verebiliriz.

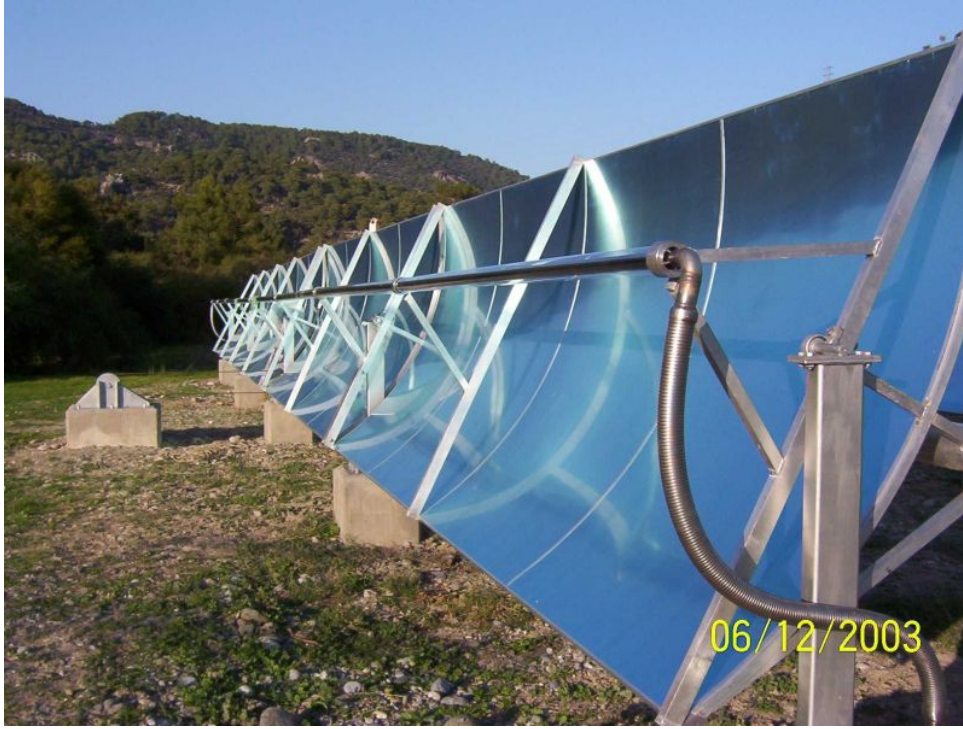
Biyogaz Enerjisi: Organik maddelerin oksijensiz ortamda fermante edilmesi sonucu açığa çıkan gazının kullanımıyla elde edilen enerji türüdür. Bu gaz, bileşiminde % 60 - 70 metan, % 30 - 40 karbondioksit ve az miktarda hidrojen sülfür (H_2S), hidrojen (H_2), karbon monoksit (CO) ve azot (N_2) bulunan renksiz ve yanıcı bir gaz karışımıdır. Biyogazın ısı değeri bileşimindeki metan (CH_4) oranına bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 4700 - 6000 kcal/m³ kadardır.

Dalga Enerjisi: Yerçekimi ve gelgitler sonucunda dalgaların hareketi ile ortaya çıkan güçtür. Dalganın gücü genliğinin karesi ve hareket periyodu ile orantılıdır. Uzun periyotlu (~7-10s), büyük genliği olan (~2m) dalgaların metre olarak genişliğinin başına 40-50 kW enerji oluşur.



Şekil 2.1 Dalga enerji santrali [5]

Güneş Enerjisi: Güneşten gelen ışınlama ile elde edilen enerji türüdür. Güneşin ısı etkisinden (yeryüzünü ısıtma etkisi), fotoelektrik etkisinden orbital enerjisi şeklinde yararlanılmakla birlikte biyokimyasal etkisinden de yararlanır. Güneş enerjisinden kimyasal ve biyolojik etkiyle yararlanma fotosentez ve güneşte oluşan kimyasal tepkimelerle güneş enerjisini tutma ve depolamaya dayanır. Güneş enerjisi doğrudan elektrik enerjisine çevrilebilir.



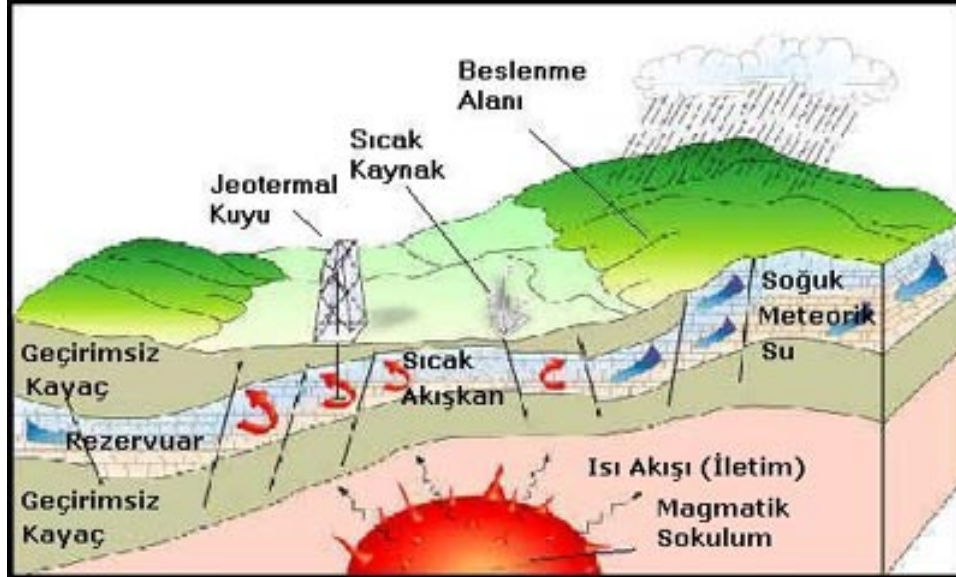
Şekil 2.2 Güneş enerjisinin toplanması için kullanılan aynalar [6]



Şekil 2.3 Güneş enerjisi tesisi [6]

Hidrojen Enerjisi: Diğer fosil yakıtlara nazaran, yakılması sonucunda oluşan yanma ürünleri gibi sera etkisi, asit yağmurları gibi etkisi yoktur. Diğer enerji türleri olan hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, deniz-dalga enerjisi, jeotermal enerji ve nükleer enerjiden elde edilebilmektedir. Ayrıca biyokütleden, doğalgazdan, biyoyakıtlardan ve metanol gibi alkollerden de elde edilebilmektedir.

Jeotermal Enerji: Yer altındaki sıcak suların sahip olduğu ısının, ısı değiştiriciler yardımıyla alınarak kullanılmasıyla elde edilir. Yer kabuğunun derinliğine inildikçe 30 - 45 metrede (normal 33 m'de) sıcaklık 1°C veya 1 km'de 30°C artar. Fakat bu enerjiden yararlanmak teknolojik ve ekonomik açıdan uygun değildir. Yeraltı suyunun bulunmadığı yüzeye yakın sıcak bölge ve kayalara özel yöntemlerle su ve gaz göndererek bu ısı enerjisi yeryüzüne taşınabilir. Doğal ısıtma ile 160°C'nın üzerinde su buharı veya sıcak su kaynakları elektrik üretiminde, diğerleri ise ısıtmada kullanılmaktadır.



Şekil 2.4 Jeotermal enerjinin oluşumu [7]

Rüzgar Enerjisi: Rüzgarın, rüzgar türbinleri çevirerek elde edilen enerji türüdür. Rüzgar türbinlerinin yüksekliği 95 m ye çıkarılarak ve santralleri karalar yerine kıyıya yakın denizlere kurularak rüzgar enerjisinden yararlanmada önemli bir artış

olmuştur. Rüzgar santrallerinin işletme maliyeti çok düşük, dışa bağımlılığı azdır. Olumsuz yanları ise halen yapım maliyetlerinin çok yüksek olması ve birim kapasitenin düşük olmasıdır.



Şekil 2.5 Rüzgar santralleri [8]

2.3. Türkiye’deki Enerji Üretimi

Türkiye’de enerji üretimi kullanımının büyük çoğunluğu termal ve hidroelektrik santral aracılığıyla elektrik enerjisi olarak üretilmektedir. Bu elektrik enerjisinin üretimi için kullanılan kaynakların dağılımı;

- Doğalgaz % 38
- Hidrolik enerji % 31
- Kömür % 25
- Petrol % 6,5
- Diğer % 0,5’tir.

Türkiye’de kişi başı yıllık elektrik tüketimi 2100 kWh iken, gelişmiş ülkelerde 8900 kWh kadar yükselmektedir. Türkiye’deki üretimi ise 1950 li yıllarda 800 GWh iken günümüzde 151000 GWh’e kadar yükselmiştir. Enerji üretimimizin % 31’i yenilenebilir kaynaklar olan hidrolik kaynaklardan % 69’u ise fosil yakıtlardan üretilmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte rüzgar ve jeotermal gibi alternatif teknolojilerin de kullanımına başlanmıştır.

Tablo 2.1 Türkiye’de güç ve enerji üretim kapasitesi [9]

TÜRKİYE’DE ENERJİ KURULU KAPASİTESİ VE ÜRETİMİ									
KURULU KAPASİTE VE YILLIK ÜRETİM		2003				2004 (GEÇİCİ)			
		KAPASİTE		FİİLİ	KAPASİTE KULLANIM	KAPASİTE		FİİLİ	KAPASİTE KULLANIM
		KURULU (MW)	ÜRETİM (GWh)	ÜRETİM (GWh)	ORANI (%)	KURULU (MW)	ÜRETİM (GWh)	ÜRETİM (GWh)	ORANI (%)
TERMİK ENERJİ	KÖMÜR	8 239	53 940	32 253	60	8 923	58 391	34 558	59
	AKARYAKIT	3 198	21 085	9 196	44	3 202	21 167	9 800	46
	DOĞALGAZ	11 510	86 154	63 536	74	12 640	94 867	59 098	62
	DİĞER	28	207	116	56	27	207	76	37
	TOPLAM	22 974	161 387	105 101	65	24 792	174 632	103 532	59
JEOTERMAL VE RÜZGAR ENERJİ		34	156	150	96	34	156	160	103
HİDROELEKTRİK ENERJİ		12 579	45 152	35 329	78	12 654	45 435	47 614	105
GENEL TOPLAM		35 587	206 695	140 580	68	37 480	220 223	151 306	69

Türkiye’deki elektrik tüketimi her yıl % 8 – 10 oranında artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için yeni projeler üretilmektedir. Avrupa birliğine uyum çerçevesinde yenilenebilir kaynakların payı artırılmaktadır.

Tablo 2.2 Türkiye’nin uzun dönem elektrik arz projeksiyonu [9]

TÜRKİYE’NİN UZUN DÖNEM ELEKTRİK ARZ PROJEKSİYONU									
Yıl	2010			2015			2020		
		Yağışlı	Kurak		Yağışlı	Kurak		Yağışlı	Kurak
Santralin Tipi	MW	Milyar kWh	MW	Milyar kWh	MW	Milyar kWh	MW	Milyar kWh	MW
Termik	30 583	211	211	45 603	314	314	62 273	425	426
Yenilenebilir	18 234	62	46	25 670	89	60	34 076	118	77
Toplam Arz	48 817	273	257	71 273	403	374	96 349	544	503

Türkiye'deki yenilenebilir enerjilerin durumları ise aşağıdaki gibidir.

Hidroelektrik Potansiyeli: Bir ülkede, ülke sınırlarına veya denizlere kadar bütün doğal akışların % 100 verimle değerlendirilebilmesi varsayımına dayanılarak hesaplanan hidroelektrik potansiyel, o ülkenin brüt teorik hidroelektrik potansiyelidir. Ancak mevcut teknolojilerle bu potansiyelin tümünün kullanılması mümkün olmadığından mevcut teknoloji ile değerlendirilebilecek maksimum potansiyele teknik yapılabilir hidroelektrik potansiyel denir. Türkiye'nin teorik hidroelektrik potansiyeli dünya teorik potansiyelinin % 1'i, ekonomik potansiyeli ise Avrupa ekonomik potansiyelinin % 16'sıdır.

Tablo 2.3 Dünya ve Türkiye hidroelektrik potansiyeli [9]

DÜNYA VE TÜRKİYE HİDROELEKTRİK (HES) POTANSİYELİ			
	Brüt HES Potansiyeli (GWh/yıl)	Teknik HES Potansiyeli (GWh/yıl)	Ekonomik HES Potansiyeli (GWh/yıl)
DÜNYA	40 150 000	14 060 000	8 905 000
AVRUPA	3 150 000	1 225 000	800 000
TÜRKİYE	433 000	216 000	127 381

Güneş Enerji Potansiyeli: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMI) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise:

Tablo 2.4 Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli ile güneşlenme süreleri [9]

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	(Saat/ay)
OCAK	4,45	51,75	103
ŞUBAT	5,44	63,27	115
MART	8,31	96,65	165
NİSAN	10,51	122,23	197
MAYIS	13,23	153,86	273
HAZİRAN	14,51	168,75	325
TEMMUZ	15,08	175,38	365
AĞUSTOS	13,62	158,4	343
EYLÜL	10,6	123,28	280
EKİM	7,73	89,9	214
KASIM	5,23	60,82	157
ARALIK	4,03	46,87	103
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Türkiye'nin güneş haritası aşağıdaki gibidir:

Tablo 2.5 Türkiye güneş haritası [9]

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Rüzgar Enerjisi Potansiyeli: Türkiye'de kıyı bölgelerde 10 m yükseklikte ortalama 4-5 m/s olan bölümlerde büyük bir potansiyel vardır. Bu bölgelerde 50 – 60 m yüksekliğe ulaşıldığında güç yoğunluğu 500 W/m²'yi aşmaktadır. Bu özelliklere en

çok uyan yerler arasında Çeşme ve Bozcaada gösterilebilir. Türkiye’de kurulu rüzgar gücü 200 MW’tır. Bu açıdan rüzgar enerjisi önemlidir. Ayrıca Avrupa birliği ülkeleri 2010 yılına kadar toplam tüketimlerini bu enerjiyle sağlamayı hedeflemişlerdir. Bu planda da Türkiye yeni kurulacak santrallerle 475 MW’lık rüzgar gücü planlamaktadır.

Jeotermal Enerji Potansiyeli: Türkiye jeotermal zenginlik açısından dünyada 7. sıradadır. Türkiye’nin çeşitli alanlarında bu jeotermal kaynaklar kaplıca ve benzeri amaçlarla kullanılmaktadır fakat içlerinden ancak 4 tanesi elektrik üretimine uygundur.

Bu kaynaklar aşağıdaki gibidir.

- Denizli – Sarayköy (240 °C)
- Aydın – Germencik (230 °C)
- Aydın – Salavatlı (170 °C)
- Çanakkale – Tuzla (170 °C)

BÖLÜM 3. BİYOGAZ

Biyogaz, organik maddelerin oksijensiz ortamda fermante edilmesiyle ortaya çıkan bir gazdır. Bu gaz renksiz, kokusuz, havadan hafif ve yandığında mavi alev vermektedir. İçeriğinde % 60 CH₄ (metan) ve % 40 CO₂'den (karbondioksit) oluşmaktadır. Ayrıca içinde az miktarlarda H₂S (hidrojen sülfür), N (azot), O₂ (oksijen) ve CO (karbon monoksit) içermektedir. Isıl değeri 17 – 25 MJ/m³'tür. İşlem sonrası geriye kalan sıvı – katı maddeler ise organik gübre özelliği taşımaktadır.

Tablo 3.1 Biyogazın içeriği [10]

Bileşim Elemanı	% Hacimsel bileşimi
Metan (CH ₄)	54-80
Karbondioksit (CO ₂)	20-45
Azot (N ₂)	0- 1
Hidrojen (H ₂)	1-10
Karbon monoksit (CO)	0,1
Oksijen (O ₂)	0,1
Hidrojen sülfür (H ₂ S)	Eser miktarda

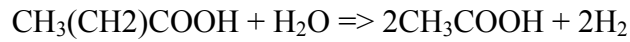
3.1. Biyogaz Oluşumu

Biyogaz üretimi 3 aşamada gerçekleşmektedir. Bu 3 aşama 3 türde mikroorganizma tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu aşamalar ise aşağıdaki gibidir.

- Fermantasyon ve hidroliz
- Asetik asidin oluşumu
- Metanın oluşumu

Fermantasyon ve Hidroliz: Bu aşamayı gerçekleştiren bakterilerin isimleri fermentative ve hydrolytic bakteri olarak adlandırılmaktadırlar. Bu bakteriler karbonhidratları $(C_6H_{10}O_5)_n$ proteinleri $(6C + 2NH_3 + 3H_2O)$ ve yağları $(C_{50}H_{90}O_6)$ parçalayarak sonuçta Asetik asit, CO_2 ve uçucu organiklerin oluşmasını sağlarlar. Bu uçucu organikler genelde uçucu yağ asitleridir $[CH_3(CH_2)_nCOOH]$ ve bu sebepten dolayı bu aşamaya yağ asitleri oluşum aşaması denir.

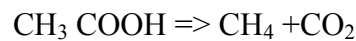
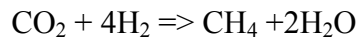
Asetik Asidin Oluşumu: Bu aşamada önceden oluşan uçucu yağ asitlerinin asetik aside dönüştüren asetogenik bakteriler devreye girerek bu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene çevirirler.



Başka bir asetogenik bakteri grubu ise açığa çıkan CO_2 ve H_2 yi kullanarak asetik asit oluşturmaktadır. Fakat burada oluşan miktar ilk aşamaya göre daha azdır.



Metanın Oluşumu: Bu son aşamada metanogenik bakteri grubu devreye girmektedir. Bir kısım bakteri CO_2 ve H_2 yi kullanarak CH_4 ve H_2O yu meydana getirirken diğer bir grup ise ikinci aşamada ortaya çıkan asetik asidi kullanarak CH_4 ve H_2O oluşturmaktadır.



İkinci aşamada oluşan metan, miktarı birinci aşamaya göre daha fazladır. Üretilen metanın % 30'u birinci yolla, % 70'i ikinci yolla üretilmektedir.

Organik maddelerinin temel maddelerine göre elde edilebilecek CH_4 ve CO_2 'nin miktarları Tablo 4.2'deki gibidir.

Tablo 3.2 Organik maddenin türüne göre biyogaz miktarı [10]

Organik madde ögesi	Ağırlık %'si olarak biyogaz karışımı		Birim organik kuru maddeden gaz üretimi (m ³ /kg KM)		Hacimsel olarak % metan
	%CO ₂	%CH ₄	Biyogaz	Metan	
Karbonhidrat	73	27	0,75	0,37	50
Yağ	52	48	1,44	1,04	72
Protein	73	27	0,98	0,49	50

Burada ağırlık ve hacimsel % lerde meydana gelen farklılık CO₂ ve CH₄'ün yoğunluklarının farklı olmasından ileri gelmektedir. CO₂=2 hava yoğunluğu; CH₄=1/2 hava yoğunluğu.

Metan fermantasyonunu yapan bakteriler yaşadıkları ortamın sıcaklığına göre üçe ayrılırlar

- 1- Psychrophilic (Sakrofilik) Bakteriler : Optimum yaşama sıcaklıkları 25 °C
- 2- Mezophilic (Mezofilik) Bakteriler : Optimum yaşama sıcaklıkları 36 °C
- 3- Thermophilic (Termofilik) Bakteriler : Optimum yaşama sıcaklıkları 55 °C

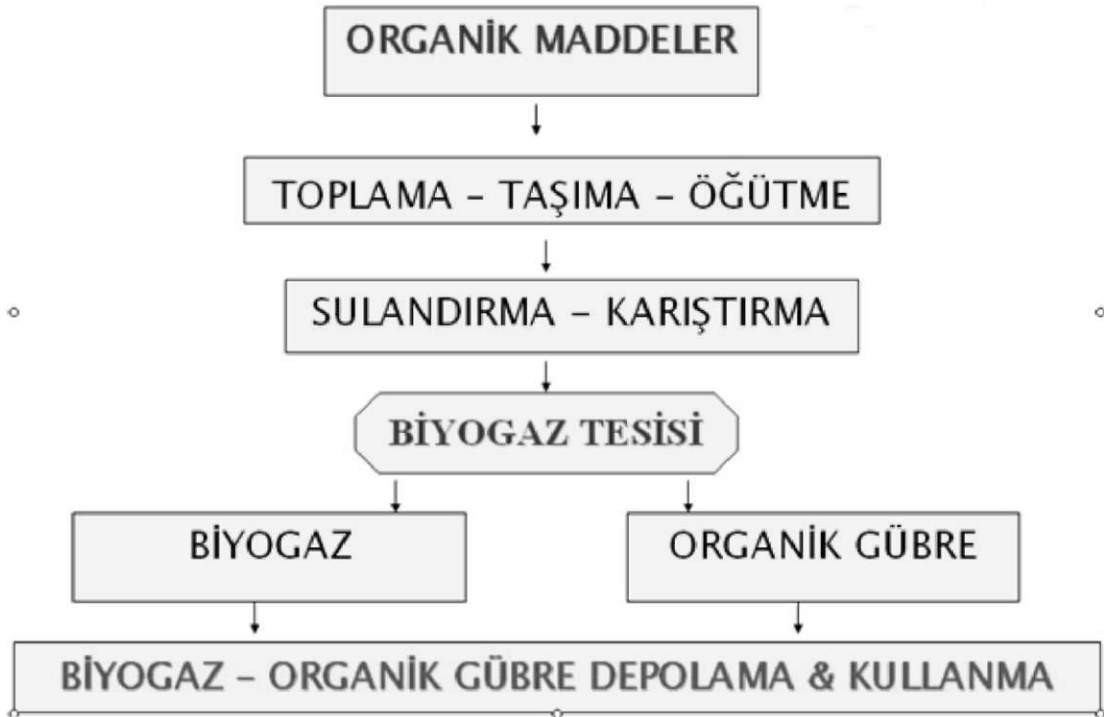
Biyogaz üretim tesislerinde mezofilik bakteriler kullanılırlar.

Anaerobik fermantasyon sistemleri besleme şekline göre aşağıdaki gibi gruplanırlar.

Sürekli fermantasyon: Bu fermantasyon biçiminde organik madde fermantöre her gün belirli miktarlarda verilmekte ve aynı oranlarda fermante olmuş materyal günlük olarak fermantörden alınmaktadır. Bu fermantasyon şeklinde gaz üretimi sürekli olmaktadır.

Beslemeli kesikli fermantasyon: Burada fermantör başlangıçta belirli oranda organik madde ile doldurulmakta ve geri kalan hacmi fermantasyon süresine bölünerek günlük miktarlarla tamamlanmaktadır. Belirli fermantasyon süresi sonunda fermantör tamamen boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.

Kesikli fermantasyon: Burada fermantör başlangıçta organik madde ile tamamen doldurulmakta, fermantasyon süresi sonunda fermantör boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.



Şekil 3.1 Biyogaz üretimi akış şeması [10]

Tablo 3.3 Çiftliklerdeki hayvan sayısına göre üretilebilecek biyogaz miktarı [10]

Hayvan Sayısı (adet)	Tesis Büyüklüğü (m ³)	Yaş Gübre ihtiyacı (kg-yaş/gün)	Biyogaz Miktarı (m ³ /gün)
2500 Tavuk	15	200	17
10 Büyükbaş hayvan	10	150	5

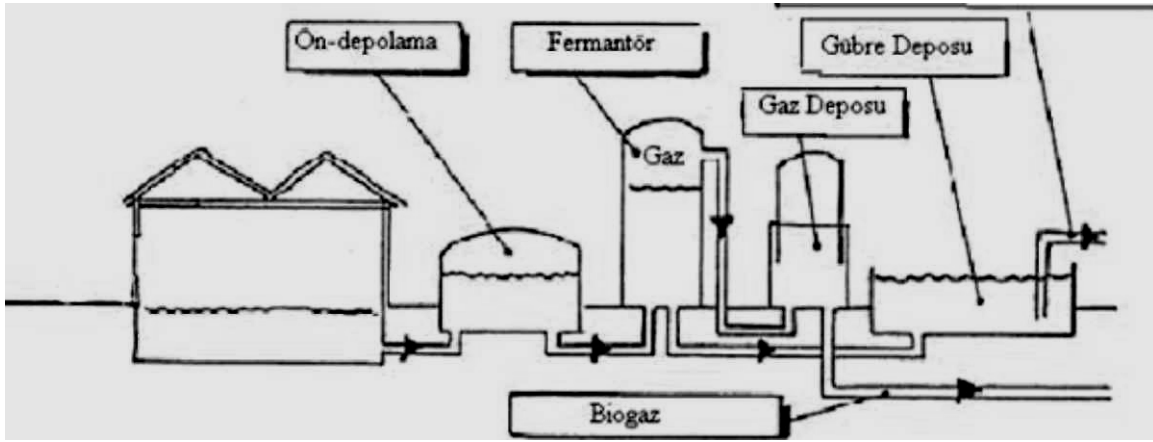
3.2. Biyogaz Üretim Tesisleri

Bir biyogaz üretim tesisinde olması gereken 3 eleman aşağıdaki gibidir.

1- Fermantör: Üretimin gerçekleşeceği bölümdür. Burası reaksiyon için uygun sıcaklığa getirilmelidir. Anaerobik reaksiyon gerçekleşeceğinden dolayı kesinlikle hava almaması gerekmektedir. Reaksiyonun verimli gerçekleşmesi için içinde bir adet karıştırıcı gerekmektedir.

2- Gaz deposu: Üretilen biyogazın depolanacağı tanktır. Sabit basınç sağlar. Fermantörde üretilen gaz bir boru ile buraya taşınır ve kullanıma buradan gönderilir.

3- Gübre Deposu: Fermantöre alınacak organik maddenin, kuru madde oranı % 8'i geçmemelidir. Bunun anlamı katı madde kullanılacaksa su ile karıştırma yapılmalıdır. Bu amaçla bulamaç haline getirilen katının depolanması için betondan bir havuz gerekmektedir. Buna gübre deposu denir.



Şekil 3.2 Biyogaz üretim tesisi [10]

Biyogaz Üretim Tesislerinin Tasarımı: Biyogaz üretimi için ortam sıcaklığı önemlidir. Genelde 35 °C olması istenmektedir. Bu yüzden bu tesislerde sıcak su ile çalışan serpantinler kullanılmaktadır. Ayrıca güneş enerjiden de yararlanan sistemler de vardır. Isı geçişini sağlamak amacıyla plakalı ısı değiştiriciler, gövde borulu ısı değiştiriciler ve kapalı devre pompa sistemleri kullanılmaktadır.

Biyogaz tesisleri için önemli etken karıştırma'dır. Karıştırmanın nedenleri ise;

- Metajelerin ürettiği metabolitlerin dağıtılması
- Hammaddenin homojen şekilde dağıtılması
- Çökelmeyi ve heterojenleşmeyi önlemek
- Sıcaklık dağılımını sağlamak
- Bakterilerin fermantörün içinde dağılmasını sağlamak

- Fermantör içinde ölü bölgeleri önlemek sayılabilir.

Bu amaçla daldırmalı motorlara bağlı mekanik karıştırıcılar, hidrolik karıştırma sağlayan pompalar ve gaz enjeksiyonu ile karıştırma yapan pnomatik karıştırma sistemleri mevcuttur. Biyogazın kalorifik değerini artırmak, çevre ve insan sağlığını korumak amacıyla çeşitli katkılar, elekler ve membran ayırıcılar kullanılabilir.

Biyogazın tasarımı yapılırken aşağıdaki özellikler göz önüne alınmalıdır.

- Fermantörde kesinlikle oksijen bulunmamalıdır.
- Antibiyotik almış hayvansal atıklar üretim tankına alınmamalıdır. Bu fermante bakterilerin azalmasına ya da ölmelerine neden olmaktadır.
- Deterjanlı organik atıklar üretim tankına alınmamalıdır.
- Ortamda yeni bakteri oluşturulması ve büyümesi için yeterli miktarda azot bulunmalıdır.
- Üretim tankının pH'ı 7,0-7,6 arasında olmalıdır. Metan bakterileri için substratta (S) sirke asidi cinsinden organik asit konsantrasyonu 500-1500 mg/L civarında olmalıdır.
- Fermantör sıcaklığı 35 °C veya 56 °C'de sabit tutulmalıdır.
- Üretim tankına ışık girmemeli ve ortam karanlık olmalıdır.
- Üretim tankında minimum %50, optimum %90 oranında su olmalıdır.
- Ortamda kükürt miktarı 200 mg/L'den fazla olmamalıdır.
- Ortamda metan bakterilerinin beslenmesine yetecek kadar organik madde bulunmalıdır.

Biyogaz tesisinin boyutlandırılması ve tasarımı için şu özellikler dikkate alınır:

- Uygun hammadde miktarı
- Hammaddenin cinsi ve özellikleri
- Isıtma ihtiyaçları
- Karıştırma ihtiyaçları
- Kullanılacak malzeme ve ekipmanların cinsi
- Tesisin kurulacağı yerin seçimi

- Tesis inşaatı ve tesisin yalıtımı
- Tesisin ısıtılması ve işletme koşulları
- Biyogazın depolanması ve dağıtımı
- Biyogazın taşınması, tesisten çıkan biyogübrenin depolanması, tarlaya taşınması ve dağıtımı
- Biyogaz kullanım araçlarının belirlenmesi

Biyogazın Yakıt Özellikleri: 1 m³ biyogaz sağladığı ısı miktarı 4700 – 5700 kcal/m³ civarındadır. Bu enerjiye eş değer olarak diğer yakıt cinsleri aşağıdadır.

- 0,62 litre gazyağı
- 1,46 kg odun kömürü
- 3,47 kg odun
- 0,43 kg bütan gazı
- 12,3 kg tezek
- 4,70 kWh elektrik enerjisi
- 0,66 litre motorin
- 0,75 litre benzin
- 0,25 m³ propan

Biyogaz üretimi için kullanılacak atıklar aşağıdaki gibidir.

- Hayvancılık atıkları
- Zirai atıklar
- Orman endüstrisi atıkları
- Deri ve tekstil endüstrisi atıkları
- Kağıt endüstrisi atıkları
- Gıda endüstrisi atıkları (çikolata, maya, süt, içecek üretimi)
- Sebze, meyve, tahıl ve yağ endüstrisi atıkları
- Bahçe atıkları
- Yemek atıkları
- Hayvan gübreleri (büyükbaş hayvancılık, küçükbaş hayvancılık, tavukçuluk)
- Şeker endüstrisi atıkları

- Evsel katı atıklar
- Atık su arıtma tesisi atıkları

BÖLÜM 4. KATI ATIKLARDAN ENERJİ ELDE ETME YÖNTEMLERİ

Sıvı ve gaz atıkların fiziksel özelliklerinden dolayı havaya ve suya kolayca karışabildiklerinden kirlilik unsuru yarattıklarının farkına varmamız zorlaşmaktadır. Fakat katı atıklar şekillerini koruduklarından dolayı sürekli sorun olarak en çok öne çıkan unsurlardır. Bu amaçla insanoğlu en başta bu atıkları gözlerden uzak mekanlarda toplamaya ve bu yerler yetmeyince buldukları yerlere gömmeye başlamışlardır.

Oysaki bu atıkları amaçsızca depolamak çözümden daha çok insanların kendilerini kandırmasıdır. Bu atıklar için bulunan en uygun çözüm yakıp, hacimlerini ufaltmak gibi görünse de sonucunda ortaya çıkan gazlar ve küllerde ayrı kirletici unsurlar olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu amaçladır ki bu katı atıkları hem bertaraf etmek hem de yararlı bir şekilde kullanmayı sağlamak için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar göstermiştir ki katı atıklarda diğer atıklar gibi çeşitli süreçler sonucunda bertaraf edilirken aynı anda da enerji kazanma amaçlı kullanılabilir.

4.1. Akışkan Yataklı Reaktörde Polipropilen Plastik Atıklarının Hava Gazifikasyonu

Belediye katı atığındaki plastiklerin çoğu (MSW) polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS) ve polivinilklorüd (PVC) tür. Doğanın gereği olarak plastik atıkların ancak bir kısmı geri dönüştürülebilir. Bu tür atıklardan kurtulmak için genellikle enerji kazanımı için yakılması ya da boş arazilerde depolanması uygulanmaktadır. Ancak bu yöntemler de kirliliğe neden olmaktadır.

Alternatif kullanım yöntemi ise gazifikasyondur. Gazifikasyon prosesi, katı ve sıvı hidrokarbonlar kullanılarak elektrik üretimi, kimyasallar, hidrojen ve taşıma yakıtları için uygundur.

Plastik atıkların hava gazifikasyonu plastiklerin yanıcı gaza çevrilerek kombine döngülü gaz türbin sisteminde kullanılmaktadır. Hava üfleli gaz çemberi (ABGC) ya da tümleşik gazifikasyon kombine çevrimi (IGCC) yüksek enerji ve düşük kirlilik sağlamaktadır.

Gazifikasyon elemanı olarak oksijen yerine hava kullanmak ise prosesi basitleştirmekte ayrıca havanın oksijene ayrılma maliyetlerinden de kurtarmaktadır. Ancak nitrojen (N_2) çıkışıyla birlikte ayrılan yakıt gazının kalorisini düşmektedir. Oksijen ana eleman olarak kullanılmakta ve yüksek sıcaklık altında işlenmektedir. Bunun sonucu olarak yüksek karbon tutumu ve düşük miktarda katran çıkmaktadır. Ancak çamur iyi tutulmazsa su içindeki eriyikler reaktör için korozif etkiye neden olmaktadır. Akışkan yataklı reaktör ise orta dereceli sıcaklığıyla ($90^\circ C$ civarı) plastik atık gazifikasyonu için iyi bir alternatif olmaktadır. Akışkan yataktaki düzgün yayılı sıcaklık iyi karışım ve yoğun akışkan yatak içeriğinden dolayı ekonomik ve çevresel yararlar sağlamaktadır.

Aşağıda PP parçaları kullanılarak; denklik oranı (ER), statik yatak yüksekliği, yatak sıcaklığında akış hızı, çıktı miktarları (gaz, katran, kömür), gaz içeriği, gaz verimi ve gaz ısıtma değeri deneysel olarak bulunmuştur.

Bir petrokimyasal şirketinden alınan PP parçaları kullanılmıştır. Tablo 4.1’de tahmini ve yaklaşık analizler yer almaktadır. Bu besleme maddeleri 2 mm çapında küresel yapıdadır. Yatak malzemesi tüm testlerde dipteki küllerin yatak kazanında dönmesiyle kullanılmıştır. Küllerin karakteri Tablo 4.2’dedir.

Tablo 4.1 Besleme malzemesinin özellikler [11]

Yaklaşık analiz (Kütlece % kuru madde bazında)		Kesin Analiz (Kütlece % oluşan madde bazında)	
Uçucu Madde	99,3	Karbon	86,42
Ayarlanmış Karbon	-	Hidrojen	12,28
Kül	0,7	Oksijen	-
HHV	44,7	Nitrojen	0,72
		Sülfür	0,17

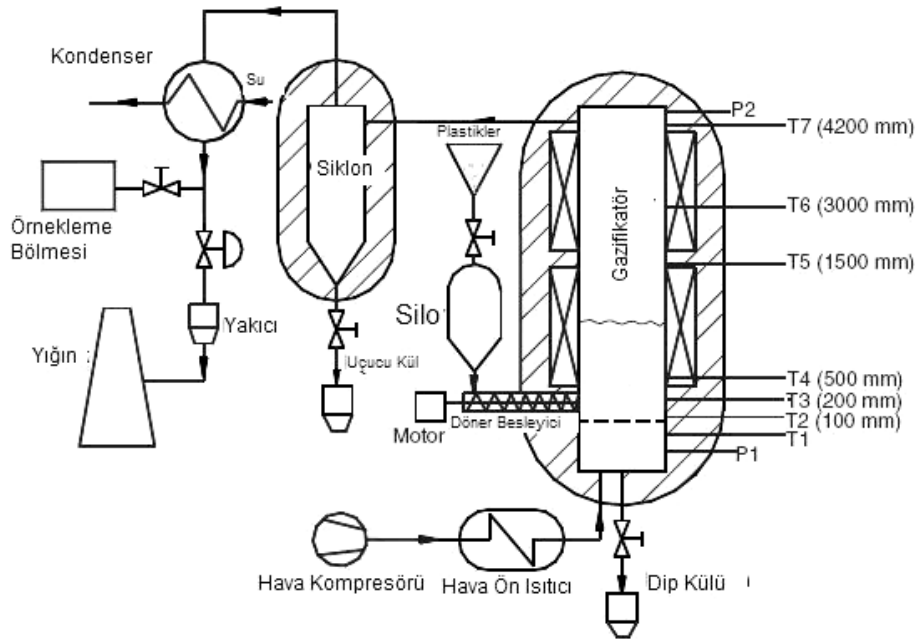
Tablo 4.2 Yatak malzemesinin karakteristiği [11]

Özkütle (kg / m ³)	
Parça Özkütlesi	2200
Toplam Özkütle	1140
Parça Büyüklüğü (mm)	
Maksimum parça büyüklüğü	2,0
Minimum Parça Büyüklüğü	0,5
Ortalama Parça Büyüklüğü	1,2
Minimum Akış Hızı	0,41
Kimyasal İçerik (% kütle)	
SiO ₂	61,35
Al ₂ O ₃	25,13
Fe ₂ O ₃	5,44
CaO	4,72
MgO	0,94
K ₂ O	1,52
Na ₂ O	0,42
S _{toplam}	0,03
Diğerleri	0,45

* 800 °C ve 0,1 MPa deki hava için hesaplanmıştır

Deney yapılan düzeneğin şematik diyagramı Şekil 4.1'dedir. Reaktör atmosferik basınçta çalışmak üzere dizayn edilmiştir. Gaz reaktörünün çapı 100 mm, yüksekliği 4,2 m 2520 paslanmaz çelikten ısı yalıtımlı yapılmıştır. 500 mm lik basınç kabıyla çevrilmiştir. 2 adet ayrı elektrikli ısıtıcısı başlangıç sıcaklığını sağlamak ve ısı

kayıplarını gidermek için kullanılmıştır. Basınç kabıyla reaktör arasındaki boşluklara ısı kaybını önlemek amacıyla fiber dolgular yapılmıştır. 2 adet basınç tıpası vardır. Bunlar alt kısımda ve reaktörün dışında olup, reaktör monitörüne bağlıdır. Reaktörün içine 7 adet K tipi termoeleman yerleştirilmiştir. ($T_1 - T_7$) T_1 hava giriş kutusunda $T_2 - T_4$ problemleri ise distribütörden 100 mm, 200 mm ve 500 mm yüksekte sıcaklık ölçmektedir. 2 prob ise distribütörden 1500 – 3000 mm yüksektedir. Son prob ise reaktörün dışındadır.



Şekil 4.1 Deney setinin şematik çizimi [11]

PP parçaları kalibre edilmiş döner vidalı besleyiciyle reaktöre iletilmektedir. Bu besleyici 25 mm çapında ve distribütörden 70 mm yükseklikte monte edilmiştir. Besleme hattını PP parçalarının eriyip kapatmaması için su soğutma sistemi vardır. Hava elektrikli ısıtıcıyla 400°C'ye ısıtılarak kompresör yardımıyla çokluorifisli düz distribütöre basılmaktadır. Siklon yardımıyla reaktörde kalan ufak parçalar kül tutucuda toplanmaktadır. Temiz gaz soğutucusuna yollanarak karışmış buhar ve katranların ayrılmasında kullanılmaktadır. Yakıt gazı menfeze verilmeden yakılmaktadır.

4.1.1. Ölçüm ve veri toplama işlemi

Hava debisi kompresörden sonraki bir rotametre ile ölçülmektedir. PP besleme oranı motor hızıyla indirek ilişkilendirilerek bulunmaktadır. Yatakla distribütör arasındaki basınç farkı U manometreyle ölçülmektedir. Gaz içeriği (GC-1102 - Çin) modeli gaz kromatograf ile ölçülmektedir. Kromatograf kalibrasyonu standart gaz ve çıkan gaz arasındaki sapmayla yapılmaktadır. Taşıyıcı gaz olarak Helyum kullanılmıştır. Helyum akış oranı $44 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{min}$ Kromatograf sıcaklığı 80°C ve ısı iletim detektörü (TCD) sıcaklığı 120°C 'dir.

Gaz kompozisyonu Tablo 5.3'de standart gazla karşılaştırılmıştır. Katran tüp duvarına yoğunlaşmıştır ve bu katran asetonda çözülerek alınmıştır. Aseton buharlaştırılarak katran elde edilmektedir. Kömür ise test sonrası alt kısımdan toplanmıştır. Katran ve kömür dikkatlice tartılmıştır. Tüm ölçümler Tablo 5.3'de açıklanmıştır. PP % 0,72 nitrojen içerdiğinde ve hava harici nitrojen girişi olmadığında Nitrojen dengesi

$$Y = \frac{Q_a \cdot \%79}{W_c \cdot \%N_2} \quad (1)$$

Q_a hacim akış oranı ($\text{N m}^3/\text{h}$) ve PP kütle akış oranı (kg/h), N_2 yakıt gazının yüzde hacimsel parçacıkları azami kısım gaz verimi %1,13'tür.

Tablo 4.3 Deney setinde kullanılan cihazlar ve hassasiyetleri [11]

Ölçme Parametresi	Cihaz	Ölçme doğruluğu
Hava Akışı	Rotametre	< %1,5
Basınç Düşüşü	Manometre	< %0,1
PP Ağırlığı	Bilanço (a)	< %0,1
Katran ve Kömür ağırlığı	Bilanço (b)	< %0,01
Sıcaklık	K Tipi Termoeleman	$\pm 1^\circ\text{C}$
Gaz Kompozisyonu		
H_2	GC 1102	% 0,12
N_2	GC 1102	% 0,27
CO	GC 1102	% 0,23
CH_4	GC 1102	% 0,03
CO_2	GC 1102	% 0,17
C_nH_m	GC 1102	% 0,14

Hava - yakıt oranı, plastikten hava ile gazifikasyon işlemlerinde en önemli denklemlerden biridir. Bu değer havadan yakıt oranının, stokiometrik havadan yakıt oranına bölünmesiyle elde edilir. Üretilen gazın üst ısıl değeri (HHV) yakıt gazının GC’de analiz edilerek hesaplanmasıyla bulunur. Tamamlanmamış katran ve kömür parçacıkları ve hesap hataları nedeniyle kütle dengesi % 100’ü bulamayabilir. Testin kalitesi açısından kütle dengesinin %85–105 arasında çıkması kabul edilebilir.

4.1.2. Deney yöntemi

Başlangıç olarak istenen sabit yatak yüksekliğini sağlamak için besleyiciden besleme yapılır. Elektrikli ısıtıcılar gerekli sıcaklığı sağlamak için ön ısıtma yaparlar. Sıcaklık 400°C yaklaştığında PP beslemesine başlanır. Besleme hattı kapanmayacak şekilde besleme hattı ve su hattı dikkatlice açılır. Dikkatle PP test sıcaklığına yükseltilir. İstenilen yakıt kütle akış oranına göre yükseltilir. Reaktör kararlı hale gelince, sıcaklık profili sabit olunca gaz örnekleri alınmaya başlanır.

Tablo 4.4’de ana operasyon koşulları gösterilmektedir. ER artışı 0,05 lik basamaklarla 0,2 den 0,45’e kadar değişimi vardır.

Gaz seviyesini zaman içinde sabit tutmak yerine çeşitli ER ler PP besleme oranına göre tayin edilmiştir. 3 farklı yatak yüksekliği (100, 200 ve 300 mm) ve 3 akışkan hızı reaktör performansını etkilemiştir.

Tablo 4.4 Deneyin operasyon koşulları [11]

Yatak Sıcaklığı (°C)	690 - 950
Yakıt Besleme Oranı (kg/h)	1,8 – 3,9
Hava Akış Oranı (Nm ³ /h)	6 – 12
Yüzeysel Hız (m/s)	0,84 – 1,65
Hava Giriş Sıcaklığı (°C)	400
Sabit Yatak Yüksekliği (mm)	100 – 300
Denklik Oranı	0,2 – 0,5

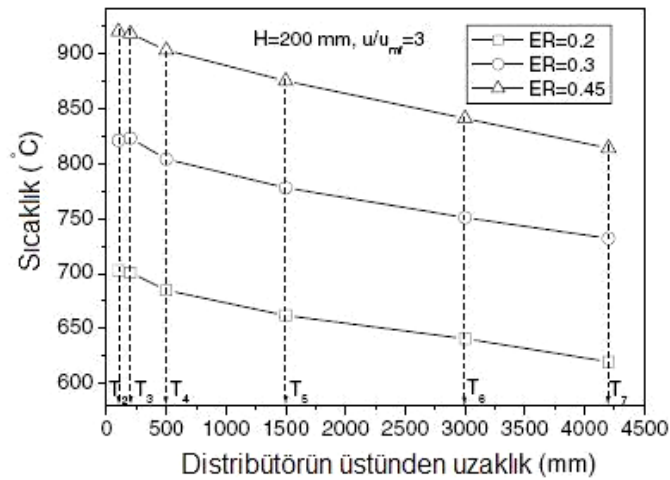
* 800 °C ve 0,1 MPa da ki hava için hesaplanmıştır.

4.1.3. Deneyin Sonuçları

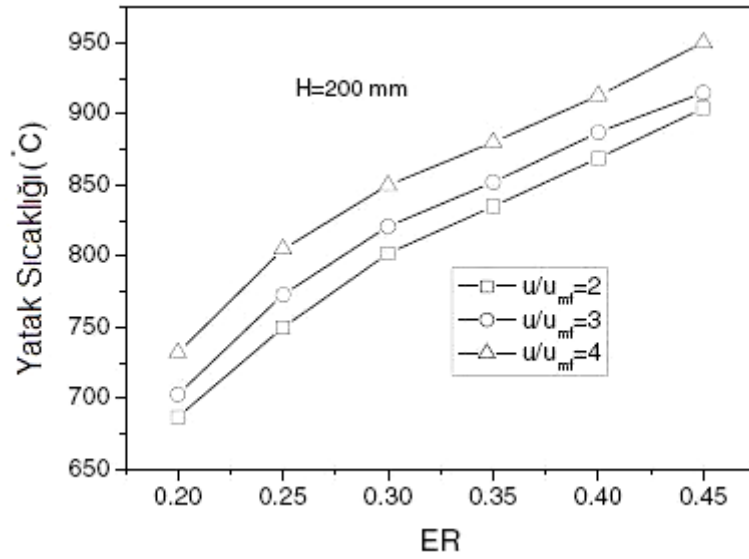
4.1.3.1. Reaktördeki sıcaklık profili

Şekil 4.2’de 3 farklı ER için (0,2 , 0,3 ve 0,45) reaktör sıcaklık profilleri vardır. Sabit yatak yüksekliği ve akış hızları 0,1 MPa 800°C’deki havanın 200 mm ve 3 durumuna göre oranları hesaplanmıştır. T_2 ve T_3 termoelemanları yataktaki sıcaklığın serbest yüzeyden daha düzgün yayılı olduğunu göstermektedir. Bu gaz ve katıların iyi karışacağına bir göstergesidir. Serbest yüzeyde ısı kayıpları ve yeni endotermik reaksiyonlar sebebiyle sıcaklık düşmesi gözlenmektedir. Reaktör ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkı 80–100°C arasındadır. Bu sıcaklık farkı katranların, hidrokarbonların ikincil parçalanmasına neden olacaktır. En yüksek ER, yatak ve serbest yüzeyin en yüksek olduğu yerde oluşmaktadır. En düşük ER ise ısı kayıplarının yüksek ve sıcaklığın düşük olduğu reaktör dışında gerçekleşmektedir.

Yatak sıcaklığı ER’ e bağlı olarak T_2 ve T_3 ’ün ortalaması olarak alınır. Çeşitli akış hızlarında yatak sıcaklığının ER’ e etkisi Şekil 4.3’te gösterilmektedir. Yatak sıcaklığının 703°C den 915°C’ye artması ER in 0,2 den 0,45’e monoton olarak artmasına neden olmaktadır. Diğer akış hızları da benzer değişimler göstermektedir. Bu varsayım basitçe hava-yakıt oranını ayarlamak için sıcaklığı kontrol etmeyi göstermektedir. Ayarlanmış ER oranına göre yatak sıcaklığı, ER ve akış hızıyla ekzotermik reaksiyonların artmasıyla orantılı artmaktadır.



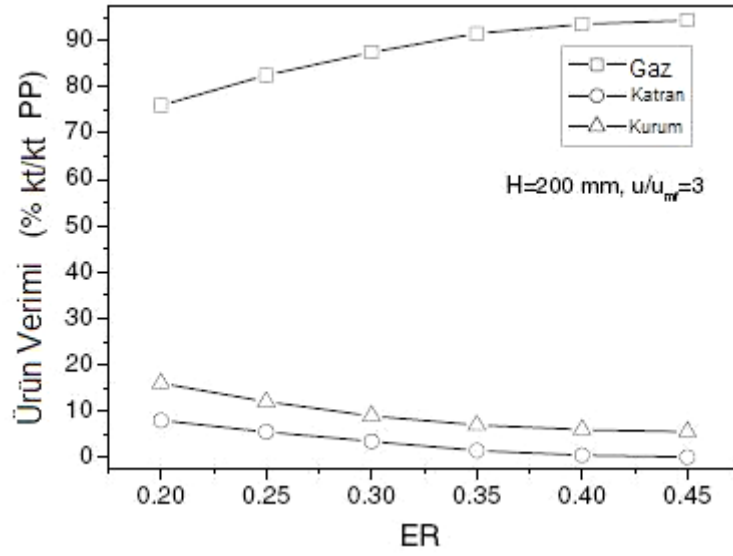
Şekil 4.2 Üç farklı ER değeri için sıcaklık profilleri [11]



Şekil 4.3 Çeşitli akış hızları için ER'nin yatak sıcaklığına etkisi [11]

4.1.3.2. Ürün verim dağıtımı

PP birim ağırlığına göre gaz, katran ve kömürün verim oranları önemlidir. Bu bize PP'nin çeşitli ürünleri için kapasitesini gösterecektir. Şekil 4.4'te belirli PP kütle beslemelerine göre çeşitli değerlere göre değişimi vardır. Hava akış oranı sabitken ER 0,2 den 0,45'e doğru değişimiyle yakıt besleme oranının değişimi gözlenmiştir. Test sırasında yatak yüksekliği 200 mm'de sabitlenmiştir. ER ile üretilen gaz, katran ve kömür arasında güçlü bir bağ vardır. Gaz verimi ER ile birlikte artmaktadır. ER değeri 0,2 – 0,45'e artarken gaz verimi %76,1 den % 94,4'e artmaktadır. ER değeri 0,4'ten sonra verim değeri önemsenmeyecek dereceye gelmektedir. Bu arada ER değeri %15,9 dan % 5,0'e arttığında katran verimi düşmektedir.



Şekil 4.4 ER in üretim dağılımına etkisi [11]

Gerçekte üretim dağıtım verimine ER'in etkisi yatak sıcaklığıyla ikincil sıcaklıklar (serbest yüzey sıc.) ile doğrudan alakalıdır. En yüksek gaz çıkışı yüksek yatak sıcaklıklarında gözlenmektedir. İkinci olarak ikincil parçalanmaların yüksek sıcaklık ortalamaları, katran reaksiyonları basit yapılu hidrokarbon ve diğer gaz fazlarının (CO, CO₂ ve H₂) üretiminde etkilidir. Üçüncü olarak katran gazifikasyonu, yüksek gazifikasyon ve su değişim reaksiyonlarının içsel sıcaklığıyla alakalıdır. PP parçacıklarının gazifikasyonu aşağıda gösterilmiştir.

$$PP = \text{gaz} + \text{katran} + \text{kömür}$$

$$\text{Katran} = \text{hafif ve ağır hidrokarbonlar} + \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2$$

$$\text{Ağır Hidrokarbonlar} = \text{hafif hidrokarbonlar} + \text{H}_2$$

$$\text{Kömür} = \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{Katı artıklar}$$

Bu reaksiyonlar endotermiktir ve PP nin kısmi oksidasyonu için ısı gereklidir.

Görüleceği üzere plastiklerin hava gazifikasyonu yoğunlaşabilir katran oluşumuna neden olmaktadır. Bu katranlar temiz gaz ihtiyacı olan türbin ve içten yanmalı motorlardaki yakıt ihtiyacı olarak kullanılacağından ciddi problemlere neden olmaktadır. İçten yanmalı motorlarda kullanılacak gazda katran içeriği 10 – 50 mg N/m³ oranında olmalıdır.

Gazifikasyon sıcaklığını yükseltmek, katran oluşumunu düşürecektir. Bu çalışmada yatak sıcaklığını 703°C'den 925 °C'ye (ER oranı 0,2'den 0,45'e) çıkarmak katran içeriğini 40,3 ten 0,252 g/Nm³'e düşürmüştür.

Yatak yüzeyindeki Al, Fe, Ca ve Mg yatakta ve serbest yüzeyde katran tutucu etki göstermektedir. Katran ve kömürün özellikleri Tablo 5.5'de gösterilmiştir. Tablodaki gibi katran ve kömürler yüksek karbon ve düşük hidrojen materyalleridir. Deney sırasında karbon dengesi % 92,4 ile % 98,5 arasındadır. Hidrojen ve oksijen dengesi oluşan su toplanmadığından hesaplanmamıştır.

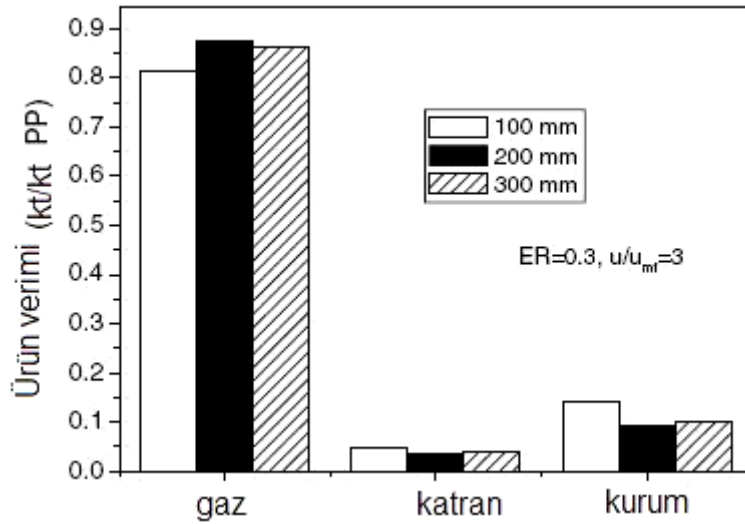
Tablo 4.5 Katran ve kömürün özellikleri [11]

	Katran	Kömür
Yaklaşık analiz (Kütlece % kuru hava bazında)		
Su	1,7	1,4
Uçucu Madde	67,4	6,2
Ayarlanmış Karbon	30,9	78,9
Kül	0,03	13,5
Kesin analiz (Kütlece % kuru kül bazında)		
Karbon	92,2	98,3
Hidrojen	7,6	1,7

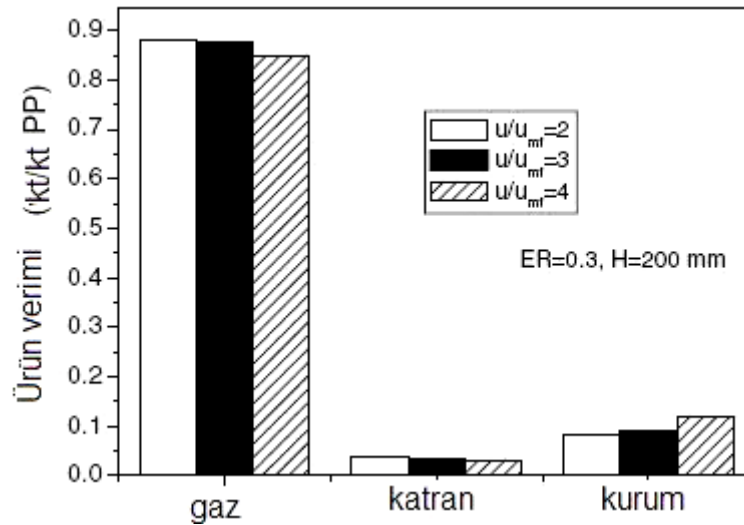
Şekil 4.5'de sabit yatak yüksekliğinin, ürün verim dağılımına etkisi vardır. Sabitlenmiş akış hızında yatak yüksekliğini artırmak ürünlerin bekleme süresini yükseltmektedir. Bekleme süresi yükselince de gaz oluşumu düşüp, ikincil reaksiyonlarla katran ve kömürlerin ağır hidrokarbonlardan meydana gelmesine neden olmaktadır. Sabit yatak yüksekliği 300 mm olduğunda gaz üretimi maksimum, katran ve kömür üretimi minimum olmaktadır. Her ER değeri için ayrı bir optimum yatak yüksekliği bulunmaktadır. Bunun sebebi değişen hidrodinamik koşullarda yüksek yataklarda yüksek baloncuklar oluşmasıdır.

Şekil 4.6’da sabit yatak yüksekliği 200 mm ve $ER=0,3$ olduğunda gaz, katran ve kömür dağılımı gözlenmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere katran üretimi kütlece % 9’dan % 12,5’a artmış diğer taraftan gaz üretimi % 87,5’tan % 85’e düşmüştür ve katran verimi de açıkça düşmüştür.

Akış hızının yükselmesinin yatak sıcaklığını yükselttiği Şekil 4.3’te açıkça görülüyor. Sıcaklığın yükselmesi katran oluşumunu düşürüyor. Gene de yüksek akış hızı çökmüş katran parçalarının reaktöre yeniden taşınmasına neden oluyor. Bu da siklonda yanmamış katran parçacıklarını yükseltiyor. Buna göre gaz üretim verimiyle, katran ile kömür verimleri için optimum bir akış hızı bulunmaktadır.



Şekil 4.5 Yatak yüksekliğinin üretim çeşitliliğine etkisi [11]

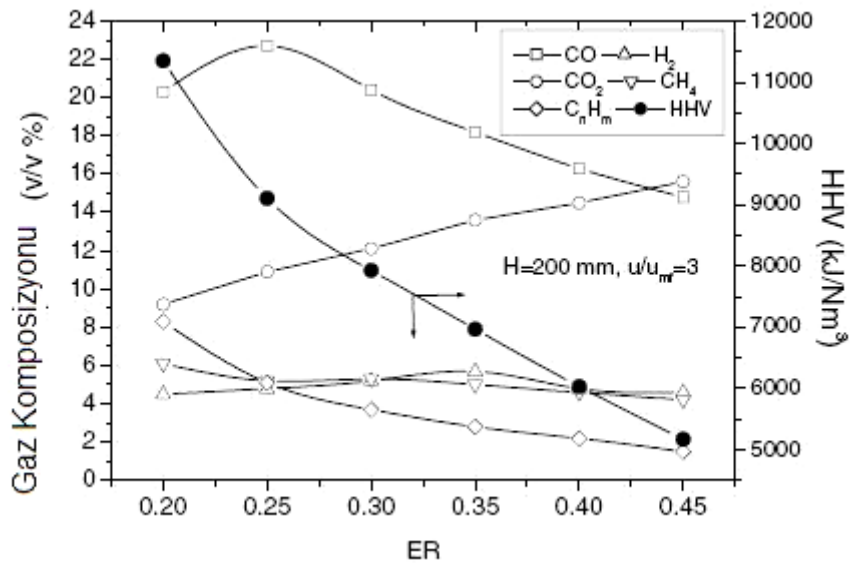


Şekil 4.6 Akış hızının üretim çeşitliliğine etkisi [11]

4.1.3.3. Gaz içeriği ve ısıtma sıcaklığı

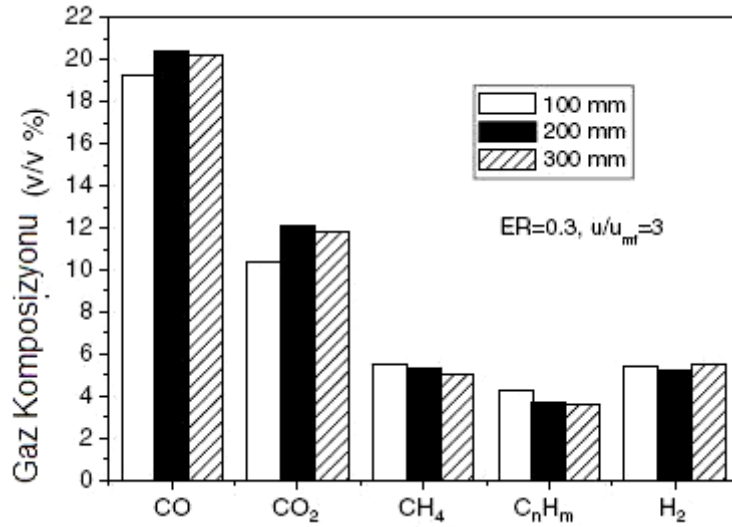
ER'in gaz içeriğine etkisi Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Bekleme süresini belirlemek için akış hızı sabit tutulmuş sadece besleme kütle oranı ve besleme miktarı değiştirilmiştir. Gaz içeriği kuru ve hacimsel olarak ifade edilmiştir. Hidrokarbon içerikleri C_nH_m şeklinde ve metandan büyük parçalar halinde yazılmıştır. Diğer hidrokarbonlar C_2H_4 ve C_2H_6 formundadır. Bunların miktarı CH_4 ün yanında çok azdır. Başta CO ve H_2 oranı yüksektir ancak ER ve sıcaklığın artmasıyla, azalmaktadırlar. H_2 oranı CO'nun yanında çok azdır. CO ile H_2 nin artması hidrokarbonların Şekil 4.7 ve Şekil 4.5'teki gibi yüksek sıcaklıklarda parçalanması nedeniyle oluşabilir. ER artımında CO ve H_2 azalması CH_4 artması olur. ER nin düşmesiyle yüksek miktarda CO_2 konsantrasyonunun oluşumu gözlenmektedir. ER'in 0,2'den 0,45'e artmasıyla HHV de büyük bir düşüş gözlenmektedir. (11,35 MJ/Nm³'den 5,27 MJ/Nm³'e)

Ancak en düşük gaz seviyesi bile gaz türbininde kullanmak için yeterli büyüklüktedir. Çoğu araştırmada ER'in artmasıyla yakıt gazının enerji içeriği düşmektedir. Bu yüzden kullanılacak sisteme göre uygun ER değeri seçilmelidir. Bir yandan ER yükselmesiyle sonuçta kullanılan gaz uygulamalarında parçalanmayla katran ve kömürlerde etkilidir. Diğer yandan gaz ısıtma değeriyle nitrojen yoğunlaşmasıyla düşük hidrokarbon oluşumunda etkilidir.



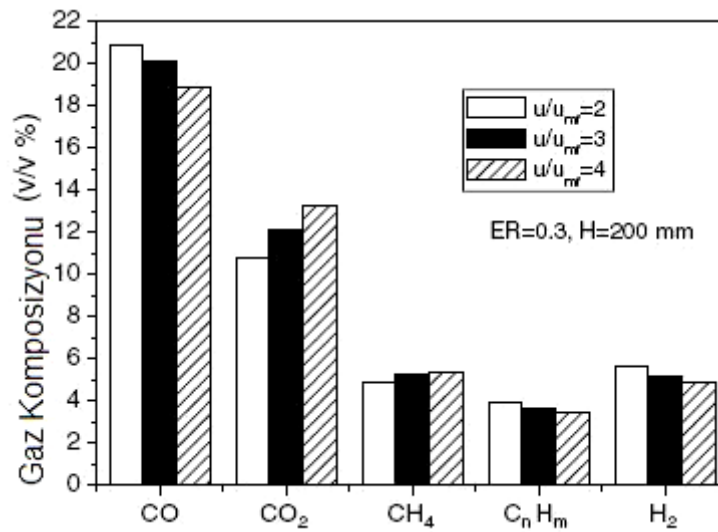
Şekil 4.7 ER nin gaz kompozisyonu ve HHV ye etkisi [11]

Yatak yüksekliğinin etkisinin gaz içeriğine etkisi Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Görüleceği üzere yatak yüksekliği gaz içeriğiyle etkili değildir. Sabit yatak yüksekliği 200 mm olduğunda CO ve CO₂ içeriği maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Hidrokarbonlar, metan ve ağır hidrokarbonlar yatak yüksekliği arttıkça azalmaktadır. Bu arada H₂ ise neredeyse sabit kalmaktadır. Sabit yatak yüksekliğini 100 mmden 300 mm’ye çıkarmak gaz HHD sini 8312’den 7617 KJ/Nm³ düşürüyor. Sabit akış hızında bekleme süresini uzatmak için yatak yüksekliğini arttırmakla elde edilebilir. Üretilen gazların yüksek sıcaklıkta bekleme süresini yükseltmek hidrokarbonların parçalanma reaksiyonuna girmesine neden olur.



Şekil 4.8 Yatak yüksekliğinin gaz kompozisyonuna etkisi [11]

Şekil 4.9’da sabit ER ve yatak yüksekliğinde akış hızının gaz içeriğine etkisi gösterilmektedir. Oranı % 2’den % 4,1’e çıkarmak CO, H₂ ve C_nH_m içeriğini %22,7 den % 18,9’a düşürmektedir. Ancak CH₄ içeriği artmaktadır. Akış hızı düşürülünce CO₂ içeriği % 10,8’den %13,3’e çıkmaktadır. Akış hızının artmasıyla HHV 8263 KJ/Nm³’ten 7600 KJ/Nm³’e düşmektedir. Fazla hava hızlı ekzotermik reaksiyonlara neden olmakta ve CO₂ içeriği artmaktadır.

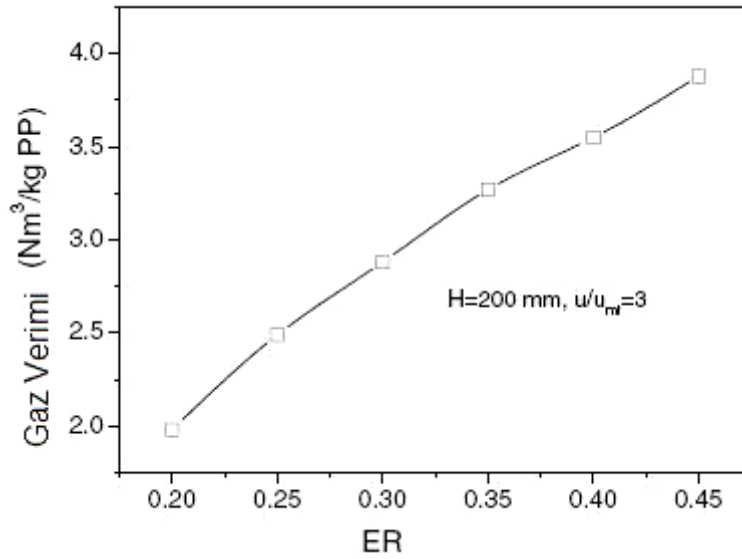


Şekil 4.9 Akış hızının gaz kompozisyonuna etkisi [11]

4.1.3.4. Gaz verimi

Ana amaç PP parçalarından gaz üretmek ve birim PP başına üretilen hacimsel gazı bulmak Şekil 4.10'da ER nin fonksiyonu olarak gaz verimi vardır. ER'yi 0,2'den 0,45'e çıkarmak gaz verimini 1,98 den 3,89 Nm³/kg'a çıkarmaktadır. Akış hızını artırmak gaz verimini 2,95'ten 2,84 Nm³/kg'a düşürmektedir. Bunun sebebi ise taşınan katrandır.

Sonuç olarak PP'den yüksek miktarda kalorik değeri olan 5,2 – 11,4 MJ/Nm³ ve düşük katran içeriği olan çeşitli uygulamalarda kullanılacak gaz elde edilmektedir. Çeşitli oranlarda değişiklik yapılarak sonuçta elde edilecek katran ve kömür miktarları değiştirilebilmektedir. Reaktörün sıcaklığı ve ER, reaktörün performansını etkileyen başlıca etkenlerdir. Yatak yüksekliği de bekleme süresini etkileyerek yüksek sıcaklıklarda etkilidir. Yatak yüksekliğini artırmak katran ve hidrokarbon parçalanmalarını artırmaktadır. Ancak çok yüksek yatak yükseklikleri negatif olarak etki göstermektedir. Akış hızı da çökmüş parçaların yeniden kalkıp reaksiyonun etkilenmesine neden olmaktadır.



Şekil 4.10 ER'nin gaz verimine etkisi [11]

En düşük katran oranı 250 mg/Nm^3 , en yüksek gaz ısıtma oranı $5,2 \text{ MJ/Nm}^3$ ve gaz verimi $3,9 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ 'dir. Katran içeriği başka uygulamalarda biraz daha yüksek olabilmektedir.

4.2. PVC Atıklarından Buhar Gazifikasyon Prosesi Tasarımı

Dünya çapında plastik atıklarının geri dönüşümü için çeşitli yöntemler geliştirilmektedir. Mekanik geri dönüşüm tercih edilmektedir fakat plastik atıklar homojen olmalıdır. Böyle olmasına rağmen atığın yalnızca küçük bir kısmı mekanik olarak geri dönüştürülebilir.

Isıl geri dönüşüm ise bir alternatiftir. Bu proseste plastik atığın makro molekülleri yüksek sıcaklıkta parçalanarak gaz karışımı ve hafif bileşenler elde edilmektedir. Çeşitli ısıl geri dönüşüm prosesleri hali hazırda kullanılmaktadır. Piroliz, gazifikasyon ve yakma hakkında çeşitli patentler mevcuttur. Çoğu proseste akışkan yatak kullanılır çünkü mükemmel ısı geçiş karakteri vardır. Bazı durumlarda ayrık yanma odaları prosesin bir parçasıdır ve katranı yakıp, yatak materyalini ısıtmada kullanılır. Bu prosesler Tablo 4.6'de açıklanmıştır.

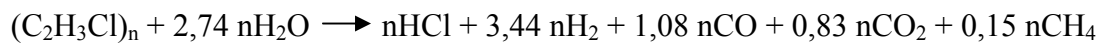
Tablo 4.6 Karışık plastik atıklar için çeşitli ısıl deneyler [12]

	Batalle	Ebara	BP Kimyasalları	ABB	Union Carbide
Reaktör Sistemi	CFB	BFB	BFB	BFB	Girişken akımlı
Akışkan Gazı	Buhar	Buhar	Üretim gazı	Üretim gazı	Üretim gazı ya da buhar
Yatak Materyali	Kum	-	Kum	-	-
Sıcaklık	800 – 850 °C	650 – 700 °C	300 – 690 °C	600 – 800 °C	900 – 1000 °C
Basınç	Atmosferik	Atmosferik	Atmosferik	Atmosferik	Atmosferik
Üretim	Hafif Hidrokarbonlar	Hafif Hidrokarbonlar	Vakslar	Piroliz yağı	Monomerler
Kapasite	10 kg/h	3000 kg/h	-	5000 kg/h	25 kg/h
Besleme Boyutu	< 2,5 cm	< 10 cm	2 – 4 cm	3 – 10 cm	< 0,3 mm
PVC Testi	Var	-	Kütlece % 1 den az	Var	Yok

* CBF: Sirkülasyonlu akışkan yatak; BFB: Baloncuklu akışkan yatak

Çoğu PVC geri dönüşüm prosesinde HCl (hidroklorür) tutumu çok azdır ya da yoktur ve sadece yan ürün olarak görülür. Çoğunlukla klorin yanmadan korunması için yerinde kaldırılır ama bu da teknolojik zorluklara neden olmaktadır. Eğer plastik atığın klorin içeriği yeterince yüksekse, HCl içeriği dikkat çekmekte ve HCl ayrımı prosesin önemli bir parçası olmaktadır.

OVC sıralı ölçekli baloncuklu akışkan yataklı reaktöre atılarak buhar elde edilir. Yatak malzemesi olarakta poroz alüminyum oksit kullanılmıştır ve sıcaklık 1250 K dir. Buhar gazifikasyonunun mekanizmasının anlaşılması için deneyde kullanılmamış PVC kullanılmıştır.



Bu sıcaklıkta gaz kazanımı yaklaşık % 100'dür ve sadece çok az miktarda katran ve yoğunlaşmış maddeler bulunmaktadır.

Buradaki amaç PVC atıklarının buhar gazifikasyonunu tasarlarken teknik ve ekonomik fizibilitelere ulaşmaktır. Bu tasarım sıralı-ölçekli gazifikasyonun deneysel verilerine dayanmakta ve Aspen Plus programı kullanılarak işlenmektedir. Aşağıda tasarım varsayımları, PVC atık içeriği reaktör bölümleri ve HCl saflaştırma bölümleri anlatılmaktadır.

Bölüm 4.2.1. Tasarım varsayımları

Tasarım ve başlama noktası olarak aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır.

- Sistem yıllık 50 kton PVC atığı için tasarlanmıştır.
- Mümkün oldukça kullanımdaki teknolojiler kullanılmıştır.
- Bu proses, kullanılan HCl ve PVC üretimi için oksiklorinasyon alanlarının yakınında yerleştirilmiştir ve bu alanda tüm kamu hizmetleri mevcuttur.
- Atık içeriği Avrupa Birliği Vinil üreticilerinin verilerine dayanmaktadır.
- Deneysel gazifikasyon bilgisi labrotuar ölçeğindedir ve reaktör tasarımı için kullanılmaktadır.
- Tamamen gaz üretimi beklenmektedir ve katran ara ürün varsayılmaktadır.
- HCl gazı % 100 saflıkta üretilmektedir.
- Sentez gazı kombine çevrimli güç jeneratöründe yakıt olarak kullanılabilir.
- Kireçten gelen CaCl_2 (kalsiyum klorür) haricindeki katkı maddelerinin etkileri ihmal edilmektedir.

PVC içeriği ve Reaktör Çıktıları:PVC atığının içeriği Tablo 4.7'de verilmiştir ve Avrupa Birliği Vinil üreticilerine dayanmaktadır. Bu, çeşitli üretimlerden gelen yer kaplama, paketlenme, yapay deri, kablolar, pencere ve tavan kaplamalarındaki ortalamasıdır.

Benzetimi basitleştirmek için PVC atığındaki tüm bileşenler kullanılmamıştır. Seçilen bileşenler % 40 PVC, % 30 dioctyl phthalate (DOP plastizer), % 20 CaCO_3

(dolgu) ve % 10 Al₂O₃ (inorganik) Bu içerikteki PVC atığı için deneysel veriler bulunmamaktadır.

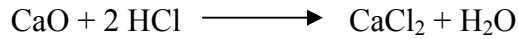
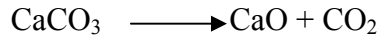
Tablo 4.7 PVC Atık İçeriği [12]

İçerik	Kütlece % parçacık
PVC	39,62
Plastizerler	21,67
Dolgular	21,18
Sabitleyiciler	1,33
Pigmetler	2,19
Organikler	8,02
İnorganikler	5,99

Taze PVC ile yapılan deney sonuçları Tablo 4.7’te yer almaktadır. Deney sonuçları eşitlik denklemleri ile bilgisayar programı ile işlenmiştir. Taze PVC ile PVC atığı arasındaki ana farklar kullanılan buhar miktarı ve HCl formu arasındadır. PVC atıklarının eşitliklikleri Tablo 4.8’tedir. Atıktaki klorin içeriğinin sadece % 43’ü CaCl₂ formasyonu yüzünden HCl olarak kazanılmıştır.

Tablo 4.8 1250 K ve atmosferik basınçta deneysel ve bilgisayar programı yardımıyla denklemlere göre taze PVC nin içeriği [12]

	Giriş (gr/dak)	Çıkış–Deneysel (gr/dak) ± % 10	Çıkış–Reaktörden Ölçümsel (gr/dak)
PVC	0,235	0	0
Buhar	0,440	0,261	0,252
HCl	-	0,125	0,137
H ₂	-	0,022	0,029
CO	-	0,135	0,13
CO ₂	-	0,106	0,127
CH ₄	-	9,45x10 ⁻³	1,46x10 ⁻⁶
Toplam	0,675	0,658	0,675



Diğer gazların verimleri taze PVC deki sonuçlara çok yakındır.

4.2.2. Baloncuklu akışkan yataklı reaktörün seçim ve boyutlandırılması

Baloncuklu akışkan yataklı reaktörün seçim nedeni iyi ısı geçişi olması ve katıların iyi karıştırılmasıdır. İlave olarak büyük PVC ya da katran parçaları tamamen reaksiyona uğrayana kadar yatakta kalacaklardır.

Baloncuklu akışkan yataklı reaktörlerin kullanım açısından kolaylıkları, kolay kapatılabilir olması ve döner parçaları olmamasıdır. Yatırım ve işletme maliyeti ile kontrol edilebilmesi açısından sadece tek reaktör olması tercih nedenidir. Bu kavram taze PVC deneylerinde başarıya ulaşmıştır.

PVC atıklarının gazifikasyonunda 2 reaktörlü kavram bir alternatiftir ancak CaCl_2 formundan dolayı tıkanma ve verim kaybı olabilir. Bu proses hakkında deneysel veri olmadığından tek reaktörlü model seçilmiştir.

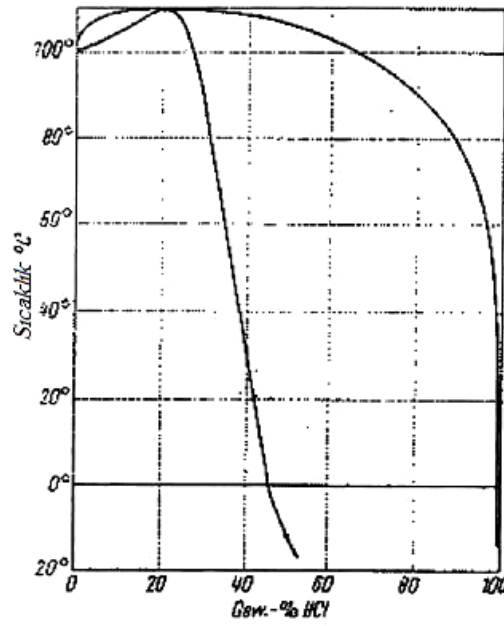
Deneysel reaktörün kapasitesi 15 g PVC/h'tır. Eğer uygulamalı alana göre büyütülecek olursa, 4×10^5 çarpanı ile 6250 kg/h'e ulaşır ve yıllık 50 kton olur. Yılda 8000 saat üretim olduğu varsayılmaktadır.

Tablo 4.9 1250 K ve atmosferik basınçta bilgisayar programı yardımıyla PVC atığının buhar gazifikasyon eşitlikleri [12]

		Giriş (gr/dak)	Çıkış (gr/dak)
Atık	Polivinilklorür (% 40)	0,094	0
	DOP (% 40)	0,07	0
	CaCO ₃ (% 40)	0,047	0
	İnorganikler (% 40)	0,024	0,024
	Toplam (% 40)	0,0235	
Buhar		0,024	0,08
HCl			0,024
H₂			0,029
CO			0,132
CO₂			0,136
CH₄			1,47x10 ⁻⁶
CaCl₂			0,047
CaO			2,75x10 ⁻³
Toplam		0,475	0,475

Reaktörün kentsel yapısı içinde, yatak materyali olan alüminyum oksidin çapı 300 µm olacak ve yüzeysel gaz hızı yüksek olacaktır. Yatak materyali arasından geçen ana gaz hız 1,1 m/s'dir. Bu hızın üstünde yatak partikülleri yerlerinden oynamaktadır. Yüzeydeki gaz ve gaz ürünlerinin toplam hızı 0,3 m/s seçilmiştir. Bu 1250 K'deki minimum akış hızından çok yüksektir. (0,014 m/s) Bu hızı kullanarak ve deneysel üretime dayanarak kesit alanı 60 m² hesaplanmıştır. Reaktör yüksekliği maksimum yatak yüksekliği ve PVC den üretilenlerin yüksekliğine göre seçilmiştir. Karbonun 2 fazlı akış modelinin buhar gazifikasyonuna göre minimum yatak yüksekliği seçilmiştir. Yatak yüksekliği 7 m hesaplanmıştır. Serbest yüzeyde hesaba katılırsa, toplam reaktör yüksekliği 10 m olacaktır. Yapım malzemesi olarak yüksek alüminyum oksit geçirmez tuğla ve paslanmaz çelik kullanılmıştır.

HCl – H₂O Ayrımı: Reaktörden çıkan gazda uçan katılar, sentez gazı, HCl gazı ve reaksiyona girmemiş gazlar bulunmaktadır. Bir gaz tutucu ile sentez gazı tutulabilir, HCl ise tutulan su ile yoğun buhar içinde çözülmüştür. HCl ile su arasında azeotrop (eşkaynar) ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Eşkaynar karışımdan distilasyon ile saf su ile saf HCl eldesi olmaktadır. Distilasyon kolonundan seçilen buhar içeriğinde % 50 buhar ve % 20 HCl solüsyonu bulunmaktadır. Daha yüksek konsantrasyonlu solüsyon için daha etkili distilasyon yöntemi kullanılmalıdır. Bu amaçla çeşitli solventler, sülfürik asit, kalsiyum klorid ve magnezyum klorid kullanılabilir. CaCl₂ etkisi Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Eşkaynar nokta dönüşümleri CaCl₂ konsantrasyonları artmakta ve sonradan kaybolmaktadır.

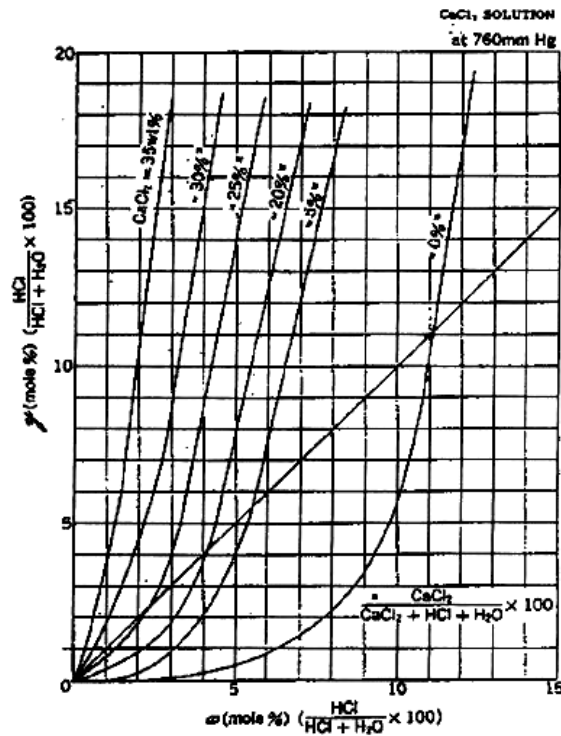


Şekil 4.11 H₂O ve HCl için 1 bar daki Txy diyagramı [12]

Prosesin benzetiminde eşkaynamayı kırmak için % 40 CaCl₂ konsantrasyonu kullanılmıştır. Böylece kolonun üstünde kütlice % 100 HCl gazı kazanılmıştır ve sadece çok az HCl izleri dip parçacıklarda kalmıştır.

4.2.3. Proses açıklaması

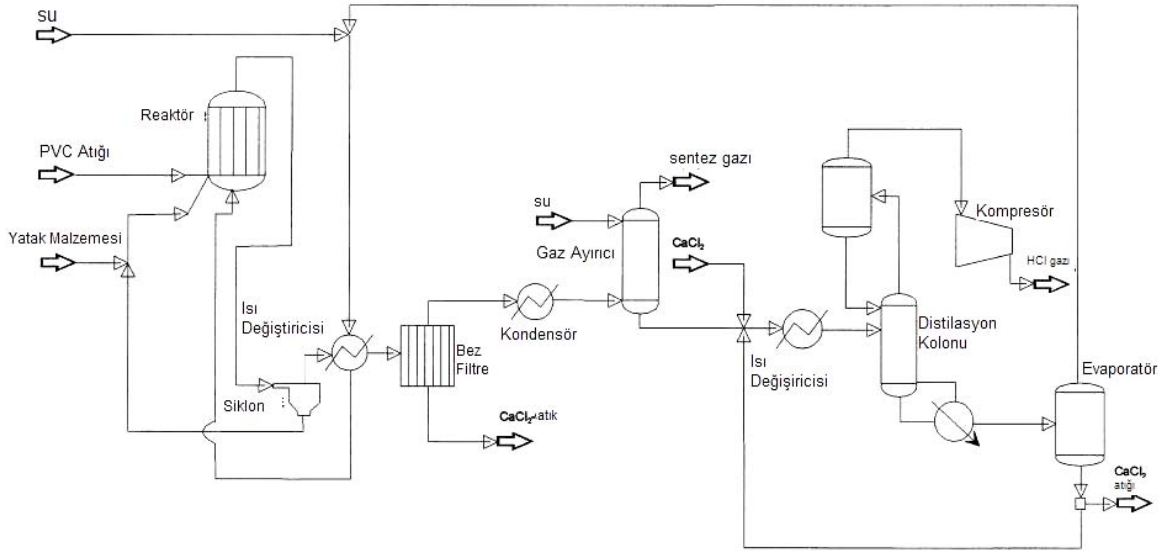
PVC atıkları çekiç mil ile ön işleme tabi tutulmakta ve besleme büyüklüğüne (± 1 cm) ufaltılmaktadır. Reaktöre döner taşıyıcı ile iletilmektedir. Buhar reaktörün alt kısmından eğimli delikli düzlemsel veya boru distribütör ile verilmektedir. Gaz akımı reaktörü, uçan alüminyum oksit yatak maddesi, katran ve katı ile sıvı inorganik içerikler (CaO ve CaCl₂ gibi) ile terk etmektedir. Katılar gaz akımından siklon veya bez filtre yardımıyla ayrılmaktadır. Bez filtre belirli bir sıcaklığa kadar dayandığından dolayı gaz akımlı su yardımıyla 200 °C'ye soğutulmaktadır. Bu su reaktörde yeniden sirküle edilmektedir. Üretilen gaz akımı su ile taşınmakta ve sentez gazı ayırıcısı üstten terk etmektedir. HCl solüsyonu alt kısımdan alınmaktadır. Sentez gazının göreceli alt ısıl değeri (LHV) 8,6 MJ/Nm³ ve akış oranı 4,1 Nm³/s'dir.



Şekil 4.12 CaCl₂ nin azeotropik durumdaki etkisi [12]

Yapılan ve geri dönen CaCl₂, HCl solüsyonuna kütlece % 40 olarak katılmaktadır. Sonraki adım ise çıkarıcı distilasyondur. Sütunun üstünde kütlece % 100 HCl gazı geri kazanılır. Kurutulur ve 7 bara basılır. Böylece oksiklorasyon işlemi için hazırlanır. Alt kısımda ise kütlece % 40 CaCl₂ bulunur.

Bu solüsyon evaporatöre sokularak prosese girmeden önceki konsantrasyonuna getirilir. Evaporatörden çıkan gaz da çok az miktarda hidroklorik içerir. Bu reaktöre geri yollarır. Şekil 4.13'te proses akış diyagramı vardır.



Şekil 4.13 PVC atıklarından buhar gazifikasyon prosesinin diyagramı [12]

Kütle ve enerji bilançoları Tablo 4.10 ve Tablo 4.11 de verilmiştir.

Tablo 4.15'e giren ve çıkanlar listelenmiştir. Toplam giren PVC atığının kütlece % 31'i katı CaCl_2 atığı, kütlece % 10'u HCl gazı olarak alınmıştır. Su ihtiyacının stokiometrik miktarı ise 0,74 kg buhar/ kg atık PVC dir.

Tablo 4.10 Prosesse net olarak yapılan giriş ve çıkışlar (kg/s) [12]

Akımlar	Giriş		Çıkış		
	PVC Atığı	Su	Sentez Gazı	CaCl ₂ atığı	HCl gazı
PVC	0,696				
DOP	0,522				
CaCO ₃	0,348				
İnorganikler	0,174			0,173	
CaO				0,02	
CaCl ₂				0,344	
H ₂ O		1,28	0,087		0
HCl			0		0,179
H ₂			0,211		
CO			0,98		
CO ₂			1,005		
CH ₄			0		
Toplam	1,74	1,28	12,283	0,537	0,179

Ana ısıl ihtiyaçlar Tablo 4.11’de verilmiştir. Hidrotermal proses endotermiktir ve ısı mutlaka verilmelidir. Bu dışarıdan ısıtma ile karşılanır. İçeriden ateş çubukları ile ısıtmaya örnek olarak da oksijenle kısmi yakma olabilir. Bu seçeneğe rağmen teknolojik açıdan prosesse oksijen girmemesi tercih edilmiştir. İhtiyaç olunan ısı, üretilen sentez gazının bir kısmı ateş çubuklarında yakılarak karşılanabilir. Geri kalan sentez gazı da elektrik veya ısı üretiminde kullanılabilir. Prosesin net enerji çıkışı 25,1 MW’tır ve 14,4 MJ/kg PVC atığına denk gelmektedir.

Tablo 4.11 PVC gazifikasyon alanında 50 kton PVC için ana enerji ihtiyaçları ve enerji çıkışı [12]

Enerji İhtiyacı	MW	Kaynak
Reaktör girişi	7,4	Sentez gazı
Yoğumla kolonundaki yeniden kaynatıcı	0,5	Buhar
CaCl₂ Evaporatörü	2,3	Buhar
Toplam Enerji Girişleri	10,2	
Sentez gazının yakma ısısı	-35,3	Sentez gazı
Toplam	-25,1	Sentez gazı

Ekonomik Gelişim: Bütün ekipmanların boyutları ve kullanım ihtiyaçları kütle ve enerji bilançosuyla hesaplanmıştır. Maliyetler kolerasyonla hesaplanmıştır. Kolerasyonun doğruluğu % 25'tir. Toplam maliyet ve nakit akışı şimdiki değer yöntemi ile hesaplanmıştır. PVC atığının giriş maliyeti azalan nakit akışıyla hesaplanmıştır ve iç geri dönüş oranı % 15 tir ve 10 yılda kendini amorti edecektir.

Ekonomik durumla ilgili bilgiler Tablo 4.12'dedir.

140 €/ton olan HCl nin giriş ücreti 67 € dur (\pm % 20). Bu da yakılabilen atığın, atık ayrıştırılmasına göre düşüktür. Toplam yatırım maliyetleri 10 milyon € dur.

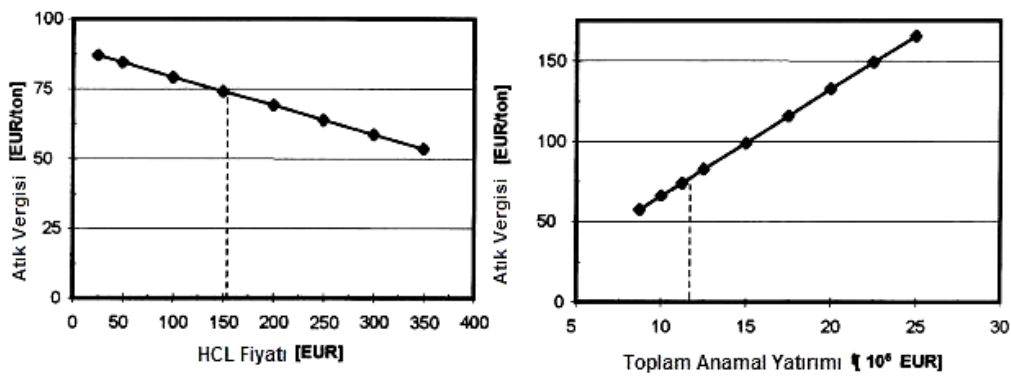
Toplam yatırımda en önemli parametreler buhar için harcanan, CaCl₂ atığı ve HCl ücretidir. Yatırım harcamaları, çeşitli aletler kullanılırsa daha da yükselebilmektedir. Bunlar yüksek saflıkta gaz üretmek için özel boru solüsyonları, katran için özel ekipmanlar ve CaCl₂ kaldırmak için ekipmanlardır. Ayrıca HCl ücretini tam olarak belirlemek zordur. Yatırım harcamaları ile HCl arasındaki ilişki Şekil 4.12'dedir. Bu ilişkinin hassaslığı azdır. Ana girdi 5 €/ton yükseldiğinde HCl ücreti 50 €/ton azalmaktadır.

Tablo 4.12 Azalan nakit akış yöntemine göre 50 ktonluk PVC gazifikasyon alanının ekonomik gelişimi [12]

Direk Maliyetler	
Toplam ekipmanların alımı	1.890.000 €
Montaj	755.909 €
Aletler ve kontrol	378.182 €
Borulama	1.134.091 €
Elektriksel donanım	378.182 €
Binalar ve servisler	378.182 €
Arazi düzeltmeleri	151.364 €
Yardımcı Faaliyetler	755.909 €
Alan	75.455 €
Endirek maliyetler	
Mühendislik	755.909 €
İnşaat maliyeti	378.182 €
İnşaatçıların payları	378.182 €
Sabit sermaye yatırımları	755.909 €
Beklenmedik olayların payı	8.165.455 €
Çalışma sermayesi	1.225.000 €
Başlama	816.364 €
Toplam Sermaye yatırımı	10.206.364 €
Üretim Tutarları	
CaCl ₂ atık atımı	2.105.000 €
Buhar Sistemi	652.727 €
Bakım	408.182 €
Diğerleri	573.182 €
Toplam Üretim Tutarları	3.739.091 €
PV nakit akışı	11.492.727 €
Kazançlar	
Toplam atık ücreti	3.365.455 €
HCl gazı	701.364 €
Sentez gazı	2.662.727 €
Toplam kazanç	6.729.545 €
Net Kazançlar	
Vergi sonrası net kazanç	9.755.455 €
Amortisman payı	1.434.091 €
PV çalışma sermayesi	302.727 €
PV nakit girişi	11.492.727 €
Net şimdiki değer	0 €
Atık vergisi	67 €
Özellikler	
Yapım ömrü	10
Geri dönüş oranı	% 15
Vergi oranı	% 35
İmalat süresi	3 yıl
HCl gazının fiyatı	136,5 €/ton
Sentez gazının fiyatı	=0,0285 €/Nm ³
CaCl ₂ atığının fiyatı	136,5 €/ton

Her ne kadar yatırım harcamaları % 50 artırılsa da giriş ücreti 100 €/ton'a yükselmektedir. Aynı durum yanabilir atık ile atık yakıcı arasında da vardır.

Sonuç olarak proses teknik olarak uygundur. Toplam atığın % 31'i CaCl_2 atık akımında kütlece % 10'u HCl gazında, geri kalanı da ısıl değeri $8,6 \text{ MJ/Nm}^3$ olan sentez gazına dönüşmüştür. Net kazanım 25 MW'tır.



Şekil 4.14 PVC atık ücreti ile HCl fiyatı ve toplam yatırım arasındaki diyagramlar [12]

Giriş ücreti, azalan nakit akışı yöntemi ile hesaplanmaktadır. Girdiler; PVC atığı 67 €/ton, HCl 140 €/ton ve yatırım maliyeti 10 milyon € dur. Bu giriş maliyeti atık yakma üniteleriyle karşılaştırılırsa düşüktür. Bu da prosesi ekonomik olarak yapılabilir yapmaktadır.

HCl ücreti ile toplam yatırım arasındaki hassaslık araştırılmıştır. Bu hassaslık göreceli olarak düşüktür. Ancak yatırımdaki 5 milyon € luk ($\pm\% 50$) artış 30€/ton olan atık yakım giriş ücretini arttıracaktır.

Proseste önemli fakat varsayım olan noktalar ise;

- 1- Katkıların görülemeyecek etkileri
- 2- Katran ve CaCl_2 nin imal ve türleri ve saflaştırma ile yok etme eklentileridir.

BÖLÜM 5. GAZ ATIKLARDAN ENERJİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

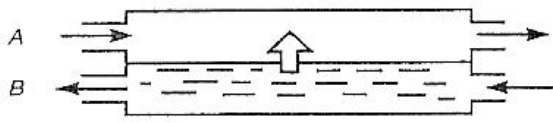
Çeşitli üretimler sonucu meydana gelen atık olarak nitelendirilebilecek bazı gazlar halihazırda yakıt olarak kullanılmaktadır. Bunlar CH₄ (metan) ve H₂ (hidrojen) gibi direk enerji üretiminde kullanılabilir niteliktedir. Bunun haricinde direkt olarak yakıt olarak kullanılmasa da enerji kazanımı için kullanılan atık gazlar vardır. Bunlara örnek olarak baca gazlarını verebiliriz. Baca gazları kimyasal olarak yakıt özelliği taşımaları da fiziksel olarak yanma ürünü oldukları için taşıdıkları ısı yükü yüksektir.

Bu taşıdıkları ısıyı halihazırda atmosfere yaydıkları ısı geçişiyle dağıtmaktadırlar. Bu ısıyı atmosfere dağıtmaktansa ısı değiştiricileri vasıtasıyla çeşitli amaçlarda değerlendirmek üzere kullanabiliriz.

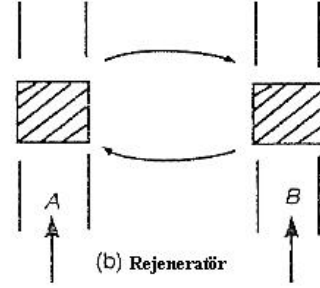
Isı değiştiriciler iki ya da fazla, farklı sıcaklıklardaki akışkanların sahip olduğu ısı enerjisinin aktarılmasını sağlayan araçlardır. Isı değiştiricileri 5 ana sınıfa ayırabiliriz.[13]

Bunlar:

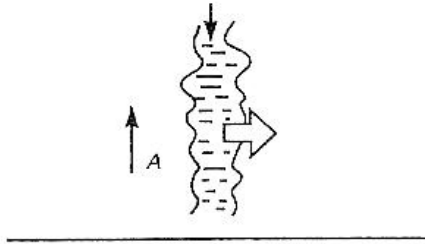
- 1 – Reküperatörler ile rejeneratörler.
- 2 – Isı değişim şekline göre; doğrudan temaslı ve temasın olmadığı.
- 3 – İmalat geometrisine göre; dairesel, plaka ve genişletilmiş yüzeyli.
- 4 – Isı geçiş mekanizmasına göre; tek fazlı akış ve çift fazlı akış.
- 5 – Akışkanın akım durumuna göre; paralel akımlı, karşıt akımlı ve çapraz akımlı.

(i) Rekuperatör - Rejeneratör

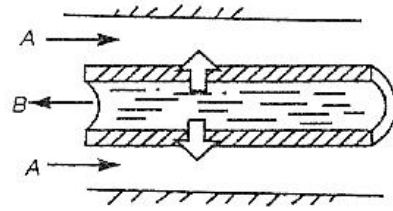
(a) Rekuperatör



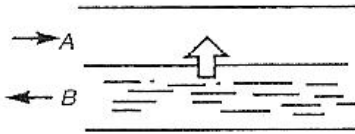
(b) Rejeneratör

(ii) Isı değişim sekline göre

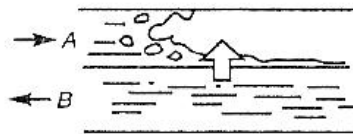
(c) Doğrudan temaslı



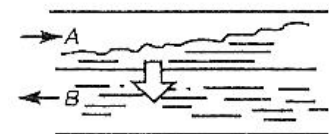
(d) Doğrudan temassız

(iii) Tek fazlı - Cift Fazlı

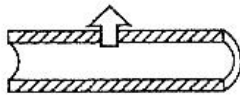
(e) Tek Fazlı



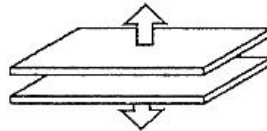
(f) Buharlaşma



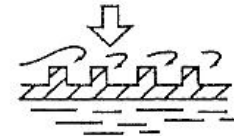
(g) Yoğunlaşma

(iv) Geometrisine göre

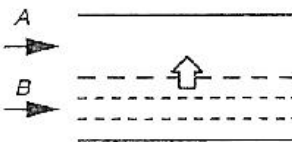
(h) Borulu



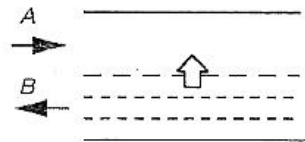
(i) Levhalı



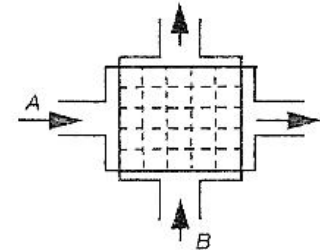
(j) Kanatıklı yüzeyli

(v) Akış yönüne göre

(k) Paralel Akış



(l) Karşıt Akış



(m) Çapraz Akış

Şekil 5.1 Türlerine göre ısı değiştiricileri [14]

5.1. Isı Deđiřtiricisinin Seçim Kriterleri:

Kullanılacak olan ısı değiştiricisinin t¼r¼ seçilmeden ve boyutlandırmadan ¼nce çeşitli krterler dikkate alınmalıdır:

- Kullanılacak olan prosese uygun olmalı ve bir sonraki prosese kadar devam etmelidir, b¼ylece kayıplar en aza indirilmelidir.
- Tesisin fiziksel yapısına uygun olmalıdır. Korozyona karşı dirençli olmalı ve her t¼rl¼ akma ¼nlenmelidir.
- Sistem temizlenme açısından kolay olmalı ve gerektiğinde elemanları değiştirilebilecek yapıda ve kolaylıkta imal edilmelidir.
- Maliyet açısından sisteme en g¼re en verimli yapı seçilmeli ve işletme maliyetleri tesisin yapısına g¼re d¼ř¼k olmalıdır.
- Gerektiğinde ısı değiştiricisindeki yapıların çap, uzunluk ve ağırlık gibi ¼zellikleri değiştirilebilir olmalıdır. B¼ylece gerektiğinde kapasite artırımı veya d¼ř¼m¼ gerçekleştiğinde esneklik sağlanabilmelidir.

BÖLÜM 6. SIVI ATIKLARDAN ENERJİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Çeşitli üretim prosesleri sonucu oluşan sıvı atıklar, birbirleri arasında çok farklı özellikler gösterse de içeriğinde ağır metaller veya bakterilerin yaşamsal faaliyetlerini engelleyecek toksinler içermediği sürece enerji üretimi için kullanılabilirler.

Ayrıca sadece endüstriyel faaliyetler değil insani faaliyetler sonucu ortaya çıkan evsel atık sularda bu amaçla kullanılabilir. Sıvı atıklardan enerji üretimi için çeşitli prosesler mevcuttur. Bu proseslerden en yaygın olanı ise atıkların anaerobik arıtılması sonucu oluşan metan gazının kullanılmasıdır.

6.1. Deney Düzeneği

Deney düzeneğinde 120 mL hacminde 20 adet koyu renkli cam şişe kullanılmaktadır. Bu şişeler ışık almaması için renklendirilmiştir. Bu şişelere çeşitli örnekler konularak içerisinde anaerobik faaliyetlerin gerçekleşmesi sağlanacaktır. Bu reaktör şişeleri sabit 35 ± 2 °C de tutabilmek için su banyosu kullanılacaktır.

Su banyosunun ısıtılıp - soğutulması için termostatlı sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Ayrıca reaktörler içindeki homojenliği sağlamak amacıyla da manyetik çoklu karıştırıcı kullanılmaktadır.



Şekil 6.1 Deney düzeneğinin genel görüntüsü [16]

Çalışmada kullanılan çamurlar evsel arıtma tesisi ve bir bira üretim fabrikasının arıtma tesisinden elde edilmiştir. Bu çamurlardaki metanojenik aktivitenin inhibasyonu için pH 5,5 ve ısıl işlemler sıcaklığı 90 dakika 102 °C’de bekletilerek sağlanmıştır.

Çamurların özellikleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.1 Bira fabrikası anaerobik arıtma çamuru özellikleri [16]

Parametreler	Çamur Özelliği
Askıda katı madde	40,87 g/L
Uçucu askıda katı madde	24,97 g/L
Organik madde (%)	62

Tablo 6.2 Evsel atık su arıtma tesisi anaerobik çamur özellikleri [16]

Parametreler	Çamur Özelliği
Askıda katı madde	35,07 g/L
Uçucu askıda katı madde	18,95 g/L
Organik madde (%)	53

Kullanılan substratların özellikleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.3 Glikozla hazırlanan yapay atık suyun özellikleri [16]

Bileşik	Konsantrasyon (mg/L)
Glikoz	5000
Yeast-ekstraktı	150
Üre	50
K ₂ HPO ₄	78
NaHCO ₃	5000

Tablo 6.4 Peynir altı suyunun özellikleri [16]

Parametre	Birim	Değerler
pH	-	6
Elektriksel İletkenlik	mS	9,28
KOİ	mg/L	52197,2
Çözünmüş KOİ	mg/L	46853,4
Toplam Kjedadhl Azotu	mg/L	163,744
Amonyum Azotu	mg/L	16,8
Protein	mg/L	918,4
Askıda katı madde	mg/L	1332,55
Toplam katı madde	mg/L	49,5
Yağ-Gres	mg/L	276
Klorür	mg/L	3503,85

Reaktörler % 40 ve % 60 aş - atık su oranlarıyla toplamda 80 mL olacak şekilde yapılmıştır. Ayrıca iz elementlerde eklenmiştir. Her bir reaktörün substrat miktarı 5000 mg KOİ/L olacak şekilde ayarlanmıştır. Şişeler mantar aracılığıyla kapatılarak dış ortamla olan alışveriş önlenmiştir. Reaktörlerin içinde homojen bir oluşması için su banyosu karıştırıcının üzerine konulmuştur. Karışım 200 d/dak de sabitlenmiştir.

Üretilen metan miktarı 60 mL lik şırıngalara alınarak buradaki yer değiştirmeye göre hesaplanmıştır. Metan toplanan şırıngalar 0,1 M NaOH ile doldurulmuştur. Üretilen biyogazı gaz kromatografında analiz ederek % CH₄ ve CO₂ miktarları bulunmuştur.

Tablo 6.5 İz elementler [16]

Bileşik	Konsantrasyon (mg/L)
MgSO ₄ 7 H ₂ O	215
CaCl ₂	50
FeSO ₂ 7 H ₂ O	0,75
NiSO ₄ 6 H ₂ O	0,5
MnCl ₂ 4H ₂ O	0,5
ZnSO ₄ 7 H ₂ O	0,5
H ₃ BO ₃	0,1
CoCl ₂ 6 H ₂ O	0,05
CuSO ₄ 5 H ₂ O	0,005
H ₃ PO ₄ 12 MoO ₃ 24 H ₂ O	0,04
KOİ	1015

Gaz ölçümü sırasında ısı iletim detektörü olarak 2 m dolgu kolon ve taşıyıcı gaz olarakta 20 mL dak⁻¹ argon kullanılmıştır. Enjektör sıcaklığı 220 °C ve fırın sıcaklığı 35 °C olarak ayarlanmıştır.

6.2. Deneyin Yapılışı

Deney 3 set halinde yapılmıştır. Birinci sette substrat olarak glikoz içeren sentetik atık su, ikinci sette bir bitkisel yağ sanayinin atık suyu ve üçüncü sette ise peynir altı suyu substrat olarak kullanılmıştır. Deneyde ilk olarak anaerobik çamurun biyokimyasal metan potansiyeli belirlenmiştir. Bunun için çamur 35 °C sıcaklık ve pH 7'de reaktöre beslenmiş ve 15 gün süre boyunca bekletilmiştir. Kontrol reaktörleri ise sadece anaerobik çamur ve iz elementlerle beslenmiştir. Daha sonra

ise substratların anaerobik şartlarda metan dönüşüm potansiyelinin belirlenebilmesi için her biri pH ye ayarlanmıştır.

Reaktörler hacimce 40/40 oranında çamur, substrat karışımı ve Tablo 6.5 deki iz elementleriyle beslenerek 35 °C de kesikli olarak çalıştırılmıştır. 15 günlük bekleme süresi sonunda metan üretme potansiyelleri belirlenmiştir. Her setin sonlandırılmasıyla çıkış suyundaki KOİ ve pH takip edilmiştir.

6.3. Deney Sonuçları

15 günlük bekleme süresinin ardından anaerobik çamurdan metan gazı üretimi gerçekleşmemiştir. Sonuçlar Tablo 6.6’da gösterilmiştir.

Tablo 6.6 Substrat olarak glikoz kullanarak Biyolojik Metan Potansiyeli (BMP) deney verileri [16]

İşletim Koşulları	Değerler	Reaktör Çıkışı Takip Edilen Parametre	Değerler
pH	7	pH	6,8
Sıcaklık	35 °C	Sıcaklık	35 °C
Bekletme süresi	15 gün	Metan	-
Aşı	Evsel atık su arıtma çamuru		
Ön işlem	pH		

Aşılansmış atık suların metan üretim potansiyelleri için ise 35 °C de 15 gün boyunca bekletilmişti ve Tablo 6.5 teki iz elementleri içeren 5000 mg/L KOİ içeriği olan atık su ile beslenmişlerdi. Bu reaktörlerdeki sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.7 Substrat olarak glikoz kullanarak BMP deney verileri [16]

İşletim Koşulları	Değerler	Reaktör Çıkışı Takip Edilen Parametre	Değerler
pH	7	pH	7,2
Sıcaklık	35 °C	Sıcaklık	35 °C
Bekletme süresi	15 gün	Metan	0,44 L CH ₄ /g KOİ
Giriş KOİ	5000 mg/L	Çıkış KOİ	975 mg/L
Substrat	Glikoz	KOİ giderim verimi	% 80,5
Aşı	Evsel atık su arıtma çamuru		
Aşı Oranı (V/V)	40/40		

Tablo 6.8 Substrat olarak glikoz kullanarak BMP deney verileri [16]

İşletim Koşulları	Değerler	Reaktör Çıkışı Takip Edilen Parametre	Değerler
pH	7	pH	7,2
Sıcaklık	35 °C	Sıcaklık	35 °C
Bekletme süresi	15 gün	Metan	0,42 L CH ₄ /g KOİ
Giriş KOİ	5000 mg/L	Çıkış KOİ	632,2 mg/L
Substrat	Glikoz	KOİ giderim verimi	% 87,5
Aşı	Bira fabrikası arıtma çamuru		
Aşı Oranı (V/V)	40/40		

Tablo 6.9 Substrat olarak peynir altı suyu kullanarak BMP deney verileri [16]

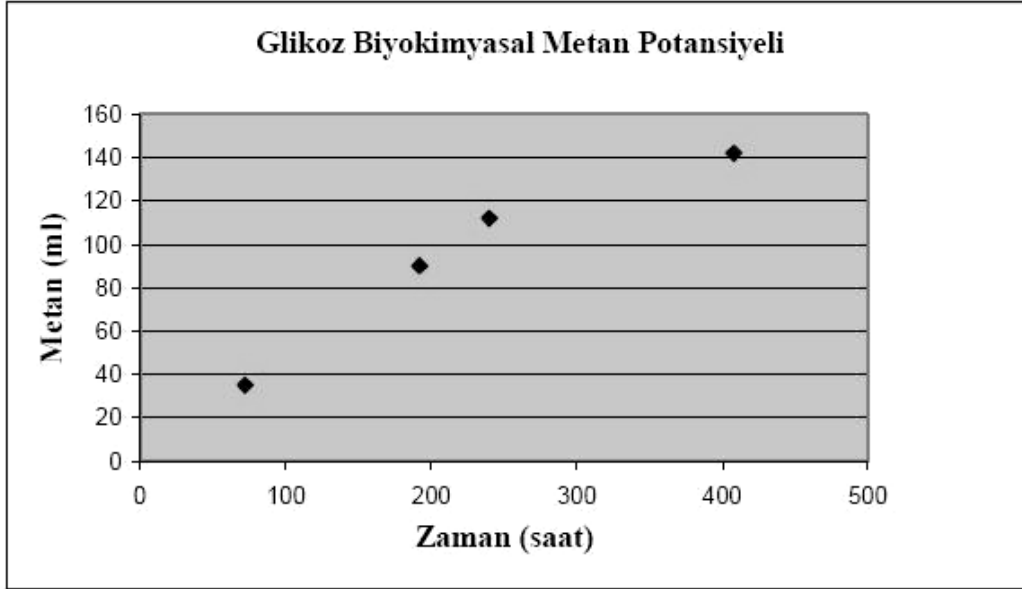
İşletim Koşulları	Değerler	Reaktör Çıkışı Takip Edilen Parametre	Değerler
pH	7	pH	7,4
Sıcaklık	35 °C	Sıcaklık	35 °C
Bekletme süresi	15 gün	Metan	0,37 L CH ₄ /g KOİ
Giriş KOİ	5000 mg/L	Çıkış KOİ	466,8 mg/L
Substrat	Peynir altı suyu	KOİ giderim verimi	% 90,66
Aşı	Evsel atık su arıtma çamuru		
Aşı Oranı (V/V)	40/40		

Tablo 6.10 Substrat olarak bitkisel yağ sanayi atık suyu kullanarak BMP deney verileri [16]

İşletim Koşulları	Değerler	Reaktör Çıkışı Takip Edilen Parametre	Değerler
pH	7	pH	7,6
Sıcaklık	35 °C	Sıcaklık	35 °C
Bekletme süresi	15 gün	Metan	0,54 L CH ₄ /g KOİ
Giriş KOİ	5000 mg/L	Çıkış KOİ	1695 mg/L
Substrat	Bitkisel yağ sanayi atık suyu	KOİ giderim verimi	% 66,1
Aşı	Evsel atık su arıtma çamuru		
Aşı Oranı (V/V)	40/40		

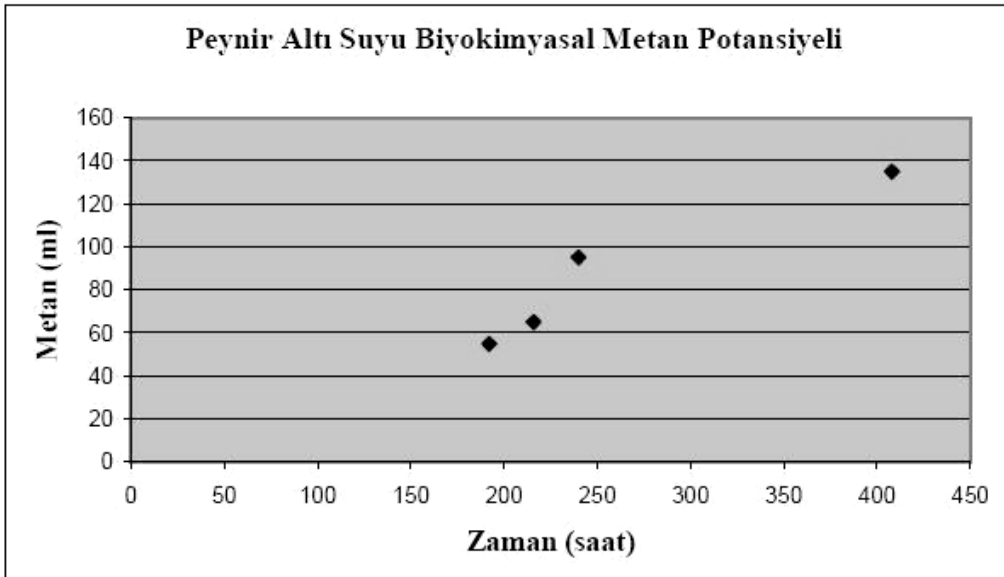
Tablolardan da görüleceği üzere atık sulardaki organik yüklerin metana dönüşmesi yüksek seviyededir ve bu metan enerji kaynağı olarak kullanılabilir düzeydedir.

Son olarak substratların metan üretme kapasiteleri ve zamana göre değişimleri için pH 7'de 15 gün boyunca kesikli çalıştırılan reaktörde işletilmişlerdi. Bu reaktörlerden çıkan sonuçlarda aşağıdaki gibidir.

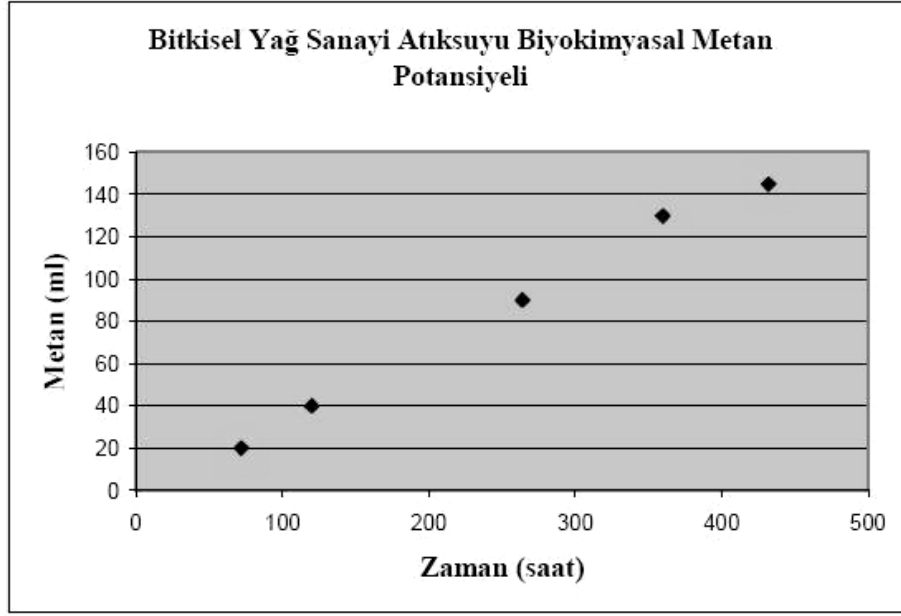


§

Şekil 6.2 Glikozun biyokimyasal metan potansiyeli [16]



Şekil 6.3 Peynir altı suyunun biyokimyasal metan potansiyeli [16]



Şekil 6.4 Bitkisel yağ sanayi atık suyunun biyokimyasal metan potansiyeli [16]

Sonuç olarak içeriğinde organik maddeler bulunduğu sürece, bakterilerin yaşamsal faaliyetlerini etkilemeyen her türlü sıvı atık ile metan gazı elde etmek mümkündür.

Bu oluşan metan gazını çeşitli yanma reaksiyonları ve buhar çevrimlerinde kullanmak suretiyle ısı, elektrik ve mekanik enerji elde etmek mümkündür.

BÖLÜM 7. ATIKLARIN BERTARAFI SONUCUNDA METAN DIŞINDA ELDE EDİLEN ENERJİ KAYNAKLARI

Çeşitli atıkların bertarafı sonucunda sentez gazı ve biyogaz olarak elde ettiğimiz enerji kaynağı genel olarak metan gazıdır. Metan gazı haricinde farklı prosesler uygulanarak değişik türlerde enerji kaynakları elde etmek mümkündür. Bu enerji kaynakları metanol, etanol ve hidrojen örneklerindeki gibi farklı formlarda bulunabilmektedir.

Enerji kaynağının seçiminde en önemli etken bu kaynağın kullanılacağı alan, kaynağın depolanabilme imkanları ve kaynağın işleneceği proseslerdir. Bu kaynakların fiziksel halleri depolamayı direkt etkileyen bir unsurdur.

Ayrıca kaynakların kullanımında ısıl değerleri ve fiziksel özellikleri, termodinamik özelliklerine göre yanma prosesindeki termodinamik çevriminde direkt olarak etkilenmektedir.

7.1. Organik Atık Arıtımında Hidrojen ve Elektriksel Enerji

Biyokütlelerin ve organik atıkların enerjiye çevrilme ve biyoparçalanabilirlik özellikleri çok yüksektir. Geleneksel olarak biyogaz yakıtları içten yanmalı motorlarda elektrik üretimi için kullanılırlar. Ancak yenilikçi teknoloji olarak organik atık materyallerinin anaerobik parçalanması sonucu çıkan metan hidrojene çevrilebilir. Böylece bu enerji yakıt hücrelerine gönderilerek daha yüksek verim elde edilebilir ve gaz emisyonları düşürülerek çevresel faydalar sağlanabilir. Proseslerden çıkan katı materyaller ise organik gübre olarak değerlendirilebilir ki geniş şekilde kullanılan kimyasal gübrelerin yerini alabilecek seviyededir.

Gelişmenin öğelerinden önemli birkaçı atık yönetimi, enerji yönetimi ve kırsalların gelişme planıdır. Bu bakımdan kırsal yerlerde bu planların yerinde planlanması önemlidir. Bu sistemle organik maddelerin geri dönüşümü sağlanıp enerji ihtiyacı için de hidrojen ve elektrik üretilecektir.

Anaerobik Parçalanma: Anaerobik parçalanma (AD) doğal bir olaydır ve oksijene ihtiyaç duyulmamaktadır. Organik maddelerin bakteriler tarafından parçalanması sonucu zengin biyogaz ve sıvı-katı lifli materyaller elde edilir. Üretilen biyogazın % 60'ı metandır ve CO₂ ile az miktarda H₂S (hidrojen sülfür) ve NH₃ (amonyak) içerir. Metanın atmosferde parçalanması daha fazla zarara yol açar.

Atık İçeriği: Biyogaz alanın ve yakıt hücre bağlantılarının dizaynı atığın bulunduğu yerden taşınmasına göre yapılmıştır. Tablo 7.1'de atığın içerdiği kuru katılar (DS) ve uçucu katılar (VS) bulunmaktadır.

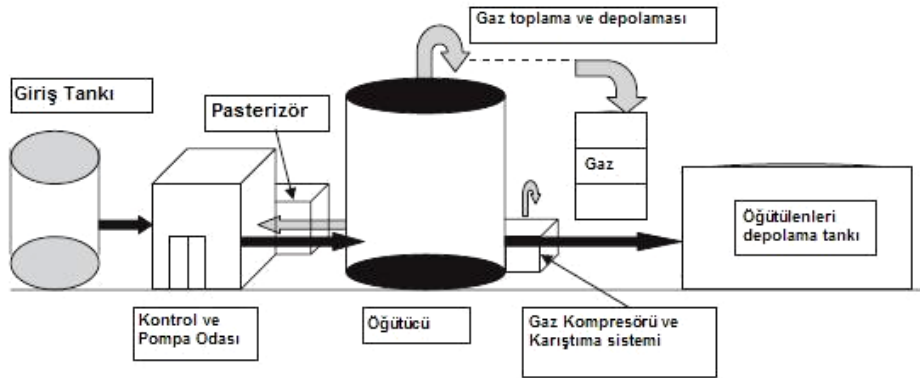
Tablo 7.1 Atık içeriği [17]

Kaynak	Yıl başına ton	% DS	Yıl başına ton	% VS	Yıl başına VS tonu
Kesimhane	62	15	9	90	8
Deniz Tarımı	350	10	35	90	32
Kara tarımı	3000	8	240	77	185
Yemek Artıkları	50	22,5	11	92,5	10
Yemekhane Mutfakları	300	22,5	68	92,5	62
Ev Mutfakları	300	22,5	68	92,5	62
Kanalizasyon	3000	5	150	80	120
Enerji Mahsulleri	1200	20	240	89	214
Toplam	8262	125,5	821	8703,5	

Biyogaz Teknolojisi: AD bakterilerin organik içerikleri enzimsel reaksiyonlarla metan ve basit organik bileşiklere çevirdiği biyolojik bir prosestir. Bu 3 aşamadan

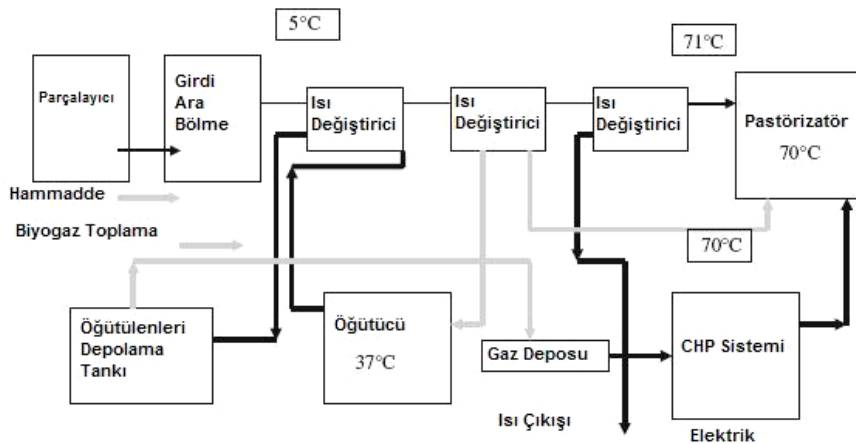
oluşur. Bunlar hidrosis, asidojenesis ve metanojenesistir. Bu aşamalarda çeşitli parametreler önem arz etmektedir. Bunlar PH, sıcaklık, DS içeriği, bekleme süresi, organik yükleme oranı, Karbon–Azot oranı ve karıştırmadır.

Biyogaz Teknoloji Seçenekleri: Şekil 7.1’de biyogaz alanı gösterilmiştir. Son günlerde 2 aşamalı parçalanma havuzları yaygınlaşmıştır. Bu sistem PH kontrolünü kolaylaştırır. Deneyde ideal olarak kolay parçalanabilen meyve ve sebze atıklar kullanılmıştır. Parçalayıcılar sürekli kaynayan tek reaktördür ve bu sistem yüksek nem içeren atıklar için uygundur.



Şekil 7.1 AD sisteminin genel yapısı [17]

Biyogaz Alan Dizaynı ve Enerji Hesaplamaları: Genel dizaynın metodolojisi ve proses ile ısı akışı Şekil 7.2’de gösterilmiştir.



Şekil 7.2 Tipik bir AD sistemi için proses ve ısı akış diyagramı [17]

Biyogaz Verimi: Biyogaz hesapları Tablo 7.1’de verilen atık içeriğine göre yapılmıştır. Bu hesaplamalar benzer DS ve VS içeriği olan materyallerle aynı verimdedir. Sistem analizi Şekil 7.2’de verilerek bölümlere ayrılmıştır.

Biyogaz alanı Şekil 7.3’te gösterilmiştir. Dizayn şu anda kullanılan çiftlik ve tarımsal alanlara uygun yapılmıştır. Yapım maliyetleri kısa sürede kendini amorti etmektedir.



Şekil 7.3 Biyogaz alanı temel yapıları [17]

Enerji Verimi: Hesaplanan enerji verimleri 1890 kg/gün DS ve 1560 kg/gün VS içindir. Enerji değeri olan metan 890,3 kJ.mol lük metandan hesaplanıp değeri 11,04 kWh/m³tür. Enerji verim dağılımı Tablo 7.2’dedir.

Tablo 7.2 Enerji verim hesaplaması [17]

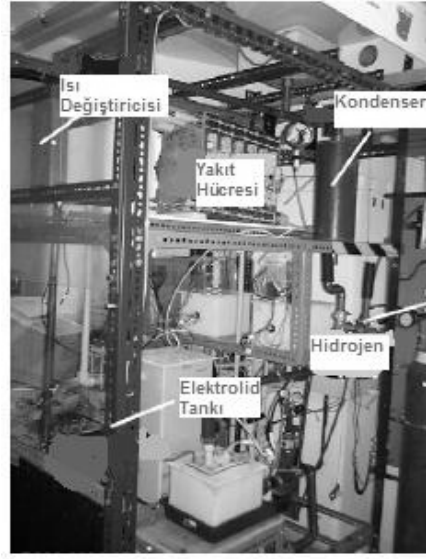
Biyogaz Üretimi	717,6 m ³ /gün
Metan Üretimi (% 60)	430,56
Enerji Verimi (1 lı04 kWh/m ³ metan)	4753,3 kWs/gün
Yanma motoru elektriği	1663,65 kWs/gün
CHP üretimi (% 35)	
Isı üretimi (% 50)	8555,4 kWs/gün
Proses Isı İhtiyacı	3788,82 MJ/gün
Isı üretim fazlası olanağı	4766,582 MJ/gün veya 483 MWS/yıl
Yıllık elektrik üretimi	545,2 MW/yıl

Maliyetin % 5'i işletme giderleri olarak ayrılmalıdır. Bu giderler parça değişimi, sigorta, taşıma maliyetleri ve lisans vergileridir.

Yakıt Hücre Sistemi: Alkalin bazlı FC (AFC) kombine ısı ve güç ünitesi (CHP) olan sistem Sgriob-Ruadh peynir yapma alanında kullanılmaktadır.

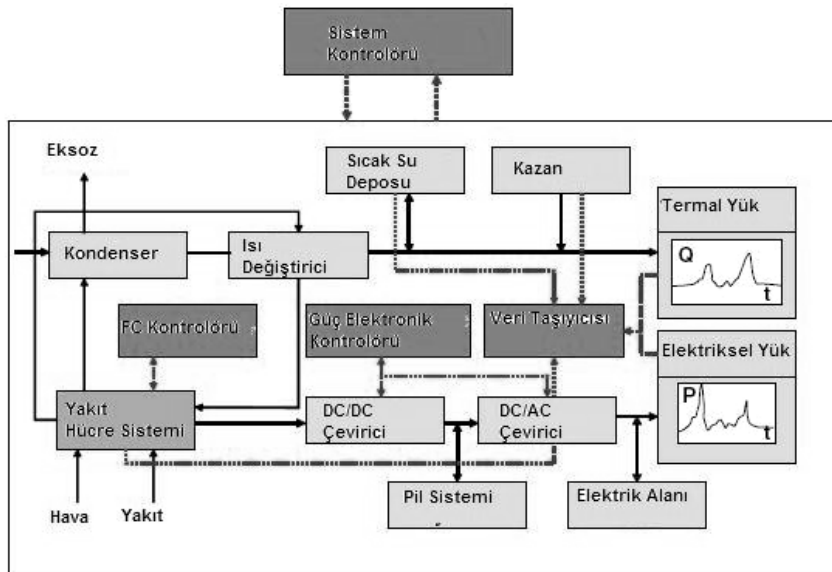
AFC teknoloji diğer yakıt hücre sistemlerine karşın proton değişim membranı (PEM) gibi açık avantajlara sahiptir. PEM in avantajı dışarıdaki kullanımlarında düşük donma noktası ve potasyum hidroksit elektrolite sahip olmasıdır (~ 50 °C).

FC ünitesi metandan direk olarak hidrojen eldesi ile doldurulabilir. Labratuar bazlı alkalin yakıt hücresi Şekil 7.4'tedir. FC nin hibrit düzenlenmesinde CHP ünitesi elektriğe ihtiyaç duyabilmektedir.

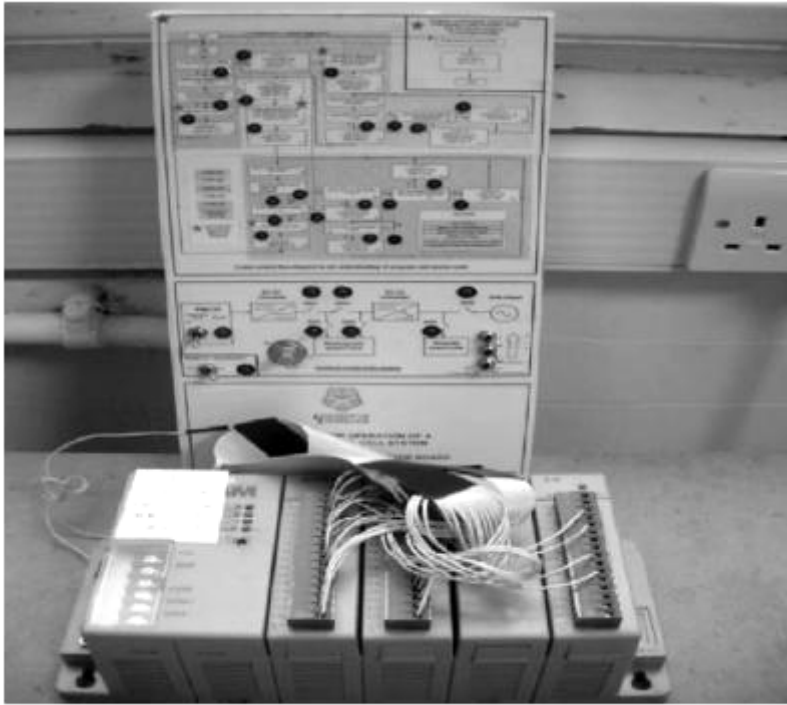


Şekil 7.4 Laboratuvar tipi alkalın yakıt hücresi [17]

Pilli Hibrid Yakıt Hücre Sistemi: 2,4 kW_e alkalın yakıt hücreli CHP sistemi ile kurşun asit pilli enerji depolama sistemi Şekil 7.5'te gösterilmiştir. Yakıt hücre – pil hibrid sistemi yenilenebilir güç jeneratörü ile uygun bir inverter yardımıyla bağlanacaktır. Pil yönetim sistemi anlık şarj durum monitörüne bağlanmaktadır. FC ünitesinin integral fonksiyonu ile kontrol edilmektedir. Bu ünite Şekil 7.6'da gösterilmiştir. Yakıt hücre ünitesi ana yükleme durumunda elektriksel güç üretecektir ve elektriksel güç ihtiyacı < 2,4 kW_e olduğunda pil yeniden şarj edilecektir.

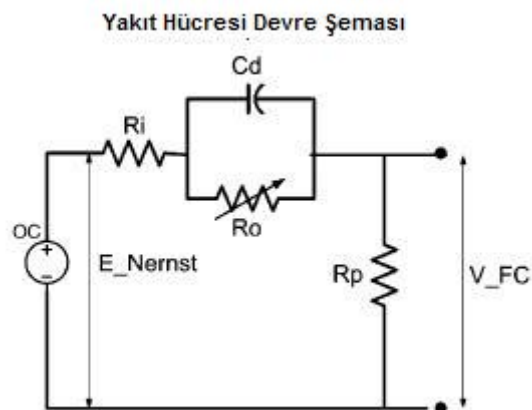


Şekil 7.5 AFC CHP ünitesinin şeması [17]



Şekil 7.6 Hibrid yakıt hücresinin kontrolörü [17]

Yakıt Hücresinin Elektriksel Karakterisasyon Modeli: Alkalin yakıt hücresinin denk devre modeli Şekil 7.7’de gösterilmiştir. Buradaki Nernst voltajı kontrol edilen voltaj kaynağı ve reaksiyon türlerinin kısmi basıncını temsil etmektedir. Yakıt hücresinin iç direnci R_i , Ohmic direnç ve her iki elektrodun elektriksel dirençlerini temsil etmektedir. Parazitik kayıplarda paralel resistor R_p temsil edilmektedir.



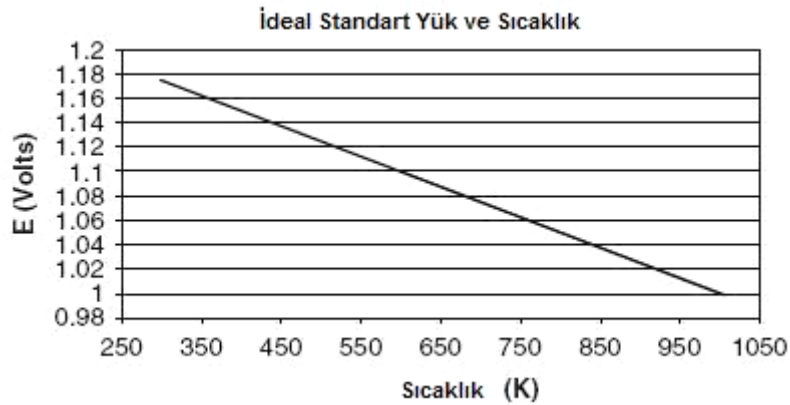
Şekil 7.7 Yakıt hücresinin devre modeli [17]

Yığın dinamik davranışı ise 3 dinamik proses tarafından yönlendirilmektedir. Bunlar elektro kinetikler, yakıt hücresindeki reaktan ve ürünlerin kütle taşınımı yakıt hücresinin çift katmanlı kapasitesidir.

Bu etkiler paralel RC dalları kullanarak geçilmektedir. Çift katma kapasitesi C_d sabit bir değere sahiptir ve elektrotların fiziksel yapılarına dayanır.

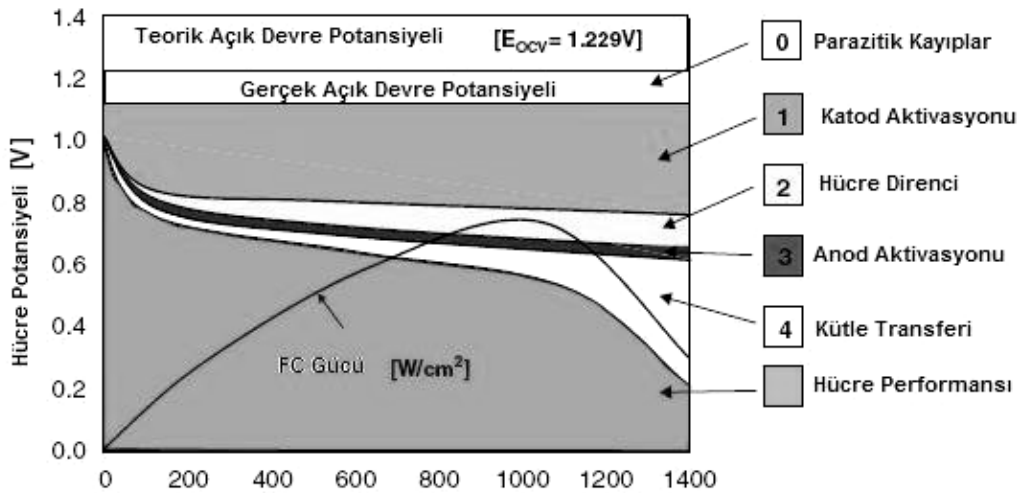
Modelde elektro kinetiklerin ve kütle transferinin etkileri belirli bir resistör R_o ile temsil edilmektedir.

Bazı Basit Öngörüler: Hücresinin devresinin açık durumdaki sıcaklığının lineer yaklaşım fonksiyonu Şekil 7.8’de gösterilmiştir.



Şekil 7.8 İdeal standart yük ve sıcaklık diyagramı [17]

AFC Elektriksek kayıplar: Teorik EMF gerçekte ulaşamaz çünkü çeşitli geri dönüşü olmayan kayıplar vardır. Bunlar aktivasyon kayıpları, ohmic kayıplar ve konsantrasyon kayıplarıdır. Bu kayıplar Şekil 8.9’da gösterilmiştir.



Şekil 7.9 Tek bir hücre için ideal yakıt hücresinin voltaj devre karakteristiği [17]

Sonuç olarak yerel organik atıkları, alan doldurma yerine hidrojen ve yakıt hücre sistemi ile değerlendirme denenmiştir. Bu sistem diğer sistemlere göre fazla yatırım maliyetine sahiptir.

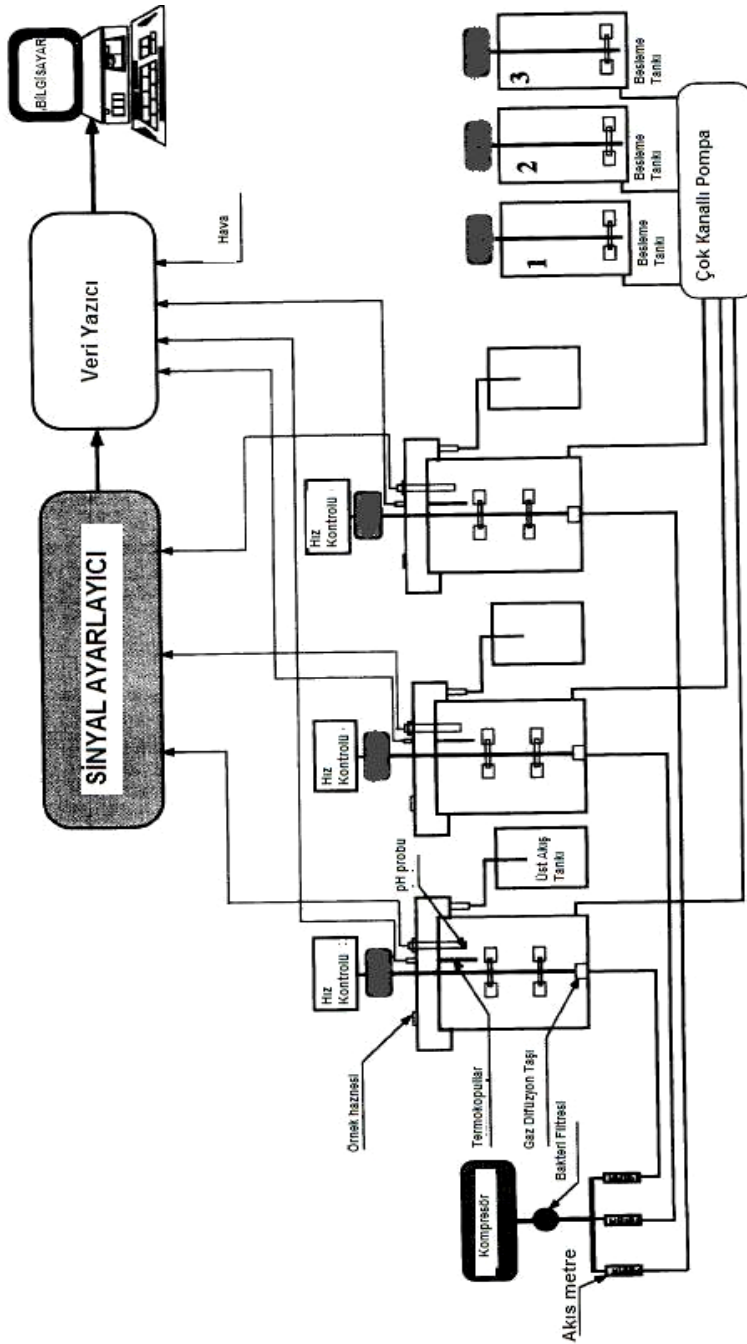
7.2. Peyniraltı Suyundan Sürekli Sistemde Etanol Üretimi

Son yıllarda etanol petrolün yerine alternatif yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır. Etanol elde edilmesi için şeker içeren tarımsal faaliyetlerinin ve yiyecek üretiminin artıkları kullanılabilir. Üretim ekonomisinde büyük yerleri olan bu endüstrilerin atıkları da etanol edilmesinde kullanılarak hem enerji elde edilmesi hem de bu atıkların bertarafı gerçekleştirilmiş olur.

Sürekli fermantasyonlu sistemlerde hücre konsantrasyonu ve üretim çeşitliliği oranı kontrol edilebilmekte ve istenilen seviye ayarlanabilmektedir. Matematiksel modelleme ile hücre konsantrasyonun akış parametreleri substrat faydalanma oranı ve etanol üretim oranı tahmin edilebilmektedir. Bu sayede üretim için optimum seçenekler bulunabilmektedir.

Ayrıca dört adet faktör (substrat limiti, substrat ve üretimin inhibasyonu ve hücre ölümleri) modellemeyi etkilemesine karşın etkileri eş zamanlı bilinmemektedir.

Deney Sistemi: Deney seti Şekil 7.10’da gösterilmiştir. Her biri 5 L hacminde olan 3 adet sürekli biyoreaktör kullanılmıştır. Peyniraltı suyu sistemi 3 adet depoya bağlı bir adet pompa beslemesi ve 3 adet yüzey akış tankından oluşmaktadır. Veri akış sistemi 24 kanallı vericiyle sağlanmaktadır. T tipi termoelemanlar veri kaydediciye direk olarak bağlıdır ve pH probunu sinyal sınırlandırıcı ünitesine bağlıdır.



Şekil 7.10 Deney setinin şeması [18]

Peynir altı suyu 60 L'lik plastik kaplar ile temin edilmektedir. Kapalı kaplar – 25 °C de mikrobik ve enzimik faaliyetler engellenerek taşınmaktadırlar. Kullanılacak konteynırlar buzdolabından çıkarılıp oda sıcaklığında bekletilmektedirler. Peynir altı suyunun karakteristik özellikleri Tablo 7.3'de gösterilmiştir.

Tablo 7.3 Peynir altı suyunun karakteristiği [18]

Karakteristik	Ölçülen Değer	Birim
Toplam Katılar	68300	mg /L
Stabil Katılar	6750	mg /L
Uçucu Katılar	61550	mg /L
Uçucu Katıların Yüzdesi	90,1	
Askıda katılar	25150	mg /L
Askıda Stabil Katılar	220	mg /L
Askıda Uçucu Katılar	24930	mg /L
Askıda Uçucu Katıların Yüzdesi	99,1	%
Toplam Kjeldahl Nitrojen	1560	mg /L
Amonyum N	260	mg /L
Organik N	1300	mg /L
Organik N Yüzdesi	83,3	%
Toplam Kimyasal Oksijen İhtiyacı	81050	mg /L
Çözülebilir KOİ	68050	mg /L
Çözülemez KOİ	13000	mg /L
Çözülebilir KOİ Yüzdesi	85	%
Laktoz	50	mg /L
pH	4,9	

Maya olarak *Candida pseudotropicalis* bakterileri kullanılmıştır. Maya kültürü susuzlaştırılarak üreme tepeğine konularak 3 gün boyunca 26 °C'de çoğalmaya bırakılmaktadır. Daha sonra mayalar 250 mL'lik şişelerdeki 100 mL'lik pastörize edilmiş peynir altı suyuna dahil edilmektedir.

Bu işlemden sonra şişelerin etrafı pamuk ile kaplanarak 200 d/dak hızla dönen 26 °C'deki inkübütöre 48 saatliğine bırakılmaktadır. Şişelerden çıkan maya kültürü büyük bir steril kabın içine konularak karıştırılırlar. En son olarak reaktörlerin her birine 480 mL (% 10 hacim / hacim) aşı konularak aşılanırlar.

Deneyin Mekanizması: Üç laktoz konsantrasyonu (50, 100 ve 150 gr/L) ile beş hidrolik bekleme süresi (18, 24, 30, 36 ve 42 saat) için deneyler yapılmaktadır. Uygun laktoz seviyesine göre laktoz miktarları ayarlanmış ve daha sonradan her biri 4,32 L olacak şekilde peynir altı suyu eklenmiştir.

Peynir altı suları sterilize edilmiş şişelerde konsantre edilmek üzere geçirgen olmayan pamuk tıkaç ve alüminyum folyo ile kaplanır. Boş olan şişeler ise otoklavda 20 dakika boyunca 121 °C'de sterilize edilmektedir (103,4 kPa).

İçinde peynir altı suyu bulunan şişeler 45 dakika 75 °C'de su bulunan kapta bekletildikten sonra 30 dakika buz banyosu yaptırılır. Bundan sonra oda sıcaklığında 24 saat bakterilerin üremesi için bekletilir. Bu ısıtma soğutma işlemi 3 kez tekrarlanmalıdır. Kullanılmayan şişe ve peynir altı suları kullanılana kadar 4 °C'de buzdolabında bekletilmelidir.

Biyoreaktör ve karıştırma elemanları % 2 potasyum metabisülfid solüsyonu ile sterilize edilir. Kimyasal kalıntısı kalmayana kadar bu elemanlar tekrar tekrar yıkanmalıdır ve sonrasında 30 dakika kızıl ötesi radyasyona bırakılır. Kullanılana kadar steril plastik poşetler içinde bekletilir.

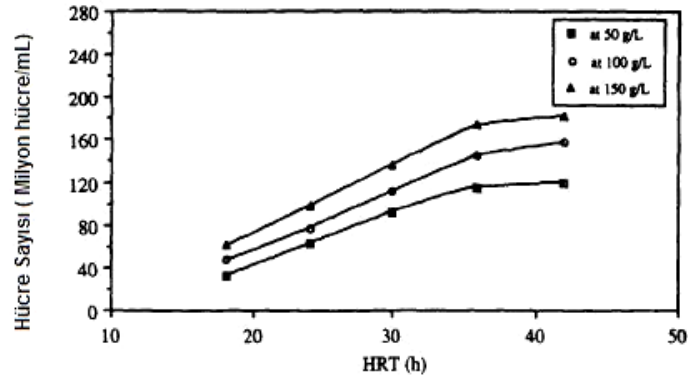
Peynir altı suyu olan steril şişeler kullanılmadan önce 6 saat laboratuvar sıcaklığında bekletilir. Her biri 4,32 L olacak şekilde 50, 100, 150 gr/L laktoz içerikli olarak reaktöre yerleştirilirler. Her bir reaktöre 1600 mg maya içerecek şekilde maya

konulur. Her reaktöre 480 mL aşı ile çalışma hacmi 4,8 L olacak şekilde aşılanır. Bu aşamadan sonra karıştırıcılar 300 d/dak ile dönerler. Akış metre ile akış oranı 1,9 mL/min olacak şekilde çalışmaya başlatılır. Böylece hidrolik bekleme süresi 42 saat olacaktır.

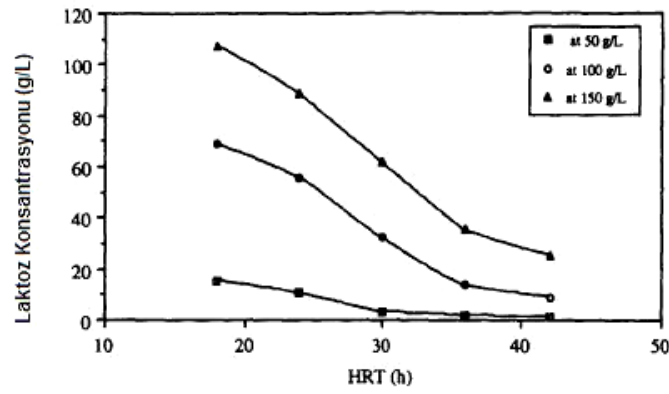
Bilgisayar aktive edilerek veri akışına başlanır. Reaktörler stabil duruma geldiğinde 3 gün boyunca 12 saat aralıklarla numuneler alınır. Şeker analizi amacıyla laktoz konsantrasyonu hesaplanır. Gaz kromatografi kullanılarak etanol konsantrasyonu hesaplanır. Dehidrojenize aktivitesine göre hücre sayısı hesaplanır.

Deneyin Sonuçları: Belirlenen hidrolik bekleme süresi ve substrat konsantrasyonu için pH 4,1 ile 4,7 sıcaklık ise 29,2 – 31,6 °C arasında değişmektedir. *Candida Pseudotropicalis* bakterisinin peynir altı suyundan etanol üretimi için optimum pH'ı 4,5 ve optimum sıcaklığı 30 °C'dir.

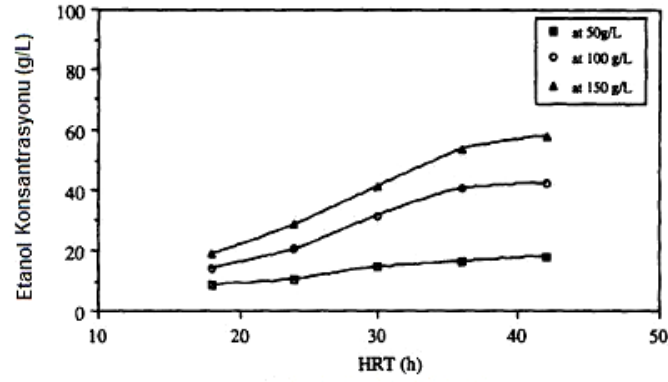
Şekil 7.12 ve Şekil 7.13 arasında çeşitli laktoz konsantrasyonları için hidrolik bekleme süresinin hücre, laktoz ve etanol konsantrasyonlarına etkileri gösterilmiştir. Hidrolik bekleme süresini 18 saatten 36 saate çıkarmak hücre sayısını 50 g/L'lik örnekte 32 milyondan 115 milyona, 100 ve 150 g/L örneklerde sırasıyla 46 milyondan 145 milyona ve 60 milyondan 174 milyona çıkarmaktadır. Hidrolik bekleme süresini 36 saatten 42 saate çıkarmak ise ancak ufak bir artışa neden olmaktadır. Kısa hidrolik bekleme süresinde daha az hücre konsantrasyonu olması hücrelerin yıkanma sorunundan kaynaklanmaktadır. Hidrolik bekleme süresini azaltmak atık sudaki laktoz konsantrasyonu da artmaktadır.



(a) Hücre Konsantrasyonu



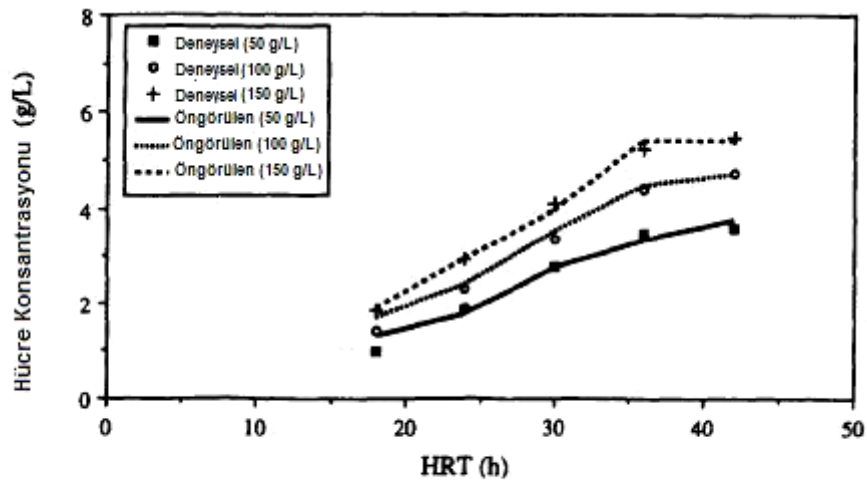
(b) Laktoz Verimi



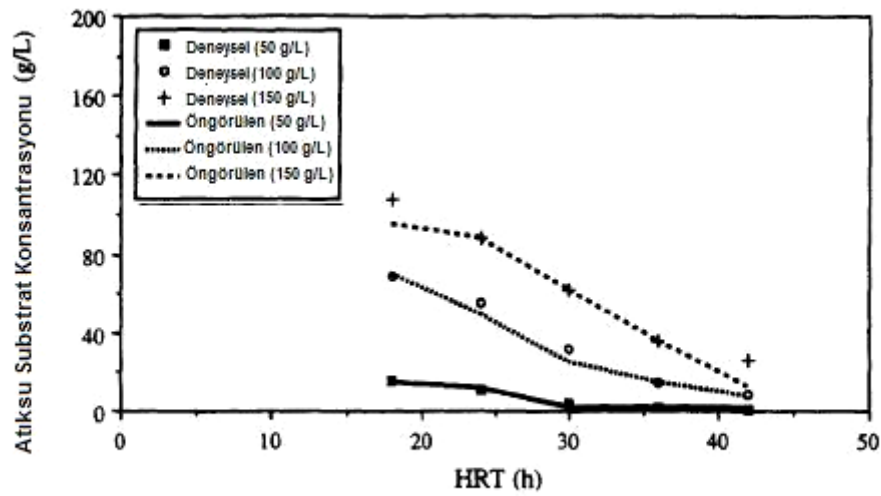
(c) Etanol Konsantrasyonu

Şekil 7.11 Değişik substrat konsantrasyonlarında bekleme süresinin (a) Hücre konsantrasyonuna, (b) Laktoz verimine ve (c) Etanol konsantrasyonuna etkileri [18]

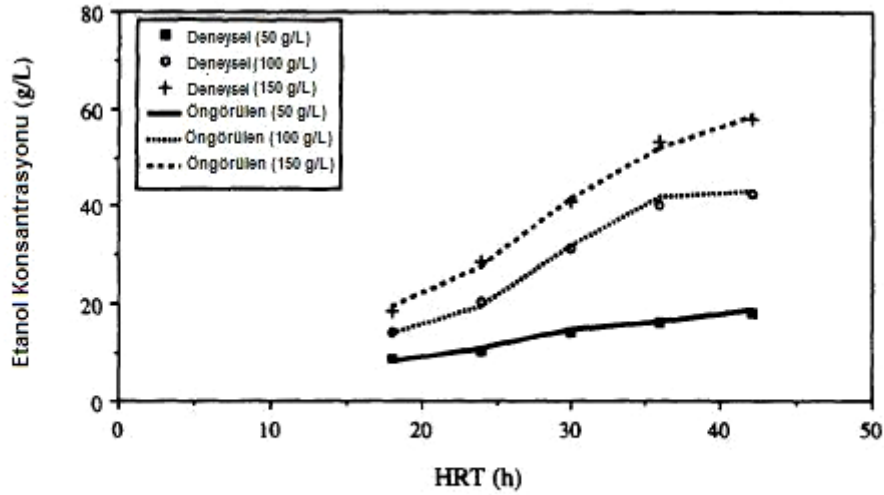
50 ve 150 g/L'lik aşırıyla aşılınmış sürekli fermantasyonda substrattan faydalanma oranı % 38 – 80 arasındadır. 42 saatten fazla olan bekleme sürelerinde ise bundan daha fazladır (% 83 – 98).



Şekil 7.12 Değişik substrat konsantrasyonları ve hidrolik bekleme süreleri için hücre konsantrasyonunun deneysel ve öngörülen değerleri [18]



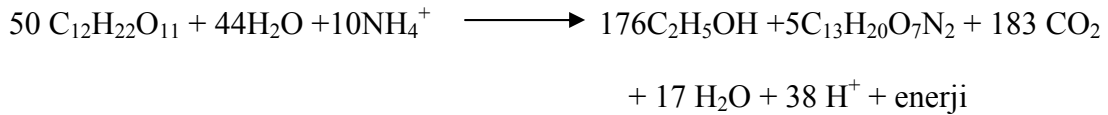
Şekil 7.13 Değişik substrat konsantrasyonları ve hidrolik bekleme süreleri için atıksu substrat konsantrasyonunun deneysel ve öngörülen değerleri [18]



Şekil 7.14 Değişik substrat konsantrasyonları ve hidrolik bekleme süreleri için etanol konsantrasyonunun deneysel ve öngörülen değerleri [18]

Aşılana laktöz konsantrasyonunu 50 g/L'den 150 g/L'ye çıkarmak atık sudaki laktöz miktarını % 2 den % 17 ye yükseltmektedir. Hidrolik bekleme süresini yükseltmek etanol üretimini yükseltmektedir. Maksimum etanol konsantrasyonu 42,4 g/L ile 100 g/L'lik aşılı örneğin 42 saat beklediğinde elde edilmektedir.

Mikro havalandırma yapılması ile etanol üretimini değiştirmektedir. Ufak bir hava değişiminin etanol fermantasyonu için büyük etkileri olmaktadır. Havasız ortama göre havalandırılmalı mikro sistem % 25 daha verimlidir. Deneyin gerçekleşme formülü aşağıdaki gibidir.



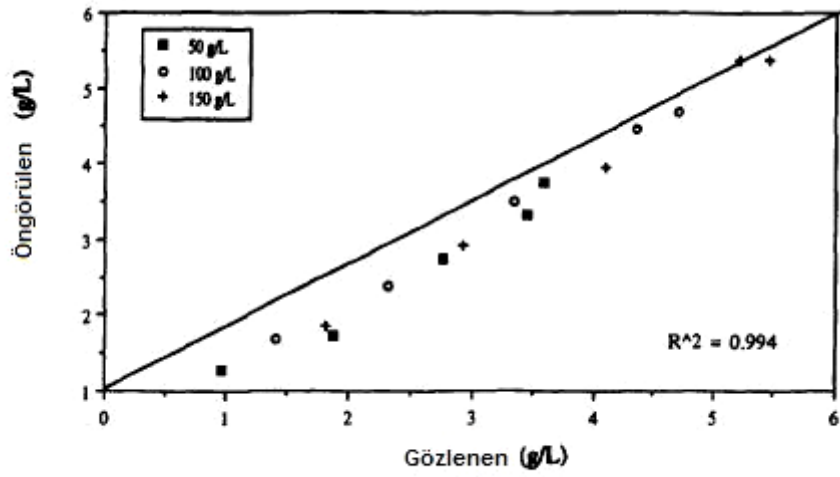
Tablo 7.4'de sistemin kinetik parametreleri yer almaktadır.

Deney sistemi bilgisayar yardımıyla Runge-Kutta denklemlerinde yerine konulursa ortaya çıkan ve öngörülen değerler aşağıda gösterilmiştir.

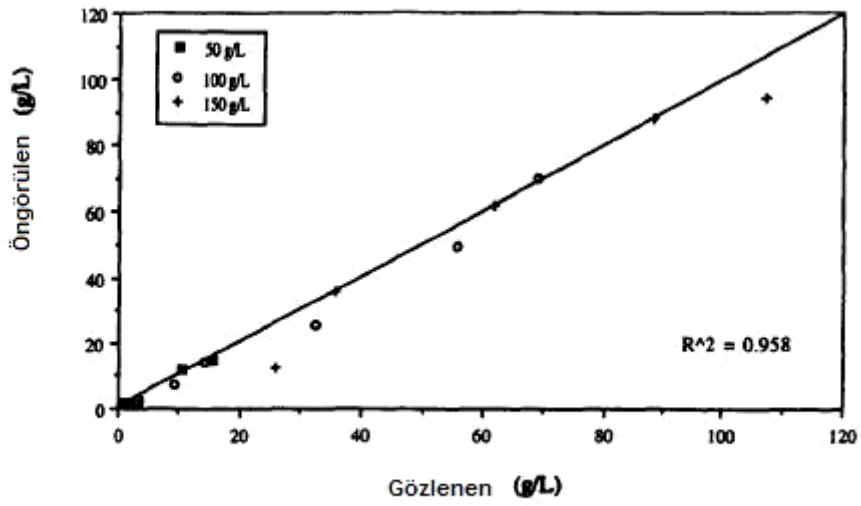
Tablo 7.4 Kinetik Parametreler [18]

Substrat Konsatrasyonu (g/L)	Hidrolik Bekleme Süresi (h)	m_s (h^{-1})	Y_{xs} (g hücre / g laktoz)	Y_{ps} (g etanol / g laktoz)
5	18	3,5	0,028	0,252
	24	3,67	0,048	0,264
	30	4,32	0,059	0,311
	36	4,68	0,072	0,337
	42	5,13	0,072	0,369
10	18	6,31	0,045	0,454
	24	6,44	0,052	0,466
	30	6,47	0,049	0,469
	36	6,51	0,051	0,467
	42	6,59	0,051	0,439
15	18	6,1	0,0425	0,462
	24	6,42	0,0468	0,465
	30	6,46	0,0465	0,467
	36	6,49	0,0456	0,471
	42	6,54	0,0439	

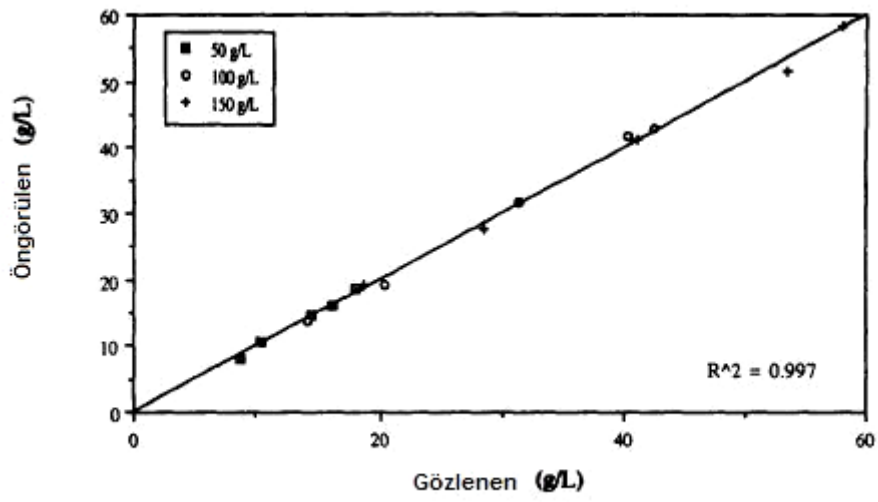
Sistemin hücre, laktoz ve etanol konsantrasyonları sırasıyla $R^2 = 0,994$, $0,958$, $0,997$ 'dir. Bu da modelin deneysel sonuçlara yüksek oranda uyduğunu göstermektedir.



Şekil 7.15 Gerçek ve öngörülen hücre konsantrasyonu değerlerinin karşılaştırılması [18]



Şekil 7.16 Gerçek ve öngörülen substrat konsantrasyonu değerlerinin karşılaştırılması [18]



Şekil 7.17 Gerçek ve öngörülen etanol konsantrasyonu değerlerinin karşılaştırılması [18]

BÖLÜM 8. ORTA ÖLÇEKLİ BİR SÜT TESİSİNİN ATIK PEYNİR ALTI SUYUNDAN ENERJİ ELDE EDİLMESİ

Gıda sektöründeki ana üretimlerinden biride süt endüstrisidir. Türkiye’de de üretim endüstrilerinde önemli bir yere sahiptir. Bu sektörün üretimde önemli bir yer kaplaması aynı zamanda bir dezavantajda meydana getirmektedir. Bu dezavantaj buradan çıkan atıkların yüksek kirliliğe sahip olması ve miktar olarak fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bu atıkların bertaraf edilmesi için çok fazla miktarda çalışmalar yapılmaktadır. Ancak sadece bertaraf amacı ile kullanımı çok değerli bir enerji kaynağı olan bu atıkların ziyanına yol açmaktadır.

Bu ziyanı ortadan kaldırmak amacıyla hem arıtma sağlayacak hem de enerjiye kazancı sağlayacak teknolojilerde mümkündür. Bu teknolojilerden biride bu peynir altı suyu atıklarının anaerobik arıtma ile arıtılarak bu prosesin bir ürünü olarak çıkan biyogazdaki metanı kojenerasyon teknolojisi kullanarak hem elektrik hem de ısı enerjisi elde etmektir.

Bu amaçla da en başta ne tür bir proses sonuncunda peynir altı suyu çıktığını ele almalıyız. Bir süt tesisinde çok çeşitli üretimler olmasına karşın en çok üretilen ürünler olan beyaz peynir ve kaşar peynir üzerinde durmalıyız. Çünkü giren sütün kültürlü beyaz peynir yapıldığında hacimce % 80’i ve kaşar peyniri yapıldığında hacimce % 90’ı peynir altı suyu olarak çıkmaktadır.

Orta büyüklükte bir süt tesisinin günlük işlediği sütün 100000 L olduğunu göz önüne alırsak beyaz peynir için günlük 80000 L, kaşar peyniri içinse günlük 90000 L atık peynir altı suyu çıkacağını görebiliriz. Bu rakamlardan belli olacağı gibi ne büyük bir kirlilik yaratacağı ortaya çıkmaktadır.

8.1. Peyniraltı Suyunun Anaerobik Arıtılması ve Biyogaz Elde Edilmesi

Sıvı atıkların arıtılmasında çok çeşitli yöntemler bulunmasına karşın yüksek organik içerikli atıklarda anaerobik arıtma daha uygun bir yöntemdir. Bunun sebebi ise anaerobik arıtma sırasında harcanan enerjinin aerobik arıtmaya oranla çok az olması hem de anaerobik arıtma sonucunda oluşan biyogazın çeşitli yöntemlerle enerji elde edilmesinde kullanılabilinmesidir.

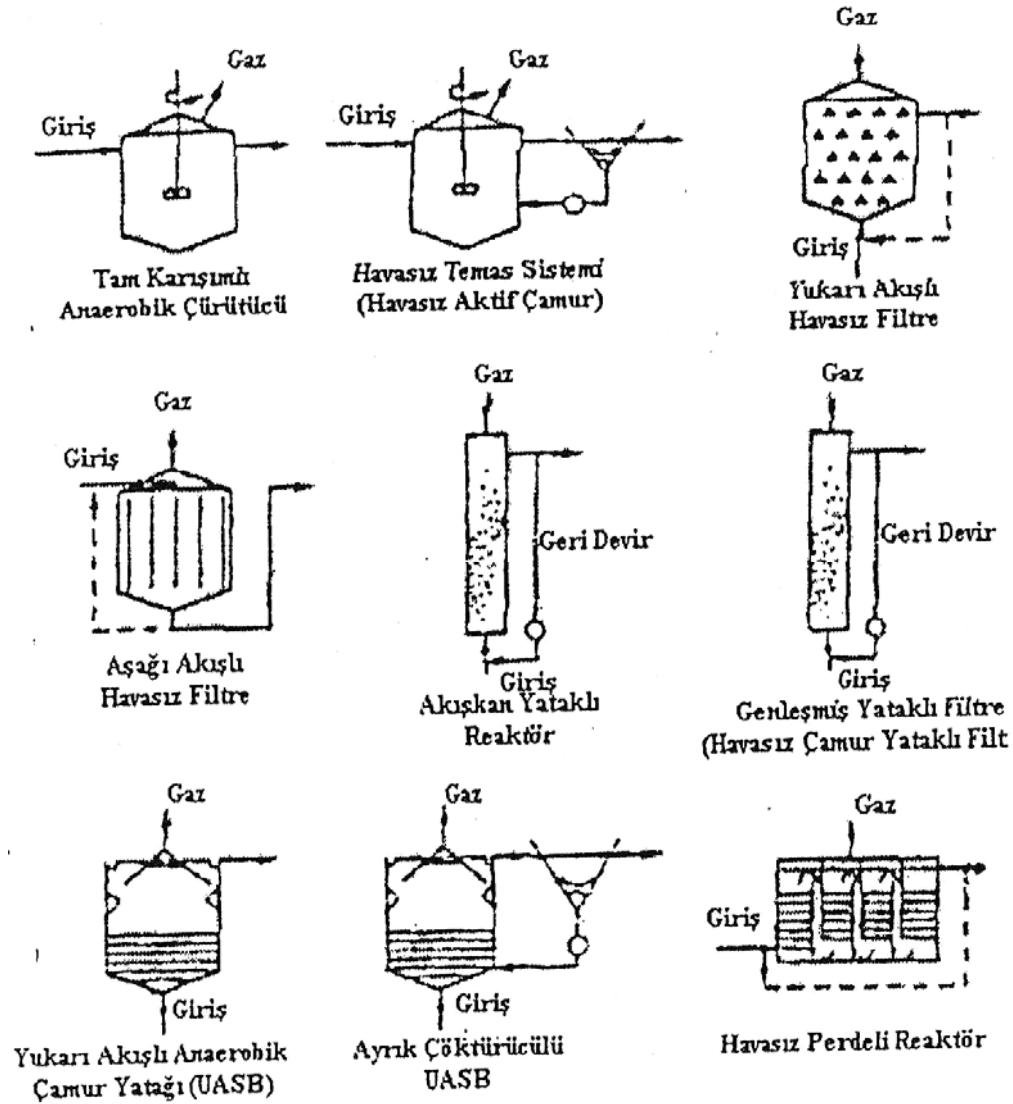
8.1.1. Anaerobik arıtma ve çeşitleri

Anaerobik arıtma amacıyla kullanılan çok çeşitli reaktörler bulunmaktadır. Bu reaktörler aynı amaca hizmet etse de işletme ve kurulum açısından çok farklar taşımaktadır. Bu reaktörlerden bazıları aşağıdaki gibidir.

- a) Askıda Çoğalan Reaktörler: Organik maddelerin parçalanmasını sağlayan mikroorganizmaların reaktör içinde koloidal (askıda) durumda olduğu reaktörlerdir.
- b) Biyofilm Reaktörler: Mikroorganizmaların tutunması amacıyla reaktör içerisine taş, seramik ve benzer öğeler yerleştirilmiş reaktörlerdir.
- c) Klasik Havasız Çürütücü: Tam karışım ve geri devirsiz bir reaktör tipidir. Çamur yaşı, hidrolik bekleme süresine eşittir. Metan bakterilerinin ortamda devamlılığı amacıyla çamur yaşı 10 günden fazla olmamalıdır.
- d) Havasız Aktif Çamur Sistemi Reaktörde ayrıştırılarak biyokütleye dönüşen atık suyun bir kısmı çökeltme havuzunda çökeltilerek çamurun bir kısmı geri devir edilir. Bu çamurun bir kısmı da atık çamur olarak uzaklaştırılır. BOİ si yüksek endüstriyel suların arıtılmasında başarı ile kullanılan bir yöntemdir.
- e) Havasız Filtre Bu sistemde reaktör bir dolgu maddesi ile doldurulur. Daha sonra atık su aşağı akışlı ya da yukarı akışlı olarak reaktörden geçirilir. Bu arada dolgu malzemesine tutunmuş mikroorganizmalar tarafından arıtma gerçekleştirilir.

f) Genleşmiş Yataklı Havasız Filtre: Bu sistemde kum, kömür vs. ile doldurulan reaktör yatağına yukarı akışlı olarak verilen atık su dolgu malzemeleri üzerinde biyofilm oluşturan mikroorganizmalar tarafından arıtılmaktadır. İstenen çıkış değeri yakalanamazsa çıkış atık suyu geri devredilebilir. Biyokütle konsantrasyonu yüksek ve çamur yaşı uzun olduğundan dolayı evsel atık suların arıtımı için uygundur.

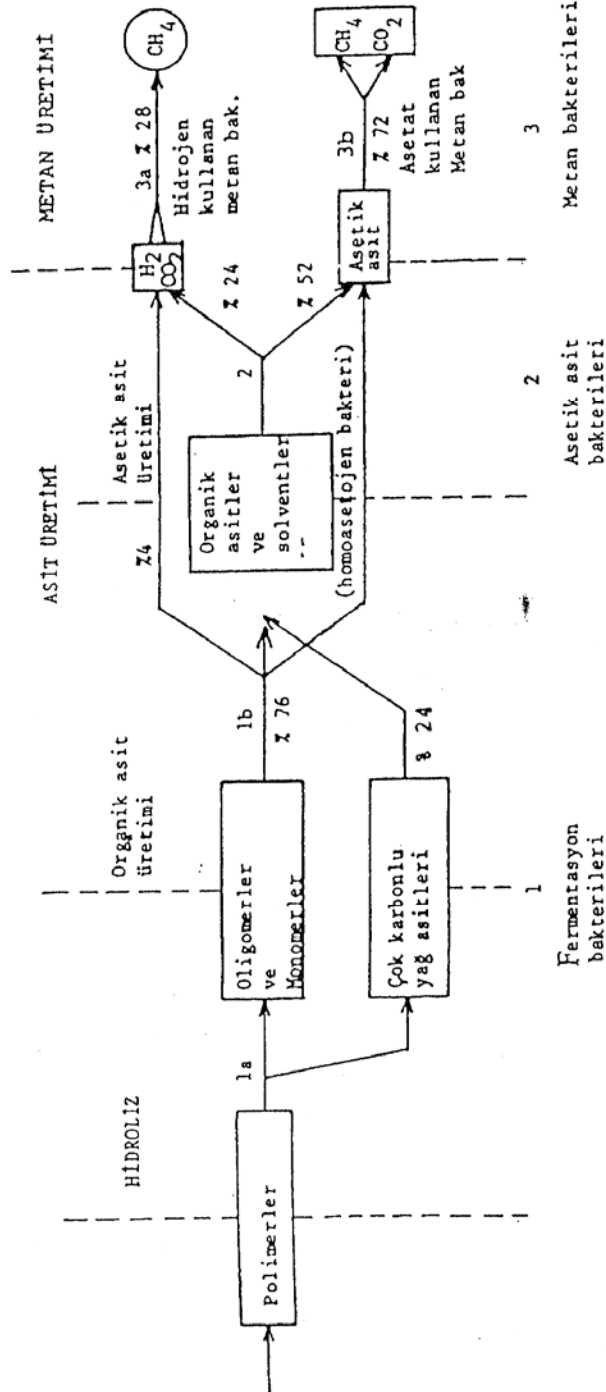
g) Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yatağı (UASB): Bu reaktörde yukarı akışlı olan atık su, yoğunluğu çok fazla olan bir atık suyun içerisinde geçirilerek bu sırada arıtma yapılmasına dayanan bir sistemdir. Bu yoğun yapıdaki granüllerin çökme karakteristiği iyi olduğundan tercih edilir bir yöntemdir.



Şekil 8.1 Anaerobik reaktör çeşitleri [20]

8.1.2. Anaerobik arıtmanın süreçleri ve metan oluşumu

Anaerobik arıtma sırasında çok çeşitli mikroorganizmalar yer almaktadır. Bu mikroorganizmalar bu organik maddeleri metana parçalaması 3 aşamadan oluşmaktadır.



Şekil 8.2 Anaerobik arıtmanın süreçleri [20]

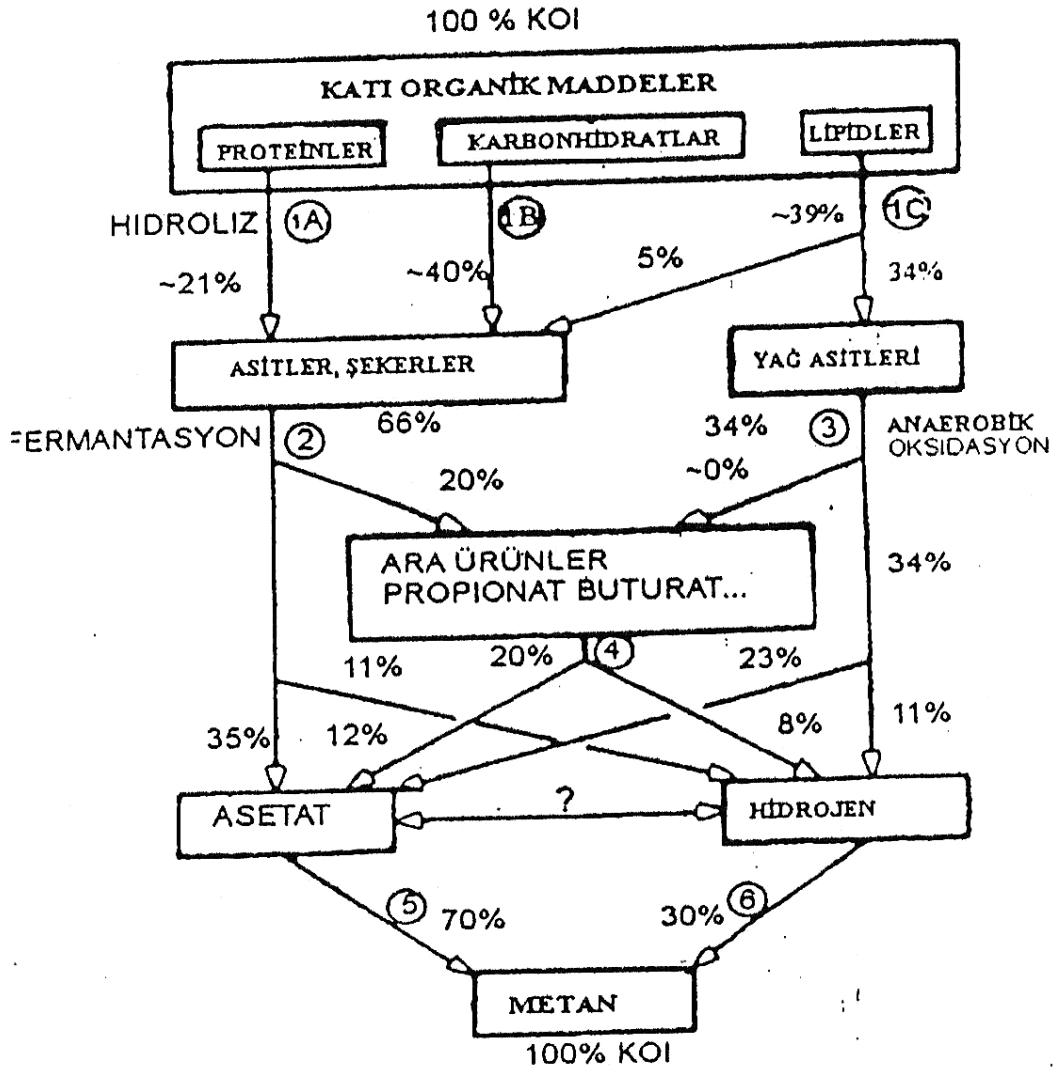
a) Hidroliz: Hidroliz aşaması çok yavaş bir aşamadır. Burada hücre dışı enzimler kullanılır. Reaksiyon süresi pH, sıcaklık ve çamur yaşı gibi faktörlerden kolayca etkilenmektedir. Yağ, lingin ve selüloz gibi büyük organik yapılar hidroliz aşamasında sınırlayıcı rol oynarlar.

b) Asit Üretimi: Bu aşamada hidroliz ürünleri reaktör kararlı haldeyse asetik aside, değilse propiyonik, bütirik, izobütirik, valerik ve izovalerik asitlere dönüşürler. Bu aşamada etkili olan mikroorganizmalar asidojenik bakterilerdir.

Bunların görevi organik polimerlerin hidrolizinde oluşan ürünleri organik asit ve solventlere dönüştürmektir. Asit üretim hızı metan üretiminden fazla olduğundan dolayı sistemde aşırı asit üretilmesinden dolayı sistemin pH'ı düşebilir ve bu da inhibasyona neden olmaktadır. Bu konuda dikkatli olunmalıdır.

c) Metan Üretimi: Metan üretimi yavaş bir süreç ve arıtmada sınırlayıcı safhadır. Metan üretimi bir önceki safhada üretilen asetik asidin parçalanması veya H_2 ve CO_2 'nin sentezi sonucunda elde edilir.

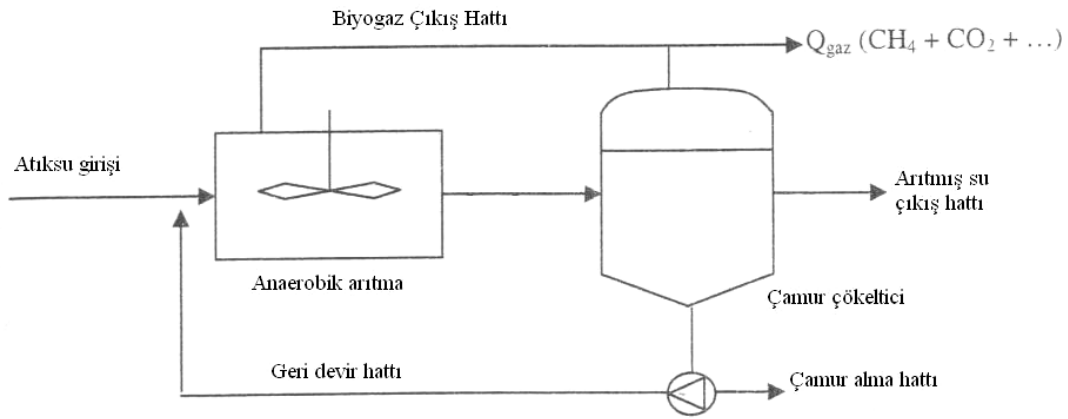
Metanın %70 CO_2 ve H_2 nin sentezinden, % 30 u ise asetik asidin parçalanmasından oluşur. Bundan dolayı ortamda yeterince CO_2 ve H_2 olduğu sürece metan üretimi oluşacaktır. Metan oluşması için en uygun pH 6.7 – 8.0 arasındadır.



Şekil 8.3 Metan oluşum süreci [20]

8.1.3. Orta ölçekli süt tesisi için anaerobik reaktör seçimi ve boyutlandırılması

Peynir altı suyunun organik içeriği yüksek olduğundan dolayı deşarj etmeden önce çok iyi bir arıtmadan geçmelidir. Bu amaçla hem işletim kolaylığı hem de endüstriyel suları arıtmada iyi olduğundan seçilen sistem tam karışimli havasız aktif çamur reaktörüdür.



Şekil 8.4 Anaerobik arıtma sisteminin akış diyagramı [21]

Sistemi boyutlandırırken kullanılacak ana parametreler aşağıdaki gibidir. [21]

$Q = 85000 \text{ m}^3$ (Günlük atık su debisi)

$S^0 = 55250 \text{ mg/L KOİ}$ (Giriş substrat miktarı)

$X_v^0 = X_i^0 = 8280 \text{ mg/L}$ (UAKM Aktif ve inert biyokütle miktarı)

$\gamma = 1,61 \text{ g KOİ} / \text{gr } X_v$ (Biyokütlenin substrata dönüşüm hızı)

$\hat{q} = 6,67 \text{ g KOİ} / \text{g UKM gün}$ (Maksimum substrat kullanım hızı)

$K_s = 164 \text{ mg BOİ}_L / \text{L}$ (Yarı doygunluk sabiti)

$b = 0,015 \text{ gün}^{-1}$ (Ölüm-İçsel solunum hız sabiti)

$Y = 0,11 \text{ g UKM} / \text{g BOİ}_L$

$f_d = 0,01$ (Organik maddelerin biyolojik olarak ayrışmayan kısmı)

Tasarım Faktörleri: [9]

Emniyet faktörü = 20

UAKM = 2500 mg/L

$X_v^r = 10000 \text{ mg UKM/L}$

$X_v^{\text{çıkış}} = 50 \text{ mg UKM/L}$

1. $[\theta_c^{\min}]_{\text{lim}}$ Mikroorganizma yıkanmasına karşı gelen minimum çamur yaşının hesaplanması

$$[\theta_c^{\min}]_{\text{lim}} = \frac{1}{(Y \cdot \hat{q} - b)} = \frac{1}{(0,11,6,67 - 0,015)} = 1,13 \text{ gün} \quad (2)$$

2. θ_c^{\min} Minimum çamur yaşının hesaplanması

$$\theta_c^{\min} = \frac{K + S_0}{S_0 \cdot (Y \cdot \hat{q} - b) - b \cdot K} = \frac{164 + 55250}{55250 \cdot (0,11,6,67 - 0,015) - 0,015 \cdot 164} = 0,141 \text{ gün} \quad (3)$$

Tasarıma esas çamur yaşı θ_c^d

$$\theta_c^d = \theta_c^{\min} \cdot 20 = 0,141 \cdot 20 = 2,82 \approx 3 \text{ gün} \quad (4)$$

3. Çıkış suyundaki substrat konsantrasyonunun hesaplanması

$$S = K \cdot \frac{1 + b \theta_c}{Y \cdot \hat{q} \cdot \theta_c - (1 + b \cdot \theta_c)} = 164 \cdot \frac{1 + 0,015 \cdot 3}{0,11,6,67 \cdot 3 - (1 + 0,015 \cdot 3)} = 148,38 \text{ mg KOİ/L} \quad (5)$$

4. Spesifik substart kullanım hızının hesaplanması

$$u = \frac{1 + \theta_x \cdot b}{\theta_x \cdot Y} = \frac{1 + 3 \cdot 0,015}{3 \cdot 0,11} = 3,16 \text{ kg/kg UKM}_a \text{ gün} \quad (6)$$

5. Günlük giderilen substrat miktarının hesaplanması

$$S_g = (S - S_0) \cdot Q = (55250 - 148,38) \cdot 85000 = 4,683 \times 10^9 \text{ mg/gün} = 4683 \text{ kg / gün} \quad (7)$$

6. Reaktörde üretilen aktif, inaktif ve toplam uçucu katı madde miktarlarının hesaplanması

$$\begin{aligned} \text{Üretilen } X_a &= \frac{Q \cdot Y(S_0 - S)}{(1 + b \cdot Q_x^d)} = \frac{85000 \cdot 0,11(55250 - 148,38)}{(1 + 0,015 \cdot 3)} = 4,9 \times 10^8 \text{ mg UKM/gün} \\ &= 490 \text{ kg UKM/gün} \quad (8) \end{aligned}$$

Üretilen inaktif biyokütle:

$$X_i = X_a \cdot (1 - f_d) \cdot b \cdot \theta_c^d = 4,9 \times 10^8 (1 - 0,01) \cdot 0,015 \cdot 3 = 2,18 \times 10^7 = 21,8 \text{ kg UKM/gün} \quad (9)$$

$$X_d = Q \cdot S / \gamma = 85000 \cdot 148,38 / 1,61 = 7,8 \times 10^6 \text{ mg UKM/gün} = 7,8 \text{ kg UKM/gün} \quad (10)$$

$$X_v = X_a + X_i + X_d = 4,9 \times 10^8 + 2,18 \times 10^7 + 7,8 \times 10^6 = 5,196 \times 10^8 \text{ mg UKM/gün} \quad (11)$$

$$X_v = 519,6 \text{ kg UKM/gün}$$

7. Reaktörde içerisindeki aktif, inaktif ve toplam uçucu katı madde miktarlarının hesaplanması

$$\begin{aligned} \text{Reaktördeki toplam } X_a &= \text{Üretilen } X_a \cdot \theta_x = 4,9 \times 10^8 \cdot 3 = 1,47 \times 10^9 \text{ mg UKM/gün} \\ &= 1470 \text{ kg UKM/gün} \quad (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Reaktördeki toplam } X_i &= (X_i^0 + \text{inaktif biyokütle}) \cdot \theta_x = (8280 + 2,18 \times 10^7) \cdot 3 \\ &= 6,54 \times 10^7 \text{ mg UKM/gün} = 65,4 \text{ kg UKM/gün} \quad (13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Reaktördeki kalan toplam ayrışabilen substrat} &= 7,8 \times 10^6 \cdot 3 = 2,34 \times 10^7 \text{ mg UKM/gün} \\ &= 23,4 \text{ kg UKM/gün} \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Reaktördeki toplam } X_v &= 1,47 \times 10^9 + 6,54 \times 10^7 + 2,34 \times 10^7 = 1,55 \times 10^9 \text{ mg UKM/gün} \\ &= 1550 \text{ kg UKM/gün} \quad (15) \end{aligned}$$

8. Hidrolik bekleme süresinin hesaplanması

$$X = (\theta_x/\theta) \cdot [Y \cdot (S_0 \cdot S)] / (1 + b \cdot \theta_x) \quad (16)$$

$$2500 = (3/\theta) \cdot [0,11 \cdot (52500 \cdot 148,38)] / (1 + 0,015 \cdot 3)$$

$$2500 = (3/\theta) \cdot (5758,67/1,045)$$

$$\theta = 6,61 \text{ gün}$$

9. X_a / X_v (Aktif uçucu katı oranı/Toplam uçucu katı oranının) hesaplanması

$$X_a / X_v = 4,9 \times 10^8 / 5,196 \times 10^8 = 0,94 \quad (17)$$

10. Çamurun geri döngü hattından atıldığını kabul ederek günlük atılan çamur debisinin hesaplanması

$$X_i = 8280,85000 = 7,038 \times 10^8 \text{ mg/gün} = 703,8 \text{ kg/gün} \quad (18)$$

$$P_x = 7,038 \times 10^8 + 7,86 \times 10^8 + 4,9 \times 10^8 + 2,18 \times 10^7 = 2 \times 10^9 \text{ mg} = 2000 \text{ kg}$$

$$P_x = Q_w \cdot X_r \Rightarrow 2 \times 10^9 = Q_w \cdot 10000 \Rightarrow Q_w = 2 \times 10^5 \text{ mg} = 0,2 \text{ kg} \quad (19)$$

11. Geri devir debisi ve oranının hesaplanması

$$R = \frac{X}{X_r - X} = \frac{2500}{10000 - 2500} = 0,33 \quad (20)$$

$$Q_r = R \cdot Q = 0,33 \cdot 85000 = 28050 \text{ L/gün} = 28,05 \text{ m}^3/\text{gün} \quad (21)$$

12. Hacimsel yükleme hızının hesaplanması

$$\theta = \frac{V}{Q} \Rightarrow 6,61 = \frac{V}{85000} \Rightarrow V = 561850 \text{ L} = 561,85 \text{ m}^3 \quad (22)$$

$$Q \cdot S_0 / V = 85000 \cdot 55250 / 562850 = 8358,5 \text{ mg/L gün} = 8,35 \text{ kg/m}^3 \text{ gün} \quad (23)$$

13. Atıksuyun BOI_L konsantrasyonunun hesaplanması

$$\frac{BOI_L}{VSS} = 1,42 \Rightarrow BOI_L = 50 \cdot 1,42 = 71 \text{ mg/L} \quad (24)$$

14. Giriş atıksuyunda gerekli olan N ve P miktarlarının hesaplanması

Gerekli azot (N) miktarı:

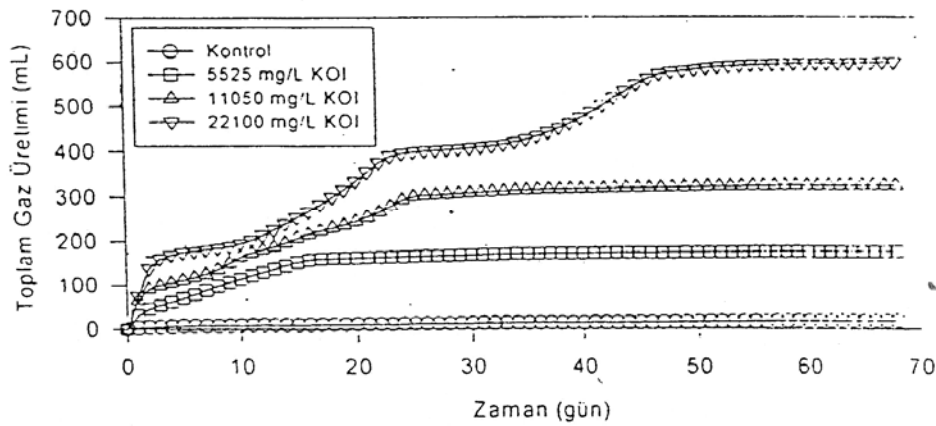
$$4,9 \times 10^8 \cdot 0,12 = 5,8 \times 10^7 \text{ mg/gün} = 58 \text{ kg/gün}$$

Gerekli fosfor (P) miktarı:

$$4,9 \times 10^8 \cdot 0,02 = 9,8 \times 10^6 \text{ mg/gün} = 9,8 \text{ kg/gün}$$

8.1.4. Anaerobik Reaktörden Çıkan Biyogaz Miktarının Hesaplanması

Anerobik arıtma için yapılan deneyin sonucunda 1 gr KOİ giderimi ile 395 mL CH_4 gazı elde edilmektedir. Buna göre hesaplırsak;



Şekil 8.5 Peyniraltı suyundan gaz üretimi [22]

Giriş KOİ = 55250 mg/L

KOİ giderimi = % 99,9

Giderilen KOİ = 55250 · 0,999 = 55100 mg KOİ/L

Günlük giderilen KOİ miktarı

$$55100.85000 = 4,68 \times 10^9 \text{ mg/L gün} = 4,68 \times 10^6 \text{ g/L}$$

Günlük oluşacak CH₄ miktarı

$$4,68 \times 10^6 \cdot 0,395 = 1848600 \text{ L CH}_4 = 1850 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$$

1 saatte oluşacak CH₄ miktarı

$$1850 / 24 = 77,08 \text{ m}^3/\text{saat}$$

Yapılan deneyin sonucunda oluşan biyogazın sadece % 77 si metan, diğer %23'ü ise başta CO₂ olmak üzere diğer gazlardan oluşmaktadır.

Buna göre 1 günde oluşacak biyogaz miktarı :

$$1850 / 0,77 = 2402,5 \text{ m}^3 \text{ tür.}$$

1 saat ki miktar ise:

$$2402,5 / 24 = 100,1 \text{ m}^3 \text{ tür.}$$

1 m³ metanın alt ısıl değeri alt ısıl değeri 9,971 kwh/nm³ ve biyogazın içeriğindeki diğer gazların kalorifik değeri olmadığını varsayarsak biyogazın ısıl değeri:

$$\frac{(0,77 \cdot 9,971) + (0,23 \cdot 0)}{1} = 7,67 \text{ kwh/nm}^3 \text{ olmaktadır.}$$

1 saatlik biyogaz yanması sonucunda elde edeceğimiz enerji miktarı :

$$100,1 \cdot 7,67 = 767,79 \text{ kWh'tir.}$$

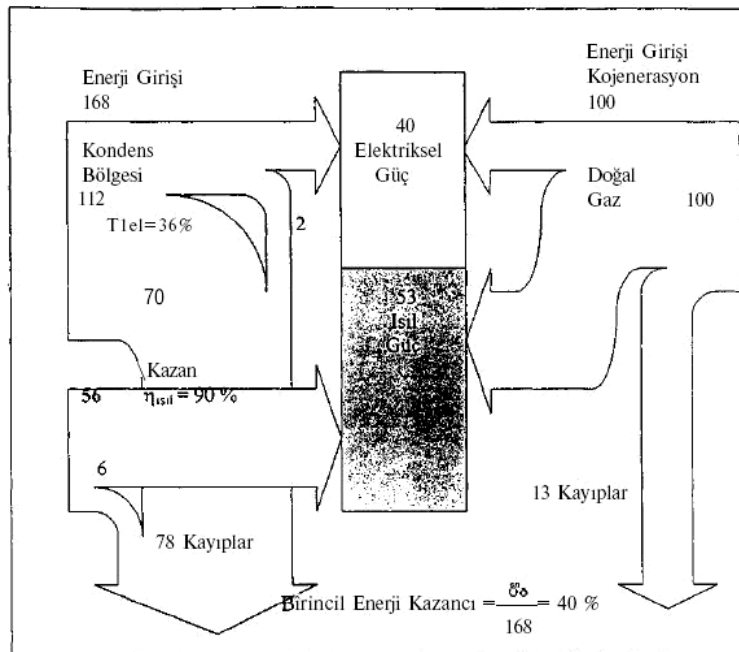
Buna göre bu biyogazı yakmada kullanacağımız sistemi seçerken saatlik gücü 770 kW 'a göre olacaktır.

8.2. Elde Edilen Biyogazın Kojenerasyonlu Sistemle Değerlendirilmesi

Elde edilen biyogazın kojenerasyonlu bir sistemde kullanılmasının sebebi diğer yanma sistemlerine göre daha verimli olmasıdır. Kojenerasyonlu sistemlerde elektrik elde edilmesinin yanında baca gazlarının sahip olduğu atık ısıda kullanılarak ısı enerjisi de kullanılabilir. Elde edilen elektrik sistem içinde kullanılabilir gibi, satılarak gelir elde etme amaçlı olarak kullanılabilir.

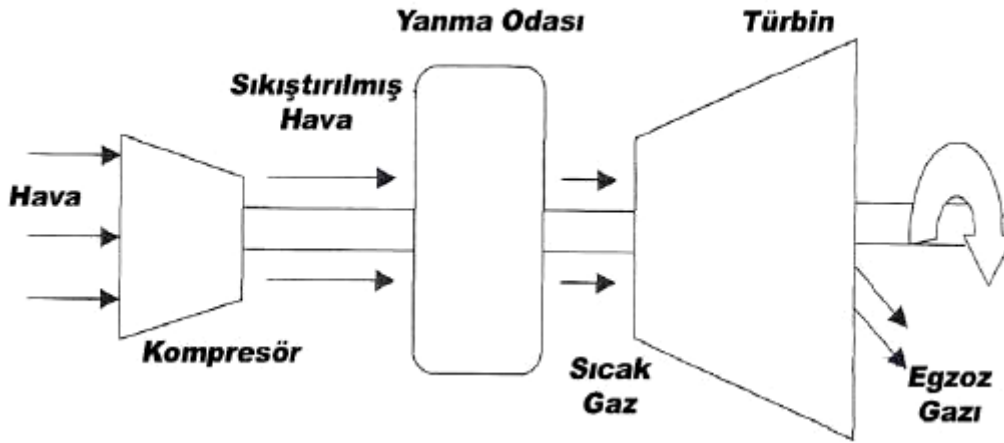
8.2.1. Kojenerasyon sistemleri

Kojenerasyon sistemleri aynı anda hem elektrik hem de ısı enerjisi elde edebilen sistemlerdir. Elektrik enerjisi elde edilirken açığa çıkan atık ısılar (sıcak baca gazları, soğutma suyu ...vs) proses içinde değerlendirilerek ısı kazancı sağlanmaktadır. Bu sistemlerin toplam enerji verimleri %80-90 civarlarına çıkmaktadır. Bir kojenerasyon prosesinin ana elemanları motor veya türbin, jeneratör, atık ısı kazanı ve ısı değiştiricileridir.



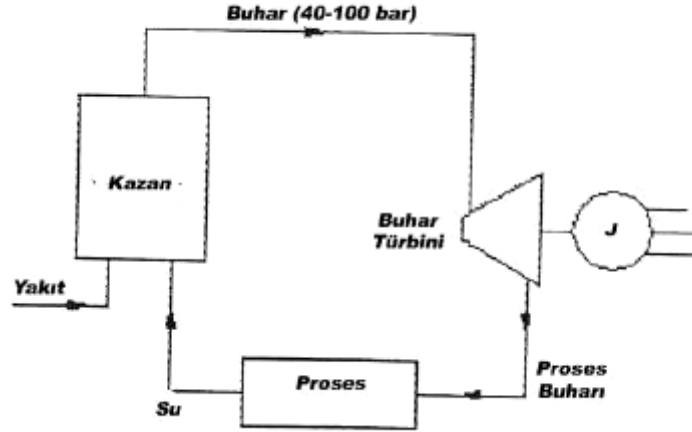
Şekil 8.6 Kojenerasyon ve konvansiyonel sistemlerle enerji üretiminin Sankey diyagramıyla karşılaştırılması [23]

1. Gaz Türbinli Sistemler: Gaz türbinli sistemlerde bir veya daha fazla olan yanma odalarında yakılan yakıt üretilen basınçlı yanma gazlarıyla (12-13 bar) bir motora bağlı olan şaftın dönmesi ile mekanik güç elde edilen sistemlerdir. Bu şekilde desteklenen jeneratörden elektrik enerjisi elde edilir. Aynı güç türbininden veya başka bir güç türbini ise havayı sıkıştırmak amaçlı kullanılır. Yanma gazları türbine 900-1200 °C sıcaklıkta girerler ve 450- 550 °C sıcaklıkta çıkarlar. Bu sahip oldukları yüksek sıcaklık ise ısı enerjisi elde etmede kullanılırlar. Gaz türbini yakıtı yakmak için ihtiyacı olan oksijenden fazlasını içeriye alır. Bu fazla oksijen ile daha fazla yakıt yakılarak toplam güç artabilir.



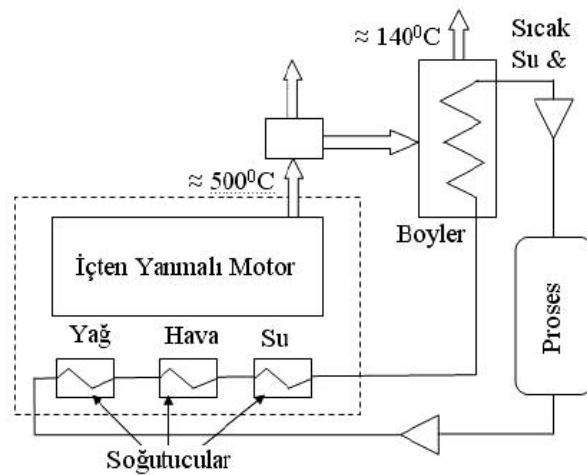
Şekil 8.7 Gaz türbin sistem diyagramı [24]

2. Buhar Türbinli Sistemler: Kullanılan en eski kojenerasyon sistemidir. Bu sistemlerde buhar üretimi için kömür, fuel oil, LPG kullanılabilir. Yakıt kullanımı açısından çok avantajlı görünmesine karşın çevreye olan etkilerinden dolayı tercih edilmemektedir. Bu etkileri bertaraf etmek için ek yatırımlar yapılabilir fakat bu da maliyeti arttıracaktır. Bu sistemler elektrikten daha çok buhar kullanılan sistemler için avantajlıdır. Çalışma prensibi ise kazanda yanan yakıttan çıkan enerji ile suyun buharlaştırılarak elde edilen buharın türbinleri içindeki çarkları çevirerek elektrik enerjisi elde etmeye dayanmaktadır.



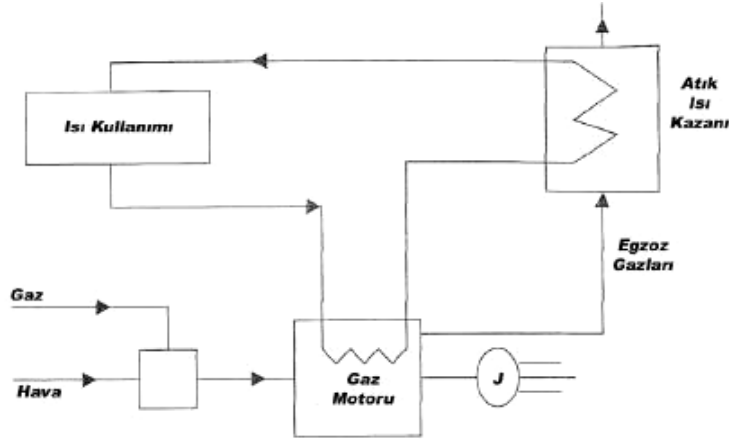
Şekil 8.8 Buhar türbin sisteminin diyagramı [24]

3. İçten Yanmalı Motorlu Sistemler: Bu sistemlerde yakıt içten yanmalı motoru çalıştırarak elektrik enerjisi elde etmeye ve çıkan atık ısısında ısı enerjisi olarak kazanılmasına dayanmaktadır. Bu sistemler son yıllarda ufak ölçekli kojenerasyon sistemleri için tercih edilir olmuştur (1-5 MWh). Bu sistemlerde yakıt olarak benzin, motorin kullanılmaktadır. Çalışma sistemleri normal içten yanmalı motorlarla aynı olduğundan bakımları kolaydır. Genellikle elektrik kesintileri gibi ani enerji gerektiren durumlarda kullanılırlar.



Şekil 8.9 İçten yanmalı motorlu sistem diyagramı [24]

4.Gaz Motorlu Sistemler: Gaz motor sistemleri 3,5 MWh'in altındaki tesisler için türbinli sistemlere göre daha verimli çalışmaktadırlar. Çalışma prensibi olarak yakıt ve yanma havası karbüratörde birleştirilerek sıkıştırılır. Vuruntu olmaması için sıkıştırma oranı 12,5'u geçmemelidir. Sıkıştırılan karışım buji ile yakılarak yanma oluşturulur ve buradan mekanik güç elde edilir. Yakıt olarak LPG, propan, rafineri gazı, doğalgaz, biyogaz ve kok gazı kullanılabilir.



Şekil 8.10 Gaz motorlu sistem diyagramı [25]

8.2.2. Süt Tesisinde Elde Edilen Biyogaz İçin Kojenerasyon Sistemi Seçimi

Orta ölçekli süt tesisimizde elde ettiğimiz biyogazı yakma için kullanacağımız tesisi seçerken aşağıdaki parametreler gaz önüne alınmalıdır.

- Saatlik güç
- Yatırım maliyeti
- Verim
- İşletme maliyeti
- Kurulum kolaylığı
- İşletme kolaylığı

Yakıt olarak kullanacağımız gazımız biyogaz olduğundan dolayı kojenerasyon sistem seçeneklerimiz arasından sadece türbin sistemli ve gaz motorlu sistemler kalmaktadır çünkü asıl amacımız elektrik üretmek olduğundan buharlı sistemler, yakıtımız gaz olduğundan dolayı içten yanmalı motorlu sistemleri kullanılamamaktadır.

Kalan iki sistem içerisinde ise seçilen sistem ise gaz motorlu sistemlerdir. Bunun sebepleri ise;

1- Düşük güçlü sistemlerde daha verimlidirler:

Kuracağımız sistemin saatlik gücü 768 kW olarak hesaplanmıştı. Türbinli sistemler daha yüksek güçlerde verimli olmaktadır. Bir türbinli kojenarasyonu kurmak için en düşük saatlik güç 10 MW olmalıdır.

2- Kurulumu ve bakımı diğer sistemlere daha kolaydır:

Türkiye şartlarında türbin imalatı yapan ve bakımı yapan yerli firma olanağı yoktur. Bu sistemler yabancı kökenli firmalar tarafından paket halinde satılır ve bakımları da kendileri tarafından yapılmaktadır. Ülke içinde bu konuda uzmanlaşmış fazla firma olmadığından dolayı tekelleşme söz konusudur. Ancak gaz motorları çalışma prensibi olarak içten yanmalı motorlarla benzer olduğundan dolayı bakım olanakları daha çeşitlidir. Ayrıca kurulum açısından paket sistemler olduğu gibi ayrı olarakta kurulabilmektedir.



Şekil 8.11 Kojenrasyon sisteminin taşınması [26]



Şekil 8.12 Kojenerasyon sistemin yerleştirilmesi [26]



Şekil 8.13 Kojenerasyon sisteminin montajı [26]

3- Kurulum ve bakım maliyetleri daha uygundur.

Türbinli sistemleri kurmak için uzmanlaşmış fazla firma olmadığından dolayı tekelleşme söz konusudur. Bu da doğal olarak kurulum ve bakım maliyetlerinin yükselmesine neden olmaktadır.

Bu kriterler göz önüne alındığında piyasadaki uzman firmalardan maliyet, uzmanlık ve servis yeterliliği bakımından en uygun sistem Borusan Güç Sistemlerinin Caterpillar G3508 LE gaz motorlu kojenerasyon sistemidir.

8.2.3. Kojenerasyon sisteminin verim ve maliyet hesaplaması

Kullanılan gaz motorunun çeşitli çalışma verimlerinde verdiği elektriksel, ısısal verim ve harcadığı yakıt miktarı ekteki gibidir.

Tablo 8.1 Gaz motorunun teknik verileri [EKLER]

YÜKLEME	BİRİM	% 100	% 75	% 50
MOTOR GÜCÜ	KW	535	401	268
MOTOR VERİMİ	%	39	38	35,5
ISIL VERİM	%	41,2	43,6	47,3
TOPLAM VERİM	%	80,7	81,7	82,8
YAKIT HARCAMASI	MJ/bKW-saat	9,24	9,61	10,3

Buradan hesaparsak her çalışma yükünde harcanacak yakıt miktarı:

% 100 yükleme

$$535 \text{ kW} \cdot 9,24 \text{ MJ/bKWh} = 4943 \text{ MJh}$$

$$4943 \text{ MJ} / 3,6 \text{ kW/MJ} = 1373 \text{ kW}$$

% 75 yükleme

$$401 \text{ kW} \cdot 9,61 \text{ MJ/bKWh} = 3853 \text{ MJh}$$

$$3853 / 3,6 \text{ kW/MJ} = 1070 \text{ kW}$$

% 50 yükleme

$$268 \text{ kW} \cdot 10.3 \text{ MJ/bKWh} = 2760 \text{ MJh}$$

$$2760 / 3.6 \text{ kW/MJ} = 766 \text{ kW}$$

Hesaptan da anlaşılacağı gibi motor verimi düştükçe yakıt harcama oranı artmaktadır. Kullanacağımız biyogazın saatlik verimi ile ancak motorumuz % 50 yükleme çalıştırabilmekteyiz fakat yapılacak yatırım büyüklüğünden dolayı süt tesisi geliştirildiğinde yeni yatırıma gerek duymaksızın bu sistem kullanılabilir.

Toplam gücün %35,5'u elektrik üretmek için % 47,3'ü ısı üretmek için kalan %17,2 kayıp enerji olarak kalacaktır. Buradaki sonuçlara göre elde edeceğimiz enerjiler aşağıdaki gibidir.

Elektrik gücü:

$$268 \cdot 0.355 \cdot 0.96 = 91.33 \text{ kW}$$

(Motordan mile enerji aktarılırken % 4'lük bir kayıp olduğu varsayıldı)

Isı gücü:

$268 \cdot 0.473 = 126.76 \text{ kW}$ tır. Aynı ısıyı elde etmek için doğalgaz kullandığımızı varsayarsak (1 m³ doğalgazın alt ısısı 9,59 kW)

$$126.76 / 9.59 = 13.2 \text{ m}^3 \text{ e denk gelmektedir.}$$

Sistemden elde edilen elektrik enerjisinin satıldığı, ısı enerjisinin ise süt tesisinde iç proseslerde kullanıldığı varsayılmaktadır.

Maliyet analizi yapılırsa :

KAZANÇLAR

Elektrik: EPDK nın 2009 elektrik kW satış birim fiyatı :0,141 TL dir fakat EPDK elektriği kendi satış fiyatının %80 nine almaktadır. Bu yüzden otoprodüktör olarak satış fiyatı:

$$0,141 \cdot 0,8 = 0,1128 \text{ TL olur}$$

Sistemin 1 yılda elektrikten elde edeceği gelir.

$$91,33 \text{ kW} \cdot 24 \text{ saat} \cdot 364 \cdot 0,1128 \text{ TL} = 90.000 \text{ TL}$$

(Yılda 1 gün yıllık bakım için ayrılmıştır.)

Isı:

Süt tesisinde kojenerasyon sisteminden kazanılan ısının doğalgaz olarak karşılığını hesaplırsak. 1 m³ doğalgazın İGDAŞ tarafından sanayilere satış fiyatı 0,68 TL

Buna göre 1 yılda doğalgaz yerine kojenerasyondan gelen ısıyı kullanırsak:

$$13,2 \text{ m}^3 \cdot 364 \text{ gün} \cdot 0,68 \text{ TL} = 3267 \text{ TL}$$

(Yılda 1 gün yıllık bakım için ayrılmıştır.)

Buna göre yıllık toplam kazanç:

$$90000 \text{ TL} + 3267 \text{ TL} = 93267 \text{ TL}$$

Günlük kazanç :

$$93267 / 365 = 255,52 \text{ TL} \text{ olmaktadır.}$$

MASRAFLAR

Masraf olarak sistemin kurulum, bakım ve işletme giderleri olmaktadır.

Kojenerasyon sistemin satın alınması ve kurulması: 700000 TL (Borusan güç sistemleri)

Yıllık bakım ücreti: 24 saat . 30 YTL = 720 TL (Saatlik bakım ücreti 30 TL ve yılda 1 gün bakım görüyor)

Yıllık faiz oranı : 0,09 (CAT Finans)

$$t_g = \frac{\ln \left[\frac{G_i}{G_i - G_y f} \right]}{\ln(1 + f)} \quad (25)$$

G_i = Yıllık net kazanç

G_y = İlk yatırım maliyeti

f = Yıllık faiz oranı

t_g = Geri ödeme süresi (yıl)

$$G_i = 93267 \text{ TL}$$

$$G_y = 700000 \text{ TL}$$

$$f = 0,09$$

$$t_g = \frac{\ln \left[\frac{93267}{93267 - 700000 \cdot 0,09} \right]}{\ln(1 + 0,09)} = 13,06 \text{ yıl}$$

BÖLÜM 9 TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Günümüzün teknolojileri insan hayatını kolaylaştırmanın yanında çok büyük sorunlara da neden olmaktadır ayrıca bu teknolojilerin üretimi büyük miktarlarda enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyacı gidermek için de her gün daha yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Bu araştırma ve üretim faaliyetleri ise bir başka büyük sorun olan atıkların oluşmasına sebep olmakta, bu da insan ve çevre hayatını tehdit etmektedir.

Bu çalışma ile insanoğlunun iki büyük sorununu birbirinden bağımsız olarak değil bir bütün olarak ele almakta ve sorunu tek elden çözmeye çalışılmıştır. Bu amaçla dünya çapında çeşitli atıklar ile gerçekleştirilen enerji üretim faaliyetleri araştırılmış olup, bunlardan uygulanabilir olanlarından örnekler verilmiştir.

Atıklardan enerji üretim sistemlerindeki ana nokta bütün atıkların organik içeriğe sahip olmasıdır. Bu organik içeriğin kimyasal yapısı fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal olarak bozundurulup enerji kaynağı olarak kullanılacak küçük yapılu organikler elde edilmektedir. Bu organik yapılar genelde yüksek metan içeriği olan gazlar olup, sentez gazı veya biyogaz olarak adlandırılır. Metan haricinde enerji kaynağı olarak kullanılabilen metanol ve etanol gibi alkoller ve elektrik üretimi için kullanılabilen hidrojenin elde edilebileceği kanıtlanmıştır.

Sadece enerji elde edilebilmesi değil mühendislik olarak uygunluğu ve uygulanabilirliği açısından en çok kirlilik yaratıcı sektör olan süt endüstrisinden orta ölçekli bir tesisin anaerobik arıtma tesisi boyutlandırılarak, bu arıtma tesisine uygun bir kojenerasyon sistemi kurulması amaçlanmıştır. Arıtma tesisinin anaerobik seçilmesinin sebebi diğer arıtmalara göre daha verimli olması ve sonucunda biyogaz elde edilebilmesidir.

Yapılan hesaplar gösteriyor ki bu tesisten elde edilecek biyogaz ile kurulacak tesisin geri ödeme süresi 13 yıldır. Bu kojenerasyon tesisin ekonomik ömrünün 25 yıl olduğunu göz önüne alırsak yarı ömründe sürekli kar getireceğinden mühendislik olarak mantıklı bir yatırımdır.

Bu sistem uygulanabilir olmakla birlikte kurulması açısından Türkiye şartlarında çok zorlukları vardır. Örnek vermek gerekirse otoprodüktörlük belgesi almanın zorluğu ve enerji piyasasının EPDK ile devletin tek elden yönetilmesini sayabiliriz. Ancak dünyadaki gelişmelerle birlikte bu tür bürokratik engellerin yeni çıkan yasalarla birlikte kalkacağı aşıkardır. Gelecekte dünyadaki yatırımların yöneldiği bir sektördür.

KAYNAKLAR

- [1] http://www.isdosb.com/syflr_ort.asp?bolum=menu&id=755, 25.06.2009
- [2] <http://www.bpe.wur.nl/UK/Research/Projects/Biofuels+from+microalgae.+Harvesting+of+algae+for+oil+extraction/>, 25.06.2009
- [3] http://www1.cityoflompoc.com/departments/utilities/wastewater/2009-01_14.jpg, 25.06.2009
- [4] <http://www.radikal.com.tr/Default.aspx?aType=HaberYazdir&ArticleID=878556>, 25.06.2009
- [5] <http://www.cihanozdemir.com/2008/12/dalga-enerjisinden-elektrik.html>, 25.06.2009
- [6] http://www.solitem.com.tr/tur_urunler.htm, 25.06.2009
- [7] <http://www.hafif.org/yazi/yenilenebilir-enerji-kaynaklari>, 25.06.2009
- [8] <http://www.hafif.org/yazi/ruzgar-enerjisi-ve-kuresel-isinma>, 25.06.2009
- [9] PROF. DR. ÜNALAN, S., “Alternatif Enerji Kaynakları Ders Notları” Erciyes Üniversitesi – Kayseri
- [10] ÖZTÜRK, M., “Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi” Çevre ve Orman Bakanlığı 2005 Ankara
- [11] XIAO, R., JIN, B., ZHOU, H., ZHONG, Z., ZHANG, M., “Air Gazification Of Polypropylene Plastic Waste In Fluidized Bed Gasifier” , Energy Conversion and Management Journal 48(2007)778-786
- [12] SLAPAK, MJP., VAN, KESTERAN, JMN., DRINKENBURG, AAH., “Design of a Process for Steam Gasification of PVC Waste” Resources, Conservation and Recycling Journal 30(2000) 81-93
- [13] GENÇELİ, O. F., “Isı Değiştiricileri” Birsen Yayınevi 1999 İstanbul
- [14] KUPPAN, T., “Heat Exchanger Design Handbook” MarkDecker 2000 NewYork

- [15] ŞAHİN, M., “Isı Geri Kazanım Eşanjörlerinin Kullanım Opsiyonları” VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 2003 İzmir
- [16] TULUK, C., “Çeşitli Substratların Anaerobik Şartlar Altında Metan ve Hidrojene Dönüşüm Potansiyellerinin Belirlenmesi” Çukurova Üni. 2007 Adana
- [17] DUERR, M., GAIR, S., CRUDEN, A., MC DONALD, J., “Hydrogen and Electrical Energy From Organic Waste” International Journal Of Hydrogen Energy 32(2007)705-709
- [18] GHALLY, AE., EL-TAWELL, AA., “Kinetic Modelling of Continuous Production of Ethanol from Cheese Whey” Biomass and Energy Journal Vol.12 No.6 (1997) 705-709
- [19] BİLİR, M., Gıda Müh. Kromel Gıda Makinaları A.Ş. Sakarya 2009
- [20] Anaerobik Arıtım Teorik Altyapı ve Uygulamaları Eğitim Semineri Notları TMMOB Çevre Müh. Odası 2002 Ankara
- [21] ÖZTÜRK, İ., “Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları” Su Vakfı 2007 İstanbul
- [22] ERGUDER, T.H., TEZEL, U., GÜVEN, E., DEMİNER, GN., “Peyniraltısuyunun Anaerobik Sistemlerle Arıtımı” ODTÜ 1998 Ankara
- [23] “Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı” TMMOB Makina Müh Odası 1998 İstanbul
- [24] ÇAKIR, U., “Aziziye Araştırma Hastahanesinin Enerji Gereksinimi İçin Kojenerasyon Sisteminin Uygulanabilirliği” Atatürk Üni. 2007 Erzurum
- [25] AKDENİZ, N., “Doğalgazlı Kojenerasyon Sistemlerinin Ekserjetik Analizi” Süleyman Demirel Üni. 2007 Isparta
- [26] DEMİRCİ, M., “Atıksu Arıtma Tesislerinde Çamur Kurutma İşlemlerinde Kojenerasyon Uygulaması” Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm Teknolojileri Semineri 2006 İstanbul

EKLER

EK 1. 2009 SANAYİ İÇİN DOĞALGAZ SATIŞ FİYATI



IGDAS
"Gökyüzüyle Arkadaş"

IGDAŞ



BİREYSEL



KURUMSAL



İÇ TESİSAT



BASIN ODASI



İLETİŞİM



Ana Sayfa

Site İçi Arama

E-Posta

Sanayi Gaz Fiyatı

01.03.2009 itibarıyla Sanayi Müşterilerine Uygulanan Doğalgaz Satış Tarifesi

	TL/KWH	TL/m3
Serbest Tüketici Fiyatı	0,063928	0,680193
Serbest Tüketici Olmayan Sanayi Satış Fiyatı	0,073583	0,782928

Fiyatlarımızda KDV dahil değildir!

Serbest Olmayan Tüketici : Ancak bulunduğu yerdeki gaz dağıtım kuruluşundan gaz alabilecek tüketici grubu.

Serbest Olan Tüketici : Bir yıl içerisinde 1 Milyon m3'den fazla gaz kullanan ve bulunduğu yerdeki gaz dağıtım kuruluşundan farklı tedarikçilerden gaz alabilecek tüketici grubu.

Eski fiyatlara ulaşmak için tarih seçiniz

Göster

İnternet Şubesi

BİREYSEL | KURUMSAL

Sanayi Müşterisi Doğalgaz Talep Formu

İstek, Öneri ve Şikayetleriniz için buraya tıklayınız...

Ödeme Noktaları için buraya tıklayınız...

187

DOĞALGAZ

ACİL

444 36 36

100'S CAGRI MERKEZİ

2009 Yılı Fonsuz Tarifeler

Dağıtım Şirketinden enerji alan iletim sistemi kullanıcıları tüketiciler

Sanayi			
Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh
14,146	14,056	24,233	6,737

Dağıtım Sistemi Kullanıcıları

İletim şalt sahalarının dağıtım şirketinin kullanımındaki OG baralanna özel hattı ile bağlı tek bir tüzel kişi durumundaki kullanıcılar

Dağıtım Şirketinden enerji alan tüketiciler

Kapasite	Aktif Enerji				Reaktif Enerji	
	Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz		Puant
kr/Ay/kW	kr/Ay/kW	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kVARh
244	487	13,127	13,037	23,288	5,664	9,239

Çift Terimli Tarife

Sanayi

Tek Terimli Tarife

Sanayi

Ticarethane ve Diğer

Ticarethane

Diğer 1

Diğer 2

Tarımsal Sulama

Özel tedarikçiden enerji alan tüketiciler için sistem kullanım

Aktif Enerji	Reaktif Enerji
0,690	9,239
0,690	9,239
0,690	9,239
0,690	9,239
0,690	9,239

Tek Terimli Tarife

Sanayi

Ticarethane ve Diğer

Ticarethane

Diğer 1

Diğer 2

Tarımsal Sulama

İletim şalt sahalarının dağıtım şirketinin kullanımındaki OG baralanna dağıtım şirketi hattı ile bağlı tek bir tüzel kişi durumundaki kullanıcılar

Dağıtım Şirketinden enerji alan tüketiciler

Kapasite	Aktif Enerji				Reaktif Enerji	
	Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz		Puant
kr/Ay/kW	kr/Ay/kW	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kVARh
327	655	14,458	14,368	24,630	6,988	9,239

Çift Terimli Tarife

Sanayi

Tek Terimli Tarife

Sanayi

Ticarethane ve Diğer

Ticarethane

Diğer 1

Diğer 2

Tarımsal Sulama

Özel tedarikçiden enerji alan tüketiciler için sistem kullanım

Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Aktif Enerji	Reaktif Enerji
327	655	1,451	9,239
1,814			9,239
2,725			9,239
2,725			9,239
2,725			9,239
2,775			9,239

Çift Terimli Tarife

Sanayi

Tek Terimli Tarife

Sanayi

Ticarethane ve Diğer

Ticarethane

Diğer 1

Diğer 2

Tarımsal Sulama

Diğer Tüm Dağıtım Sistemi Kullanıcıları

Dağıtım Şirketinden enerji alan tüketiciler

Kapasite	Aktif Enerji				Reaktif Enerji	
	Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz		Puant
kr/Ay/kW	kr/Ay/kW	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kVARh
327	655	14,962	14,871	25,178	7,459	9,239

Çift Terimli Tarife

Sanayi Orta Gerilim

Tek Terimli Tarife

Sanayi

Orta Gerilim

Alçak Gerilim

Ticarethane ve Diğer

Ticarethane

Diğer 1

Diğer 2

Mesken

Şehit Aileleri ve Muharip/Malul Gaziler

K.Ö.İ. Mesken

Tarımsal Sulama

Aydınlatma

Özel tedarikçiden enerji alan tüketiciler için sistem kullanım

Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Aktif Enerji	Reaktif Enerji
327	655	1,630	9,239
2,056			9,239
2,596			9,239
3,136			9,239
3,136			9,239
3,136			9,239
3,221			9,239
3,244			9,239
3,410			9,239

Çift Terimli Tarife

Sanayi Orta Gerilim

Tek Terimli Tarife

Sanayi

Orta Gerilim

Alçak Gerilim

Ticarethane ve Diğer

Ticarethane

Diğer 1

Diğer 2

Mesken

Tarımsal Sulama

Aydınlatma

Tedarikçisine direk hatla bağlı tüketicilerin emreamide kapasite bedeli

Emreamide Kapasite Bedeli	kr/Ay/kW
2 nolu bağlantı durumu	202
3 ve 4 nolu bağlantı durumu	760

Üreticiler için dağıtım sistem kullanım bedeli

Aktif Enerji	Reaktif Enerji
0,208	9,239
1,335	9,239

Dağıtım sistemine bağlı üreticilere tercih etmeleri halinde TEİAŞ tarafından belirlenen iletim bölgeleri bazındaki üretici fiyatları uygulanır.

Diğer-1: Hayır Kurumları, Dernekler, Vakıflar, Müzeler, Resmi Okullar, Resmi Yurtlar, Resmi Kurslar, Spor Tesisleri, Resmi Üniversite, Resmi Yüksek Okullar, Resmi Sağlık Kuruluşları, Kültür Bakanlığı ve Kümes Hayvanları Çiftliği

Diğer-2: İçme ve kullanma suyu ve tarımsal amaçlı soğuk hava depoları

Çok zamanlı tarife uygulamasında Gündüz 06-17, Puant 17-22, Gece 22-06 saatleri arasındır.

Emreamide kapasite bedeli tüketicinin kurulu gücü dikkate alınarak uygulanır.

Uygulanacak tarifeler her tüketici ve kullanıcı için ilgili bileşenlerden oluşan toplam tarifelerdir.

Reaktif enerji tarifesi ilgili usul ve esaslarda belirtilen şartlar dahilinde uygulanır.

* Fon pay vb. yasal yükümlülükler ayrı ca ile edilecektir.

G3508 LE

GAS ENGINE TECHNICAL DATA



ENGINE SPEED:	1500	FUEL:	NAT GAS
COMPRESSION RATIO:	11.7:1	FUEL SYSTEM:	Deltec
AFTERCOOLER (°C)	99/32	WITH Customer Supplied AIR FUEL RATIO CONTROL	
JACKET WATER (°C)	99	MIN. FUEL PRESS. (KPAg):	10
COOLING SYSTEM:	COMBINED	MIN. METHANE NUMBER:	70
IGNITION SYSTEM:	EIS	RATED ALTITUDE (m):	500
EXHAUST MANIFOLD:	DRY	AT AMBIENT TEMP (°C):	25
COMBUSTION:	LEAN BURN	NOx EMISSION LEVEL:	TA LUFT

RATING AND EFFICIENCY	NOTES	LOAD	100%	75%	50%
LHV OF FUEL		MJ/Nm ³	36.1	36.1	36.1
ENGINE POWER		KW	535	401	268
ENGINE EFFICIENCY	(1)	%	39.5	38.0	35.5
THERMAL EFFICIENCY	(6)	%	41.2	43.6	47.3
TOTAL EFFICIENCY	(7)	%	80.7	81.7	82.8

ENGINE DATA					
FUEL CONSUMPTION	(1)	MJ/bkW-hr	9.24	9.61	10.3
AIR FLOW (0 °C, 101.3 kPa)	(WET)	Nm ³ /bkW-hr	4.1	4.19	4.36
AIR FLOW	(WET)	kg/bkW-hr	5.3	5.41	5.63
COMPRESSOR OUT PRESS.		KPAa	245	210	158
COMPRESSOR OUT TEMP.		°C	148	122	85
INLET MAN. PRESS.		KPAa	217	168	121
INLET MAN. TEMP.	(11)	°C	40	38	35
TIMING	(12)	°BTDC	20	20	20
NOISE - MECH @ 1m		dB(A)	100	99	98
NOISE - EXH @ 1.5 m		dB(A)	111	110	109
EXHAUST STACK TEMP.		°C	474	497	502
EXHAUST GAS FLOW (0 °C, 101.3 kPa)	(WET)	Nm ³ /bkW-hr	4.39	4.48	4.67
EXHAUST MASS	(WET)	kg/bkW-hr	5.49	5.61	5.84

EMISSIONS DATA					
NOx (as NO ₂) (corr. 5% O ₂)	(10)	mg/Nm ³	500	500	500
CO (corr. 5% O ₂)	(10)	mg/Nm ³	930	896	900
THC (corr. 5% O ₂)	(10)	mg/Nm ³	1611	1823	2148
NMHC (corr. 5% O ₂)	(10)	mg/Nm ³	242	274	323
EXHAUST O ₂	(10)	%	9.1	9.0	8.2
LAMBDA			1.72	1.70	1.64

HEAT BALANCE DATA					
LHV INPUT	(1)	KW	1354	1056	755
HEAT REJ. TO JACKET	(2)(8)	KW	166	138	119
HEAT REJ. TO ATMOSPHERE	(4)	KW	60	50	40
HEAT REJ. TO LUBE OIL	(5)	KW	84	70	60
HEAT REJ. TO EXH. (LHV to 25°C)	(2)	KW	423	344	247
HEAT REJ. TO EXH. (LHV to 120°C)	(2)	KW	308	252	178
HEAT REJ. TO A/C	(3)(9)	KW	86	52	22

CONDITIONS AND DEFINITIONS

ENGINE RATING OBTAINED AND PRESENTED IN ACCORDANCE WITH ISO 3046/1 (STD. REF. CONDITIONS OF 25°C, 100 KPA, 152 m). NO OVERLOAD PERMITTED AT RATING SHOWN. CONSULT ALTITUDE CURVES FOR APPLICATIONS ABOVE MAXIMUM RATED ALTITUDE AND/OR TEMPERATURE.

NOTES

- 1) FUEL CONSUMPTION TOLERANCE ACCORDING TO ISO 3046/1. TOLERANCE IS + 5% OF FULL LOAD DATA.
- 2) HEAT REJECTION TO JACKET AND EXHAUST TOLERANCE IS ± 8% OF FULL LOAD DATA.
- 3) HEAT REJECTION TO A/C TOLERANCE IS ± 8% OF FULL LOAD DATA.
- 4) HEAT REJECTION TO ATMOSPHERE TOLERANCE IS ± 25% OF FULL LOAD DATA.
- 5) HEAT REJECTION TO LUBE OIL TOLERANCE IS ± 8% OF FULL LOAD DATA.
- 6) THERMAL EFFICIENCY: JACKET HEAT + LUBE OIL HEAT + EXH. HEAT TO 120°C.
- 7) TOTAL EFFICIENCY: ENGINE EFF. + THERMAL EFF. TOLERANCE IS ± 10% OF FULL LOAD DATA.
- 8) TOTAL J/W HEAT: COMBINED = JACKET HEAT + OIL COOLER HEAT (heat rate based on treated water)
2-CIRCUIT AND 3 CIRCUIT = JACKET HEAT (heat rate based on treated water)
- 9) TOTAL A/C HEAT: COMBINED AND 3-CIRCUIT = A/C HEAT x A/C HEAT REJ. FACTOR (heat rate based on treated water)
2-CIRCUIT = A/C HEAT x A/C HEAT REJ. FACTOR + O/C HEAT
- 10) EMISSION DATA SHOWN ARE DRY AND NOT TO EXCEED VALUES.
PUBLISHED PART LOAD DATA REQUIRES LAMBDA CONTROL.
- 11) MEASURED BETWEEN AFTERCOOLER OUTLET AND PLENUM ENTRY.
- 12) TIMING INDICATED IS FOR USE WITH THE MINIMUM FUEL METHANE NUMBER SPECIFIED. CONSULT THE APPROVED SERVICE GUIDE FOR TIMING AT OTHER METHANE NUMBERS.

G3508 LE

GAS ENGINE TECHNICAL DATA



FUEL USAGE GUIDE											
DERATE FACTOR/ENGINE TIMING vs METHANE NUMBER											
<30	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80 to 100
0/--	0/--	0/--	0/--	0/--	0/--	0/--	0/--	0.97/18*	1.0/20*	1.0/22	1.0/24

* Denotes Air Fuel Ratio Control Required for Maximum Rating

ALTITUDE DERATION FACTORS														
A	50	0.98	0.95	0.92	0.89	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76	0.74	0.71	0.69	0.67
M	45	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.83	0.80	0.77	0.75	0.73	0.70	0.68
B	40	1.00	0.98	0.95	0.92	0.89	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76	0.74	0.71	0.69
I	35	1.00	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.83	0.80	0.77	0.75	0.72	0.70
E	30	1.00	1.00	0.98	0.95	0.92	0.89	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76	0.74	0.71
N	25	1.00	1.00	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.83	0.80	0.77	0.75	0.72
T	20	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.93	0.90	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76	0.74
	15	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.83	0.80	0.77	0.75
(°C)	10	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.93	0.90	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76
		0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000

ALTITUDE (METERS ABOVE SEA LEVEL)

AFTERCOOLER HEAT REJECTION FACTORS														
A	50	1.30	1.34	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39
M	45	1.23	1.28	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
B	40	1.17	1.21	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
I	35	1.10	1.15	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
E	30	1.04	1.08	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
N	25	1.00	1.02	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
T	20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
(°C)	10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000

ALTITUDE (METERS ABOVE SEA LEVEL)

FUEL USAGE GUIDE:

This table shows the derate factor required for a given fuel and what engine timing to use. Note that deration occurs as the methane number decreases. Methane number is a scale to measure ignition and burning characteristics of various fuels. Representative values are shown below.

Methane	100
Ethane	44
Propane	34
n-Butane	10
Hydrogen	0

Most dry pipeline natural gas has a methane number of 67 or above. The gas quality should be analyzed to determine the percentage of each constituent and then determine the methane number. Consult the dealer factory for assistance.

ALTITUDE DERATION FACTORS:

This table shows the deration required for various ambient temperatures and altitudes. Use this information to help determine actual engine power for your site.

ACTUAL ENGINE RATING:

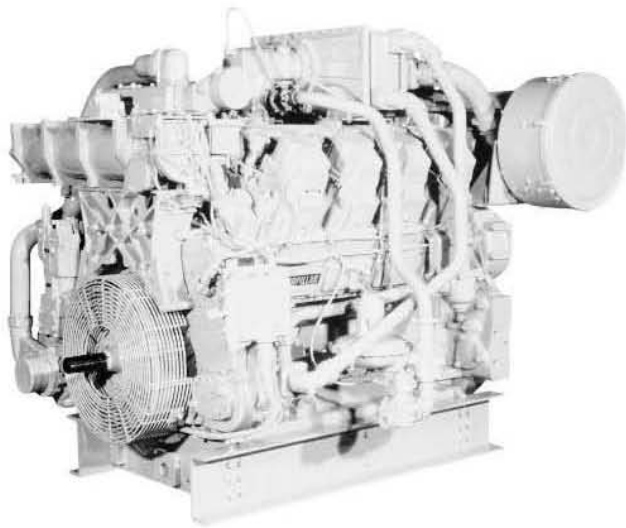
It is important to note that the Altitude/Temperature deration and the Fuel Usage Guide deration are not cumulative, i.e., they are not to be added together. The same is true for the Low Energy Fuel deration (reference the Caterpillar Methane Number Program) and the Fuel Usage Guide deration. However, the Altitude/Temperature deration and Low Energy Fuel deration are cumulative; and they must be added together in the method shown below. To determine the actual power available, take the lowest rating between 1) and 2).

- 1) (Altitude/Temperature Deration) + (Low Energy Fuel Deration)
- 2) Fuel Usage Guide Deration

Note: For NA's always add the Low Energy Fuel deration to the Altitude/Temperature deration. For TA engines only add the Low Energy Fuel deration to the Altitude/Temperature deration whenever the Altitude/Temperature deration is less than 1.0 (100%). This will give the actual rating for the engine at the conditions specified.

AFTERCOOLER HEAT REJECTION FACTORS:

Aftercooler heat rejection is given for standard conditions of 25°C and 152 m altitude. To maintain a constant inlet air manifold temperature, as the ambient air temperature goes up, so must the heat rejection. As altitude increases, the turbocharger must work harder to overcome the lower atmospheric pressure. This increases the amount of heat that must be removed from the inlet air by the aftercooler. Use the aftercooler heat rejection factor to adjust for ambient and altitude conditions. Multiply this factor by the standard aftercooler heat rejection. Failure to properly account for these factors could result in detonation and cause the engine to shut down or fail.

Shown with
Optional Equipment

Gas Industrial Engine **G3508**

310-670 hp

Standard and Low Emission

CATERPILLAR® ENGINE SPECIFICATIONS

V-8, 4-Stroke-Cycle, Spark Ignited

Bore—in (mm)..... 6.7 (170)

Stroke—in (mm)..... 7.5 (190)

Displacement—cu in (L)..... 2105 (34.5)

Compression Ratio

STD..... 9:1

LE..... 8:1

Aspiration Naturally Aspirated or
Turbocharged-Aftercooled

Lube Oil Capacity—gal (L)

STD*..... 94 (356)

STD**..... 105.5 (400)

LE..... 59 (224)

Jacket Water System—gal (L)

Capacity w/o Radiator 30 (114)

* Oil fill capacity with 14 elements

** Oil fill capacity without elements



FEATURES

■ DIESEL STRENGTH

All Caterpillar® gas engines are built on diesel frames which means greater service life. Caterpillar gas engines inherit more from their diesel counterparts than just strength. They are backed by the same support system recognized as one of the most sophisticated and dependable in the world.

■ APPLICATION FLEXIBILITY

Broad operating speed range and ability to burn a wide spectrum of gaseous fuels.

■ LOW EMISSIONS

Low emission engines are capable of NO(x) levels as low as 2.0 grams/hp-hr. Lower emissions may be achievable for selected applications. Consult your Caterpillar dealer.

■ CATERPILLAR® GAS ENGINES

Represent the latest technology in engine design. Engines are offered in both naturally aspirated and turbocharged/aftercooled configurations.

TA is offered as standard and low emission. These different configurations offer:

- High energy ignition systems for consistent firing
- High efficient combustion chamber for complete burning of the fuel.
- Modern component design such as deep cup, oil gallery piston.

■ ELECTRONIC IGNITION SYSTEM WITH DETONATION SENSITIVE TIMING

The Caterpillar electronic ignition system provides optimized spark timing for all operating conditions. Timing is automatically controlled to maintain continuous detonation protection.



G3508 GAS INDUSTRIAL ENGINE

STANDARD EQUIPMENT

Air cleaners single stage, dry, with service indicator	pressure differential, intake manifold temp., exhaust temp.
Breather, crankcase	stack, exhaust temp.
Carburetor natural gas	port, intake manifold pressure, tachometer
Cooler lubricating oil	Lifting eyes Manifolds, exhaust watercooled
Filter lubricating oil, RH	Pumps, gear driven aftercooler water (TA only)
Flywheel housing SAE No. 00	jacket water lubricating oil
Governor Woodward	Rails, mounting, 10 in. Regulator, gas pressure
Ignition system Altronic III or Cat E.I.S.	SAE standard rotation Thermostats and housing
Instrument panel, RH 12 Hole, service meter, optional gauges, oil pressure, water temp., oil	Torsional vibration damper

OPTIONAL EQUIPMENT

Air head for 3161
Air to air aftercooler connection
CSA ignition
Exhaust fittings
Low pressure gas conversion
Muffler
Power takeoffs
Starting systems
Tachometer

CONTINUOUS RATINGS (bhp)

Aspiration	1400 rpm	1300 rpm	1200 rpm	1100 rpm	1000 rpm	900 rpm
LE-90, 8:1	670	622	545	480	—	—
LE-130, 8:1	630	585	515	—	—	—
STD TA-90, 9:1	—	—	545	500	450	—
STD TA-130, 9:1	—	—	525	480	440	—
STD NA, 9:1	—	—	310	285	260	230

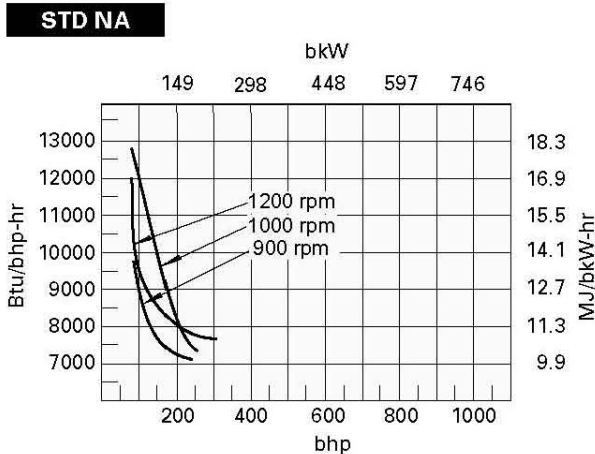
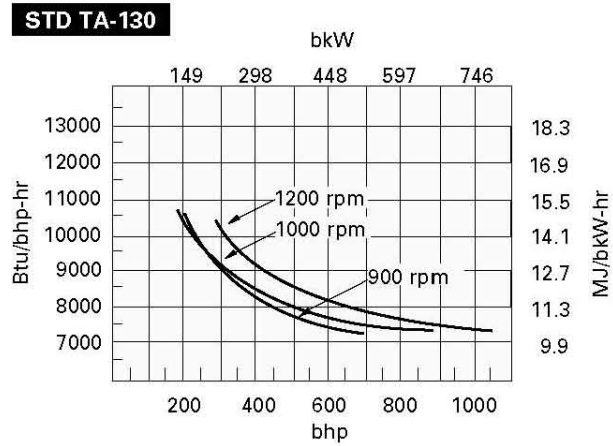
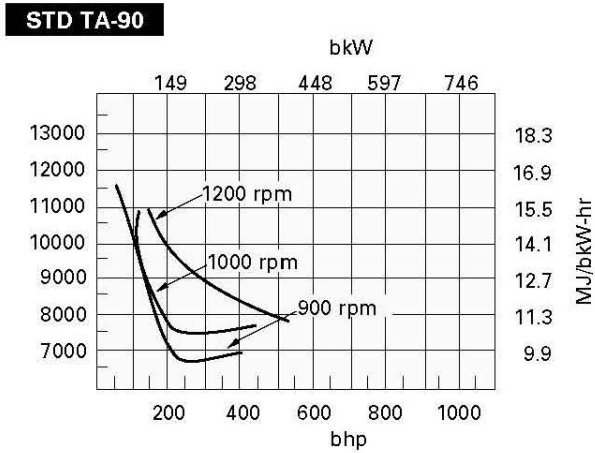
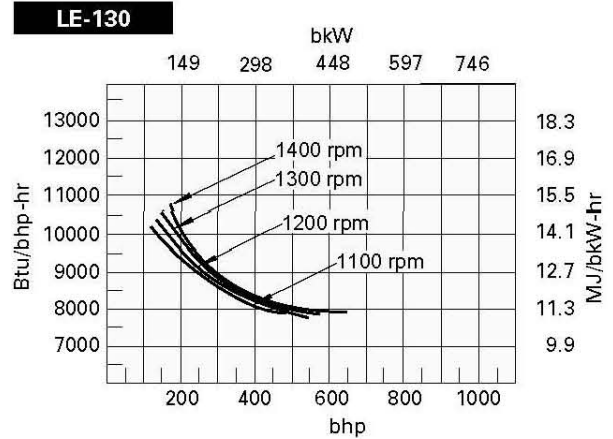
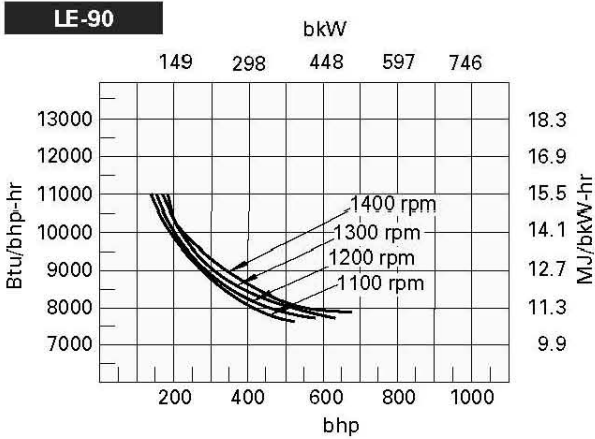
PHYSICAL FACTORS

	Height in (mm)	Width in (mm)	Length in (mm)	Weight lb (kg)
LE	73.5 (1867)	68.2 (1733)	88.5 (2247)	11 950 (5425)
STD TA	73.5 (1867)	68.2 (1733)	88.5 (2247)	11 950 (5425)
STD NA	77.1 (1985)	67.2 (1706)	83.9 (2131)	10 800 (4903)

G3508 GAS INDUSTRIAL ENGINE

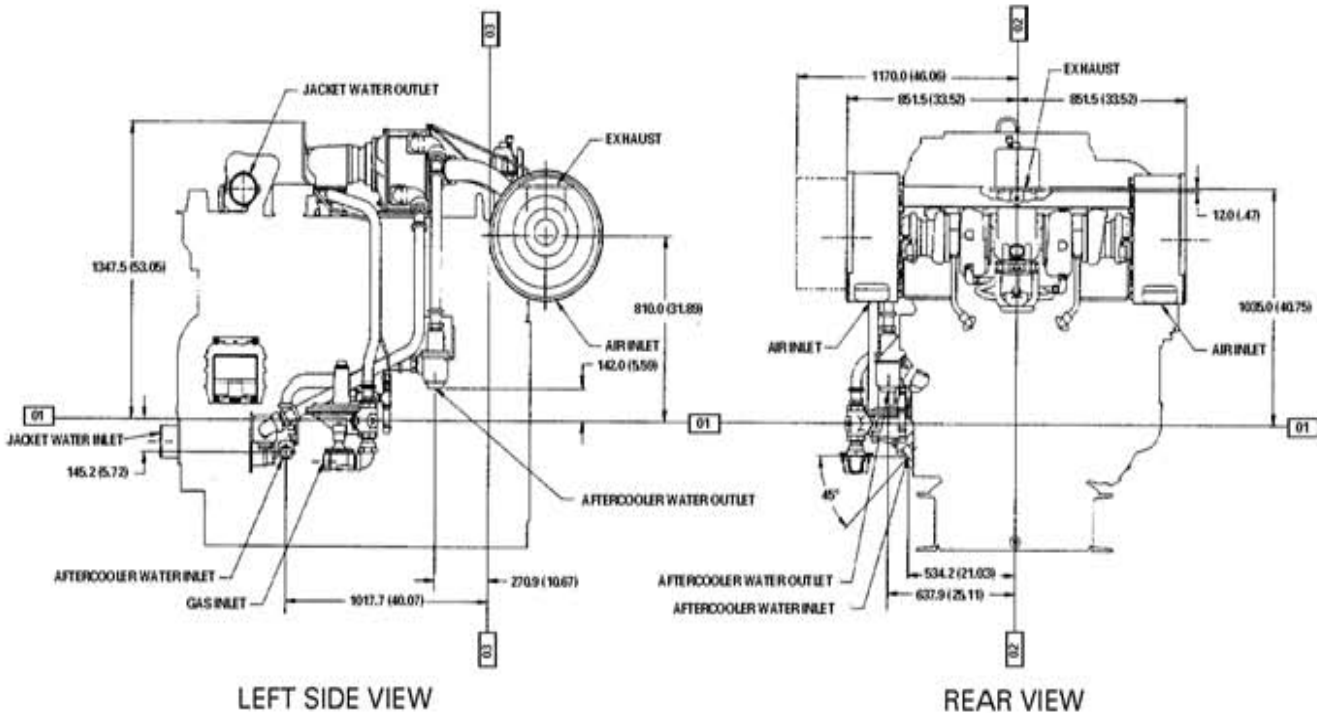


FUEL CONSUMPTION



LE refers to low emission engine configuration.
 STD refers to standard engine configuration.
 90 refers to aftercooler water inlet temperature in 90° F (32°C).
 130 refers to aftercooler water inlet temperature in 130° F (54° C).
 All data is based on standard conditions. 77° F (25° C) 500 ft alt.
 These ratings do not allow for overload capability.

GAS INDUSTRIAL ENGINE



- 01 Centerline of Crankshaft
- 02 Centerline of Engine
- 03 Rear Face of Cylinder Block

See general dimension drawing 120-6600 for additional Electronic Ignition System (E.I.S.) engine detail and NA information.

For magneto ignition system engines see general dimension drawing 4P-7423.

Note: General configuration not to be used for installation.

RATING CONDITIONS AND DEFINITIONS

Ratings are based on SAE J1349 standard conditions of 29.61 in Hg (100 kPa) and 77° F (25° C). These ratings also apply at ISO3046, DIN6271, BS5514. Standard conditions of 29.61 in Hg (100 kPa) 81° F (27° C) and API 7B-11C standard conditions of 29.38 in Hg (99 kPa) and 85° F (29° C) also apply.

Ratings are based on dry natural gas having an LHV (low heat value) of 905 btu/cu ft (35.22 MJ/N m³). Variations in altitude, temperature, and gas composition from standard conditions may require a reduction in engine horsepower; consult your Caterpillar dealer.

Turbocharged-aftercooled ratings apply to 5000 ft (1525 m) and 77° F (25° C). Naturally aspirated engines apply to 500 ft (150 m) and 77° F (25° C). For applications which exceed these limits consult your Caterpillar dealer.

Additional ratings may be available for specific customer requirements. Consult your Caterpillar representative for details.

ÖZGEÇMİŞ

Salih KARDAŞ, 01.11.1983'de Adapazarı'nda doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarı'nda tamamladı. 2001 yılında Sakarya Figen Sakallıoğlu Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2001 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü 2005 yılında bitirdi. 2008 Yılında ASEP Otomotivde satın alma mühendisi olarak çalışmaya başladı, halen bu işletmede üretim mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.