



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

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİYOGAZ ENERJİSİ VE GAZ MOTORLU KOJENERASYON TESİSİ
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ferhat AKKUŞ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

AKSARAY, 2018



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

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİYOGAZ ENERJİSİ VE GAZ MOTORLU KOJENERASYON TESİSİ
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ferhat AKKUŞ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

AKSARAY, 2018

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 162304404 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi **Ferhat AKKUŞ** tarafından hazırlanan "**BİYOĞAZ ENERJİSİ VE GAZ MOTORLU KOJENERASYON TESİSİ TASARIMI**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir

Danışman: Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

Aksaray Üniversitesi

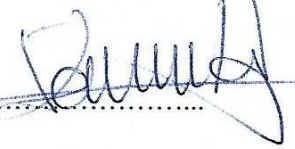
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



Üye: Prof. Dr. Kemal ALDAŞ

Aksaray Üniversitesi

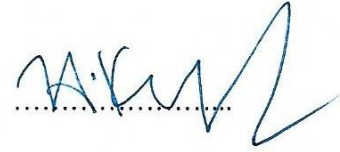
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



Üye: Prof. Dr. Yüksel KAPLAN

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 30 / 11 / 2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Ferhat AKKUŞ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca derslerimde ve tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek beni yönlendiren, bana yardımlarını, ilgisini ve desteğini esirgemeyen çok değerli tez danışmanım ve hocam Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN' e

Tez çalışmam kapsamında bana yardımcı olan Ar. Gör. Burcu ÇİÇEK' e

Tez çalışmalarında tecrübe ve bilgilerinden yararlandığım, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi'nden Doç. Dr. Abdullah AKBULUT hocama,

Tez çalışmalarım sırasında ziyarette bulunduğum ve sistemin çalışmasına birebir şahit olduğum Aksaray ilindeki Yapılcanlar Biyogaz Tesisi' ne ve çalışanlarına, Kırşehir ilindeki İlci Çiftliği Biyogaz Tesisi' ne ve çalışanlarına,

Biyogaz Tesis tasarımı çalışmalarım süresince görüştüğüm fikir aldığım, katalog ve fiyat konusunda yardımcı olan TOPKAPI GRUP, EKİN ENDÜSTRİYEL, KARYER GRUP, İDEAL MAKİNA, BARIŞ MÜHENDİSLİK, ENERMAK ve EKO-DENGE firmalarına ve bu firmaların değerli çalışanlarına,

Tez çalışmalarım sırasında bana her konuda yardımcı olan Kırşehir Ticaret Borsası Genel Sekreteri Battal ÇELİK ve borsa çalışanlarına,

Bu seviyelere gelmemde büyük emek ve katkıları olan tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma, Aksaray'da yüksek lisans hayatım boyunca bana her zaman destek olan her zaman yardımcı olan Samet AKKUŞ Abime ve tanıştığım arkadaşlarıma,

Yüksek lisans hayatım boyunca bana yol gösteren manevi desteklerini esirgemeyen ablam Zeynep AKKUŞ ÇUTUK ve kıymetli eşi eniştem Selman ÇUTUK' a

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, mesleki olarak her zaman yanımda olan ve her daim bilgisine başvurduğum Yüksel Abime,

Son olarak, yaşamım boyunca attığım her adımda maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen ve bugünlere gelmemi sağlayan kuzenlerime ve aileme, özellikle de başarımda en büyük pay sahibi olan annem Kibriye AKKUŞ ve babam Şahin AKKUŞ' a,

TEŞEKKÜR'ü bir borç bilirim.

Ferhat AKKUŞ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	20
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	32
3.1. Biyogaz Tesisleri ve Bileşenleri.....	32
3.2. Biyogaz Tesislerinin Sınıflandırılması.....	34
3.3. Besleme Yöntemlerine Göre Biyogaz Tesisleri.....	35
3.3.1. Sürekli tip biyogaz tesisleri.....	35
3.3.2. Kesikli tip biyogaz tesisleri.....	36
3.4. Reaktör Tasarımlarına Göre Biyogaz Tesisleri.....	38
3.4.1. Sabit kubbeli biyogaz tesisleri.....	38
3.4.2. Hareketli kubbeli biyogaz tesisleri.....	39
3.4.3. Membran (Balon) tipi biyogaz tesisleri.....	41
3.5. Biyogaz Üretiminde Reaktör Sıcaklığının Sağlanması ve Reaktör Isıtma.....	43
3.6. Biyogaz Tesislerinde İşlem Akışı.....	44
3.7. Biyogaz Tesislerinin Avantaj ve Dezavantajları.....	45
3.8. Biyogaz Tesislerinde Fizibilite Çalışmalarının Önemi.....	47
3.9. Biyogaz Tesislerinin Toplam Maliyetlerinin Hesaplanması.....	48
3.10. Gaz Motorları ve Çalışma Prensibi.....	50
3.11. Kojenerasyon Sisteminin Seçilmesi.....	54
3.12. Gaz Motorlu Kojenerasyon Uygulamalarının Avantajları.....	56
3.13. Kojenerasyon Tesisinin Projelendirilmesi.....	57
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	61
4.1. Ön Değerlendirmeler.....	61
4.2. Gaz Motoru Seçimi.....	61
4.3. Bekleme Süresinin Belirlenmesi.....	64
4.4. Atık Türünün ve Miktarının Belirlenmesi.....	65
4.4.1. %100 Hayvansal atık kullanılması durumunda.....	69
4.4.2. %50 Hayvansal atık - % 50 mısır silajı kullanılması durumunda.....	70
4.4.3. %50 Hayvansal atık - % 50 patates atığı kullanılması durumunda.....	73
4.4.4. %50 Hayvansal atık - % 50 pancar küspesi kullanılması durumunda.....	75
4.4.5. %40 Hayvansal atık - % 60 mısır silajı kullanılması durumunda.....	77
4.4.6. %40 Hayvansal atık - % 60 patates atığı kullanılması durumunda.....	79
4.4.7. %40 Hayvansal atık - % 60 pancar küspesi kullanılması durumunda.....	81
4.4.8. %30 Hayvansal atık - % 70 mısır silajı kullanılması durumunda.....	82
4.4.9. %30 Hayvansal atık - % 70 patates atığı kullanılması durumunda.....	84
4.4.10. %30 Hayvansal atık - % 70 pancar küspesi kullanılması durumunda.....	86
4.5. Reaktör ve Gaz Deposunun Boyutlandırılması.....	88
4.6. Motor Ceket Soğutucusu.....	91
4.6.1. Plakalı ısı değiştiricisi.....	92
4.6.2. Intercooler (Kuru) soğutucu.....	92

4.7. Intercooler (Kuru) Soğutucu	93
4.8. Lube oil (Yağ Soğutma) Sistemi	94
4.9. Motor Egzoz Atık Isısı Geri Kazanımı (Sıcak Su Kazanı).....	94
4.10. Baca Seçimi	96
4.11. Pompa Seçimi.....	97
4.12. Maliyet Hesaplaması	98
4.13. Gelir Hesaplaması Ve Amortisman Süresi	104
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	106
KAYNAKLAR	108
EKLER	110
EK A. Kırşehir Ticaret Borsası Verileri Dilekçesi	110
EK B. GE Jenbacher 3 Serisi Kataloğu	112
EK C. Membran Kataloğu	114
EK D. Karıştırıcı Kataloğu	119
EK E. MIT Marka Isı Değiştiricilerinin Firma Hesapları	121
EK F. Karyer Marka Kuru Soğutucu Firma Hesapları	123
EK G. Atık Isı Kazanı Firma Kataloğu	128
EK H. Baca Kataloğu	131
EK I. Pompa Kataloğu	134
ÖZGEÇMİŞ	138

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BIYOGAZ ENERJİSİ
VE
GAZ MOTORLU KOJENERASYON TESİSİ TASARIMI

Ferhat AKKUŞ

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

ÖZET

Gelişen teknoloji ve artan nüfusla birlikte enerjiye ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların yetersizliği toplumları yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Bu enerji kaynakları güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyogazdır. Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir potansiyele sahiptir ve bu alanda sürekli çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada biyogaz, kojenerasyon sistemleri ve gaz motorları üzerinde durulmuştur. Biyogazın özellikleri, kullanım alanları, oluşum aşamaları, değerlendirilmesi, tarihsel gelişimi, üretilmesi ve biyogaz tesisleri incelenmiştir. Hem elektrik hem de ısı enerjisinin birlikte üretildiği sistemler olan kojenerasyon sistemleri ve özellikle gaz motorlu kojenerasyon sistemleri araştırılmıştır. Genel hatlarıyla fizibilite çalışmasının nasıl yapılacağı, kojenerasyon ünitesinin nasıl seçileceği ve tesisin maliyetinin nasıl yapılacağı anlatılmıştır. Son olarak Kırşehir ili çevresinde biyogaz enerjisi kullanarak 1 MW elektrik gücü üreten gaz motorlu bir kojenerasyon sistemi temel ekipmanları ile tasarlanmıştır. Bu tasarımda sadece hayvansal atıklar kullanıldığında maliyetin çok yüksek olduğu gözlemlenmiş ve bu maliyeti düşürmek için hayvansal atıklara Kırşehir ili bünyesinde kolaylıkla tedarik edilebilen bitkisel atıklar karıştırılmıştır. Sonuç olarak atık türünün tesis tasarımı ve amortisman süresine doğrudan etkisi olduğu açıkça görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Biyogaz, Kojenerasyon, Gaz motorları, Fizibilite.

Ekim, 2018; 132 sayfa

M.Sc. THESIS
BIOGAS ENERGY
AND
GAS ENGINEED COGENERATION PLANT DESIGN

Ferhat Akkuş

Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

ABSTRACT

With the developing technology and increasing population, the need for energy is increasing day by day. The inadequacy of fossil fuels has directed societies to renewable energy sources. These energy sources are solar, wind, geothermal and biogas. our country has a rich potential for renewable energy resources and continuous efforts are being made in this field.

In this study biogas, cogeneration systems and gas engines has been dwelled on. Biogas properties, usage areas, formation stages, evaluation, historical development, production and biogas plants were investigated. Cogeneration systems, which are the systems where both electricity and heat energy are produced together, and espacially cogeneration systems with gas engines are investigated. In general terms, how to make feasibility study, how to select the cogeneration unit and how to make the plant cost is explained. Finally, cogeneration system with a gas engine that produces 1 MW of electrical power using the biogas energy around Kırşehir province is designed with basic equipment together. In this design, it was observed that the cost was very high when only animal wastes were used, and the herbal wastes which were easily supplied within the Kırşehir province were mixed to reduce this cost. As a result, it has been clearly observed that waste type has a direct effect on plant design and depreciation period.

Keywords: Renewable energy, Biogas, Cogeneration, Gas engines, Feasibility.

October, 2018; 132 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllara göre güç dağılımı.....	2
Şekil 1.2.	Biyogaz üretiminde kullanılan atıklar	4
Şekil 1.3.	Biyogazın kullanım alanları.....	5
Şekil 1.4.	Biyogaz üretim prosesi	10
Şekil 1.5.	Kojenerasyon olayında yakıtın verimi.....	12
Şekil 1.6.	Kojenerasyon tesisi ve ekipmanları	14
Şekil 1.7.	Kojenerasyon sistemi çalışma prensibi.....	15
Şekil 1.8.	Gaz türbinli kojenerasyon sistemi	16
Şekil 1.9.	Buhar türbinli kojenerasyon sistemleri.....	17
Şekil 1.10.	Gaz ve buhar türbinli kojenerasyon sistemleri	18
Şekil 1.11.	Gaz motorlu kojenerasyon sistemi	18
Şekil 1.12.	Mikro türbine bağlı kojenerasyon sistemi	19
Şekil 3.1.	Biyogaz tesisi ana bileşenleri.....	32
Şekil 3.2.	Biyogaz tesisi ve ekipmanlarının genel görünümü.....	33
Şekil 3.3.	Kapasitelerine göre biyogaz tesisleri	34
Şekil 3.4.	Reaktör tasarımına etki eden değişkenler	34
Şekil 3.5.	Sürekli tip biyogaz reaktörleri	36
Şekil 3.6.	Kesikli tip biyogaz reaktörleri	37
Şekil 3.7.	Sabit kubbeli biyogaz tesisi yapısı ve işlem akışı.....	38
Şekil 3.8.	Sabit kubbeli tesisin ekipmanları.....	39
Şekil 3.9.	Hareketli kubbeli tip biyogaz tesisi	40
Şekil 3.10.	Hareketli kubbeli biyogaz tesisi ekipmanları ve yapısı	41
Şekil 3.11.	Balon tipi biyogaz tesisleri	41
Şekil 3.12.	Yatay tip biyogaz tesisi bileşenleri	42
Şekil 3.13.	Biyogaz reaktörü ısııl denge şematik gösterimi.....	43
Şekil 3.14.	Örnek bir biyogaz tesisinde işlem akışı	45
Şekil 3.15.	Motorlu bir kojenerasyon sisteminin bileşenleri	50
Şekil 3.16.	Gaz motorunun yapısı.....	51
Şekil 3.17.	Gaz motorlu kojenerasyon tesisinin bileşenleri.....	52
Şekil 4.1.	GE Jenbacher J320 GS gaz motoru	62
Şekil 4.2.	Membran tip biyogaz tesisinde kullanılan membran (balon)	90
Şekil 4.3.	Türkiye'nin jeotermal haritası	91
Şekil 4.4.	Atık ısı kazanı	95
Şekil 4.5.	Gaz motorundan kazanılan hesaplanmış ısı enerjisi değerleri	96
Şekil 4.6.	Barış mühendislik baca tasarım resmi	97
Şekil 4.7.	Börger marka lobe pompa	97
Şekil 4.8.	Atık karışımına göre yıllık kar zarar grafiği	105

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Biyogazın genel olarak kimyasal bileşenleri	3
Çizelge 1.2.	Biyogaz üretiminde etkili olan etmenler.....	11
Çizelge 2.1.	Biyokütle lisansı olan Türkiye’deki şirketler	30
Çizelge 3.1.	Kesikli sistemlerin avantaj ve dezavantajları	37
Çizelge 3.2.	Sabit kubbeli tesislerin avantaj ve dezavantajları	39
Çizelge 3.3.	Hareketli kubbeli tesislerin avantaj ve dezavantajları	41
Çizelge 3.4.	Balon tipi biyogaz tesislerinin avantaj ve dezavantajları	42
Çizelge 3.5.	Biyogaz tesisinin maliyetleri	49
Çizelge 3.6.	Kojenerasyon sistemlerinin kapasite özellikleri	54
Çizelge 3.7.	Kojenerasyon sistemlerinde elektrik ve ısı enerjisinin ihtiyaçlara göre dengelenmesi	55
Çizelge 4.1.	Kırşehir ili meteorolojik verileri	61
Çizelge 4.2.	GE Jenbacher J320 gaz motorunun teknik özellikleri	63
Çizelge 4.3.	Hidrolik bekleme süresi	64
Çizelge 4.4.	Hayvan türüne göre üretilen gübre miktarları	65
Çizelge 4.5.	Hayvansal atıkların listesi ve özellikleri.....	66
Çizelge 4.6.	Bitkisel atıkların listesi ve özellikleri	67
Çizelge 4.7.	Çiftlik dışı atıkların listesi ve özellikleri	68
Çizelge 4.8.	Sonuçlara göre reaktör boyutları	89
Çizelge 4.9.	Reaktör sayıları ve gaz deposu boyutları.....	90
Çizelge 4.10.	Atık türüne göre debinin değişimi	98
Çizelge 4.11.	Hayvan ve bitki fiyatları	98
Çizelge 4.12.	Hayvanların ve bitkisel atıkların yıllık toplam fiyatları	99
Çizelge 4.13.	Çiftlik tasarım maliyeti ile yem ve işçilik ücretleri	100
Çizelge 4.14.	Ekipman maliyetleri.....	100
Çizelge 4.15.	Reaktör ekipman maliyetleri.....	101
Çizelge 4.16.	Ekipmanların Türk Lirası cinsinden toplam maliyetleri.....	101
Çizelge 4.17.	Tesis yatırım harcamaları	102
Çizelge 4.18.	Çiftliğin toplam giderleri	102
Çizelge 4.19.	Tesisin toplam giderleri	103
Çizelge 4.20.	Toplam yıllık giderler	103
Çizelge 4.21.	Yıllık toplam gelirler	104
Çizelge 4.22.	Geri dönüş süresinin belirlenmesi	105

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_{rea}	Reaktör Alanı
A_0	Tesiste kullanılan malzemenin bozunma hızı
C	Karbon
CH_4	Metan
CH_3COOH	Asetik Asit
$CH_3(CH_2)_nCOOH$	Uçucu Yağ Asitleri
$C_6H_{10}O_5$	Karbonhidrat
$C_{50}H_{90}O_6$	Yağ
cm^3	Santimetre küp
$6C_2NH_3 \cdot 3H_2O$	Protein
CO	Karbon monoksit
CO_2	Karbondioksit
c_p	Özgül ısı
D	Reaktör iç çapı
d	Gaz deposu çapı
dB(A)	Desibel
dm^3	Desimetre küp
DTG	Doğrudan Tesis Giderleri
E	Tesiste üretilen enerji miktarı
E_g	Tesiste üretilen yıllık elektrik enerjisi miktarı
EM	Elektrik Maliyeti
E_p	Tesiste üretilen elektriğin fiyatı
g	Gram
G_b	Biyogaz üretiminin sonunda kalan atık malzemenin satış fiyatı
GE	General Electric
sa	Saat
HBS	Hidrolik bekleme süresi
h_g	Gaz deposu yüksekliği
H_2	Hidrojen
H_g	Tesiste üretilen ısı enerjisi miktarı
H_2O	Su
H_p	Üretilen ısı enerjisinin 1 kwsa' nin parasal karşılığı
H_R	Reaktör yüksekliği (m)
H_2S	Hidrojen Sülfür
Hz	Hertz
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IKO	İç Kararlılık Oranı
K	Kelvin cinsinden sıcaklık
kcal	Kilokalori
KDV	Katma değer vergisi
kg	Kilogram
KM	Atıkların katı madde miktarı (%)
$KM_{atık}$	Karışmış atıkların katı madde miktarı (%)
kPa	Kilopascal
K_T	Toplam ısı geçiş katsayısı
kVA	Gerçek güç
kW	Kilowatt

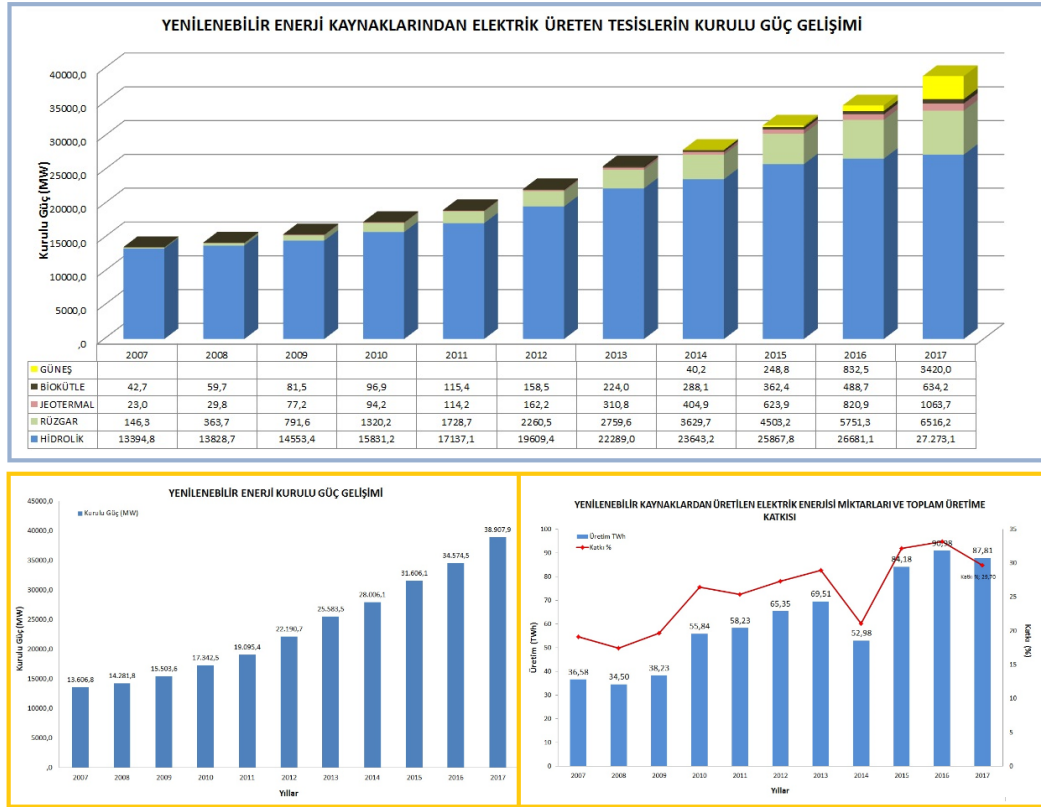
kWsa	Kilowatt saat
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
lt	Litre
M	Besleme hammaddesinin kütlesi
m³	Metre küp
mbar	Milibar
min	Dakika
mm	Milimetre
M_{atık}	Bir günde toplanan toplam atık miktarı (ton/gün)
M_{bitki}	Bir günde toplanan toplam bitkisel atık miktarı (ton/gün)
M.S.	Milattan Sonra
m_{sığır}	Bir günde toplanan 1 hayvanın atık miktarı (kg/gün)
MW	Megawatt
MWe	Megawatt elektrik
N	Azot
n_{hayvan}	Toplam hayvan sayısı
Nm³	Newton Metreküp
NO_x	Azot oksit
OKM	Atıkları madde miktarının organik içeriği (%KM)
O₂	Oksijen
ÖYM	Özgöl Yatırım Maliyeti
ph	Çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini ifade eden ölçü birimi
Q_B	Buharlaşmayla oluşan ısı kaybı
Q_G	Reaktörden ayrılan biyogazla meydana gelen ısı kaybı
Q_M	Besleme hammaddesinin sıcaklığının reaksiyon sıcaklığına getirilmesi için gereken ısı
Q_R	Reaksiyon esnasında açığa çıkan ısı kazancı
Q_T	toplam ısı enerji miktarı
Q_Y	Reaktörünün yüzeylerinden meydana gelen ısı kaybı
R_{BP}	Biyogaz tesisinden kazanılan gelirlerin toplamı
S	Biyogaz üretmek için tesiste kullanılan atık madde miktarı
V	Voltaj
V_{bio}	Atıkların biyogaz hacmi (m ³ /gün)
V_{bit,bio}	Bitkisel atıkların biyogaz hacmi (m ³ /gün)
V_{CH4}	Atıkların metan hacmi (m ³ /sa)
V_{CH4(bitki)}	Bitkisel atıkların metan hacmi (m ³ /gün)
V_{CH4(hayvan)}	Hayvansal atıkların metan hacmi (m ³ /gün)
V_d	Gaz deposunun hacmi
V_{hay,bio}	Hayvansal atıkların biyogaz hacmi
V_R	Reaktör hacmi (m ³)
YTG	Yerleşik Tesis Giderler
°C	Derece santigrat
ΔT	Sıcaklık farkı
%CH₄	Atıkların yüzdece metan içeriği
μ_{bio}	Atıklarının biyogaza dönüşme oranı (lt/kg - OKM)

1. GİRİŞ

Günümüzde insanoğlunun hayatını devam ettirebilmesi için gerekli olan enerji, evrende insan ile doğa arasında doğal dengeyi sağlayan en önemli unsurlardan bir tanesidir. Dünyada artan nüfus, gelişen sanayileşme ve bilimsel ilerlemeler ile enerji ihtiyacı günden güne artmaktadır. Canlıların ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük bir kısmı petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Kısıtlı rezervlerinin bulunması ve çevreye verdikleri olumsuz etkilerinden dolayı fosil kaynaklı yakıtların en elverişli biçimde kullanılmasının gerektiğinin yanı sıra yeni bir enerji teknolojisinin gerekli olduğunu tüm dünyaya gösterilmiştir. Bununla birlikte gelişmiş ve gelişme aşamasındaki ülkelerin enerji üretebilmesi, çözülmesi gereken en mühim problemlerin başında gelmektedir (Angın, 2005).

Enerji kaynakları kullanılmalarına ve dönüştürülmelerine göre iki sınıfa ayrılırlar. Enerji kaynakları kullanılmalarına göre yenilenebilir (temiz enerji) ve yenilenemez enerji kaynakları (fosil yakıtlar); dönüştürülmelerine göre ise birincil (primer) ve ikincil (sekonder) enerji kaynakları olarak sınıflandırılırlar. Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal bir çevrimde kullanıldığında azalmayan, değişme uğramadan aynen kalabilen ve bu çevrim sürecinin sonunda bitmeyen kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak güneş, rüzgâr, hidrolik, biyokütle ve dalga enerjileri kullanılırlar. Yenilenemez enerji kaynakları ise, bir çevrim sürecinde bir defa kullanılmasına rağmen kendini yenileyemeyerek tükenen enerji kaynaklarıdır. Yenilenemez enerji kaynakları olarak doğal gaz, kömür ve petrol gibi fosil kökenli yakıtlar kullanılırlar. Primer (birincil) enerji kaynakları, enerjinin herhangi bir şekilde değişime veya dönüşüme uğramamış halidir. Doğal gaz, petrol, kömür, biyokütle, hidrolik, dalga, rüzgâr ve güneş birincil enerji kaynaklarındandır. Sekonder (ikincil) enerji kaynakları ise, primer (birincil) enerji kaynaklarının bir dizi işlemlerden geçirilerek dönüştürülmesiyle elde edilir. Benzin, mazot, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve elektrik ikincil enerji kaynaklarındandır (Kaya ve Koç, 2015).

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dünyada ve ülkemizde her geçen gün ilgi artmaktadır. Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim tesislerinin kurulu güç dağılımları Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllara göre güç dağılımı (URL-1).

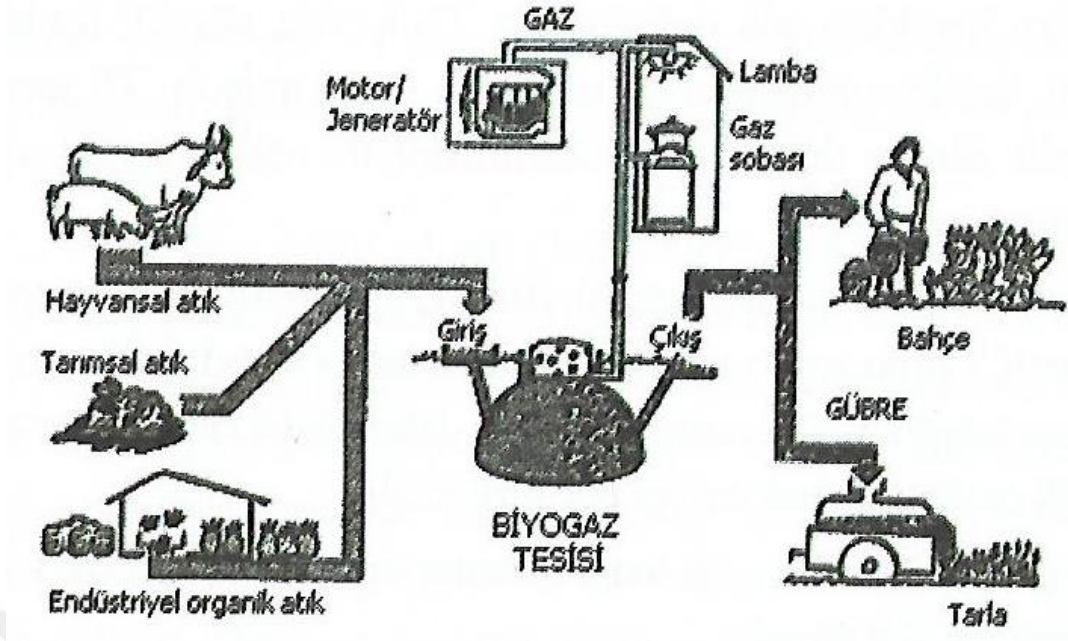
Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyogaz; oksijensiz alanlarda, organik atıkların (bitkisel ve hayvansal atıklar gibi.) fermantasyonu (oksijensiz solunumu) sonucunda ortaya çıkan ve içeriğinde % 60-70 oranında metan, % 30-40 oranında karbondioksit ile cüzi miktarlarda azot, hidrojen, hidrojen sülfür ve karbon monoksit karışımı bulunan renksiz ve yanıcı bir gazdır. Biyogazın kimyasal bileşenleri ve miktarları Çizelge 1.1’de görülmektedir. Hayvansal, bitkisel ve kentsel atıklar gibi organik atıkların, oksijenin bulunmadığı ortamlarda oksijensiz solunum işleminin sonucunda elde edilen biyogaz; renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanabilir. Oktan sayısı yaklaşık 110, yoğunluğu $1,21 \text{ kg/m}^3$, yanma sıcaklığı $700 \text{ }^\circ\text{C}$, alev sıcaklığı $870 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $-164 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de ancak sıvı hale gelebilen ayrıca kolayca bozulmaya uğramayarak sabit bir yapıya sahip olan bir gaz karışımıdır. Biyogazı oluşturan gazların karışımı; reaktöre besleme yapılacak maddelerin (atıkların) özelliklerine, sıcaklığa, hammaddenin su konsantrasyonuna, reaktöre yüklenecek maddelerin yüklenme hızına, sistemin işletme koşullarına ve reaktörde bulunan bakterilerin faaliyetlerine bağlıdır. Biyogazın bileşimini etkileyen bu değişkenlere bağlı olarak elde edilen enerji miktarı da etkilenmektedir. Biyogaz karışımının en önemli bileşeni metan gazıdır ve bu gaz biyogazın yakıt değeri ile doğrudan alakalıdır.

Metan gazının ısı değeri yaklaşık olarak 8900 kcal/m³'tür. Biyogazın ısı değeri (4700-5700 kcal/m³) bileşiminde bulunan metan gazının oranıyla orantılıdır. Örneğin, içeriğinde yarısından daha az miktarda metan gazı bulunan bir biyogaz karışımında, yanma olayı verimli olmaz. Normal koşullarda 1 m³ biyogaz; 660 cm³ motorinin, 750 cm³ benzinin, 250 dm³ propanın, 200 dm³ bütanın, 850 g kömürün, 620 cm³ gazyağının, 1460 g odun kömürünün, 3470 g odunun, 1230 g tezeğin ve 4,70 kwsa elektrik enerjisinin sağladığı ısı enerjisi kadar ısı üretir (Öçal, 2013).

Çizelge 1.1. Biyogazın genel olarak kimyasal bileşenleri (Öçal, 2013).

Bileşenler	Miktar (%)
Metan (CH ₄)	55-75
Karbondiyoksit (CO ₂)	30-45
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	1-2
Azot (N ₂)	0-1
Hidrojen (H ₂)	0-1
Karbon monoksit (CO)	Eser Miktarda
Oksijen (O ₂)	Eser Miktarda

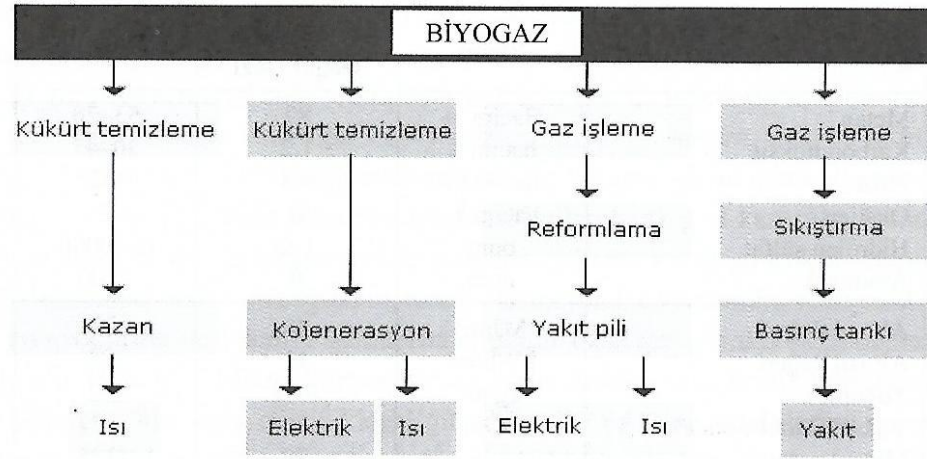
Biyogaz üretiminde hayvansal ve bitkisel atıkların yanı sıra kentsel ve endüstriyel atıklar da kullanılmaktadır bu atıklar görsel olarak Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Biyogaz üretiminde kullanılan hayvansal atıklar; koyun, sığır, tavuk, at ve domuz gibi hayvanların dışkısal atıkların yanında mezbahane atıkları ile hayvansal ürünlerin işlenmesi esnasında oluşan atıklardır. Biyogaz üretiminde kullanılan bitkisel atıklar; sap, saman, anız, çimen, mısır artıkları ve şeker pancarı yaprakları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımlarının yanında bitkisel ürünlerin işlenmesi sonucu oluşan atıklardır. Biyogaz üretmek için kullanılan kentsel ve endüstriyel atıklar ise; kanalizasyon atıkları, tekstil, kâğıt, deri, şeker ve gıda endüstrilerinin atıkları ile belediyeler ve büyük sanayi tesislerinin atıkları atıklardır (URL-2).



Şekil 1.2. Biyogaz üretiminde kullanılan atıklar (Kaya ve Öztürk, 2012).

Biyogaz ısıtma, aydınlatma, motorlarda ve yan ürün kullanımı olmak üzere çok geniş ürün yelpazesi olan enerji kaynaklarından biridir. Direkt olarak ısıtmada ve aydınlatmada kullanılabildiği gibi, elektrik enerjisi ve mekanik enerjiye dönüştürülerek kullanılabilmektedir. Bunlara ek olarak biyogaz üretimi sonucunda elde edilen yan ürünler ise farklı amaçlar için kullanılabilmektedir. Şekil 1.3’de biyogazın kullanım alanları gösterilmektedir. Biyogaz enerjisinin ısıtma amacıyla kullanımı, içeriğinde bulunan metan gazının sebep olduğu yanma özelliğindedir. Biyogazın tam yanmasının gerçekleşmesi için hava ile yedide bir oranında karışması gerekir. Biyogaz kullanılarak ısıtma amacıyla fırın, ocak, termosifon ve şofbenler kullanılabilir. Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ile çalışan sobalarda basınç ayarı yapılarak biyogaz kolayca kullanılabilmektedir. Biyogazın sobalarda kullanılması durumunda baca sistemi gerekir çünkü biyogazın bünyesindeki hidrojen sülfür gazının yanmadan ortama yayılmasına engel olunmalıdır. Biyogaz, doğrudan yanma işleminde ve elektriğe dönüştürülerek aydınlatma amacıyla kullanılabilir. Biyogazı direkt aydınlatmada kullanılmak için, LPG ile çalışan lambalardan faydalanılır. Ayrıca biyogaz benzinli motorlarda kullanıldığında hiçbir katkı maddesine ihtiyaç olmadan doğrudan veya içeriğinde bulunan metan gazının saflaştırılmasıyla da kullanılabilir. Biyogaz dizel motorlarında % 18-20 oranında motorin ile karıştırılarak kullanılmaktadır.

Biyogazın yan ürün olarak kullanımı ise, anaerobik fermentörlerden çıkan ve fermente gübre veya atık olarak adlandırılan maddeleri; azot, fosfor, potasyum ve birçok iz element içerir. Bu atıklardan, bitki besin maddesi ve organik madde açısından etkin özellikte toprak iyileştirici madde olarak yararlanılır. Biyogaz üretiminin sonucunda sıvı formda fermente olmuş organik gübre üretilir. Bu gübre tarlalara sıvı olarak kullanılabilir, granül haline dönüştürülebilir veya doğal olarak kuruması için havuzlara bırakılabilir. Fermantasyonun sonunda elde edilmiş olan organik gübrenin, anaerobik fermantasyon işleminin sonunda patojenik mikroorganizmalarının büyük bir çoğunluğunun yok olması en önemli üstünlüğüdür. Bu üstün özelliği sayesinde organik gübrenin, yaklaşık olarak % 10 oranında daha verimli kullanılmasını sağlar (Kaya ve Öztürk, 2012).



Şekil 1.3. Biyogazın kullanım alanları (Kaya ve Öztürk, 2012).

En eski teknolojilerden biri olan biyogaz teknolojisinin tarihsel gelişimine bakıldığında varlığının bilinmesi ve kullanılması milattan öncesine dayanır. Milattan önce 1000 yıllarında Asurluların sıcak su ihtiyacını karşılamak için biyogazı kullanmaya başlamış. Plinius (M.S. 23–79 yıllarında yaşamış) bataklıkların üzerinde titremeyle yanan alevlerden bahsetmiş. Jan Baptista Van Helmont organik maddelerin bozulması ile yanıcı gazların ortaya çıktığını 17. yüzyılda açıklamış. Robert Boyle, hayvansal ve bitkisel atıkların çürütülmesi sonucu gaz üretimi oluştuğunu 1682 yılında belirtmiş. Kont Alessandro Volta, bozunmuş olan organik madde miktarıyla üretilmiş olan yanıcı gaz miktarının arasındaki ilişkinin varlığını 1776 yılında ifade etmiş. Sir Humphry Davy, büyükbaş hayvanların atığından anaerobik fermantasyon yoluyla metan üretiminin olduğunu 1808 yılında ispat etmiştir.

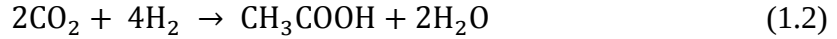
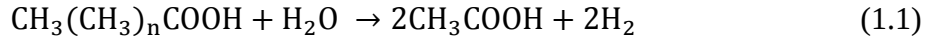
Endüstriyel boyuttaki tarımsal biyogaz üretim tesisi ilk 1837 yılında Cezayir’de yaklaşık 10 m³ hacminde Isman ve Ducellier tarafından kurulmuştur. Hindistan’ın Bombay kentinde ilk defa anaerobik çürütme tesisi 1859 yılında kurulmuş. 1881 yılının Aralık ayında ve 1882 yılının Ocak ayında M. Louis Mauras tarafından Fransız dergisi olan Cosmos’da yayınlanan çalışmada havasız bir kapta partiküller halde bulunan organik maddenin anaerobik biçimde sıvılaştırılabileceği gösterilmiştir. 1884 yılında Pasteur’ün öğrencilerinden biri olan Gayon, hayvan gübresi kullanarak anaerobik çürütme testleri yapmış. Pasteur, gaz hacminin 35 °C’deki toplanma büyüklüğünü görmüş ve gübrenin anaerobik fermantasyonuyla üretilen gazın hem ısıtma hem de aydınlatma sistemlerinde kullanılabileceği kanısına varmıştır. 1895 yılında İngiltere’de sokakların aydınlatılmasında atık suyun arıtılmasıyla üretilen biyogaz kullanılmıştır. 1930’lu yıllarda biyogaz teknolojisindeki gelişmeler biyogaz mikrobiyolojisi alanında olmuştur. 1930 yılında Buswell ve arkadaşları, üretilen biyogaz miktarının artışında etkili olan anaerobik bakterilerin uygun yaşam koşullarını belirlemişlerdir. Biyogaz üretiminde 1920’li yıllardan önce kullanılan anaerobik havuzlar bu tarihten sonra havuzlar yerine verim artışı sağlayan sistemlere yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmış ve biyogaz sistemlerine, sistemi karıştırmak için paletler, kapalı tanklar ve bakteriler için optimum sıcaklığı oluşturmak amacıyla ısıtma sistemleri ilave edilmiştir. İkinci Dünya Savaşı dönemlerinde savaş hali ve vergilerin artmasından dolayı, biyogaz sistemleri unutulmaya başlanmıştır. Bu savaş döneminde Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan ülkelerde, gelişmiş ülkelerin biyogaz sistemlerine yüz çevirmelerine rağmen biyogaz tesislerinin sayısı önemli ölçüde artmıştır. 20. yüzyıl başlarında gelişen anaerobik temas işlemleri ve çürütücülerin karıştırılması en önemli iki gelişmedir. Yüksek hızlı çürütücüler karıştırma yöntemleriyle ortaya çıkmış ve bakterilerle atık maddelerin teması arttırılmıştır. Stander, reaktörden ayrılan akımla bakterilerin reaktöre geri gönderilmesi işleminin reaktördeki tutulma süresini azalttığını deneylerinde göstermiş ve bu verileri daha sonra endüstriyel alanda kullanmıştır. 1955 yılında Schroepfer ve arkadaşları, reaktörün çıkış kısmına aktif çamurdan ekledikleri çökeltme tankı ile hidrolik alıkonma süresinin yirmi günden bir güne düştüğünü göstermişlerdir. Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktörler son yirmi yıldaki en önemli gelişmelerden biridir ve günümüzde en yaygın olarak anaerobik arıtma işlemlerinde kullanılan reaktörlerdir. Dünya genelinde, kırsal kesimlerinin ihtiyaçlarını karşılamak için küçük ölçekli ilkel sistemlerin Asya ülkelerinde kullanılır.

Asya ülkeleriyle birlikte teknolojik olarak gelişen Avrupa ülkeleri ve Amerika ile birlikte biyogaz sistemlerinin entegrasyonu ile yapılan çalışmaların amacı üretilen gaz miktarını artırmaktır. Optimizasyon parametrelerini belirlemek için bilhassa büyük hacimli sistemler ve bu büyük hacimli sistemlerin verimliliği üzerine araştırmalar yapılmıştır. Dünyada biyogaz üretimi ve kullanımı gelişen teknoloji ile sürekli artmaktadır. Hayvan gübresi kullanılarak üretilen biyogaz tesislerinin dünya genelinde oransal olarak dağıldığı zaman Çin % 80'ini, Hindistan, Nepal ve Tayvan ise % 10'unu oluşturmaktadır. 2006 yılının sonu itibarıyla Avrupa'da, toplam elektrik üretimi kapasitesinin 1100 MW civarında olduğu yaklaşık 3500 tane biyogaz tesisinin bulunmaktadır. Günümüzde ise sadece Almanya, Avusturya ve Danimarka'da işletilen yaklaşık 5000 tane biyogaz tesisi bulunmaktadır. Avrupa'daki tesis sayısı ve yapılan yatırımlar bakıldığında güney ve doğu bölgelerinin oranı, kuzey ve batı bölgelerine oranla daha azdır (Toprakçioğlu, 2016).

Genellikle direkt olarak yakılan veya tarım alanlarına gübre olarak kullanılan hayvansal ve bitkisel organik maddeler, çoğunlukla yakılarak ısı üretiminde de kullanılmaktadırlar. Bu kullanım şekliyle istenilen özelliklerde ısı üretilemez ve ısı üretildikten sonra atıkların tekrardan gübre olarak kullanılması da imkânsızdır. Organik maddelerden hem enerji üretmek hem de atıkları tekrar toprağa kazandırmak için biyogaz teknolojisi kullanılır. Biyogaz, çevre kirliliği yaratmayan, temiz bir enerji elde etmeyi amaçlayan, bitkilerin büyümesine ve gelişmesine uygun kaliteli gübre sağlayan, gübre kokusunu azaltan, gübrenin korozif etkilerini azaltan ve gübrelerdeki bitkilerin besin maddelerinin kaybını azaltan bir gazdır. Ayrıca biyogaz gübrelerdeki bitki besin maddelerinin faydalarını artıran, patojenleri gideren, atmosferdeki metan ve amonyak miktarını azaltan, organik atık maddelerin sorunlarının çözülmesine yardımcı olma gibi amaçlarla üretilirler. Hem enerji hem de gübre kaynağı olarak kullanılan biyogaz ekonomik ve çevre dostudur, kullanıldığı zaman atıkların geri kazanılmasını sağlar, biyogaz üretimi sırasında kullanılan hayvansal atıklarda bulunan yabancı ot tohumlarının çimlenme özelliklerini yitirmesini sağlar, hayvan gübresinin biyogaz üretiminin sonunda kokusunun hissedilmeyecek oranda azaltır. Bunlara ilaveten biyogaz üretimi hem insan sağlığını hem de yeraltı sularını tehdit eden hayvan gübrelerinin sebep olduğu hastalık faktörlerinin büyük oranda etkinliğinin azalmasını sağlar.

Organik atıkların biyogaz üretiminde kullanıldıktan sonra yok olmadan daha kıymetli organik gübre olarak kullanılması biyogaz üretiminin genel faydalarıdır (Kaya ve Öztürk, 2012).

Biyogaz teknolojisi, organik maddelerin değerlendirilmesi ve kullanılabilir başka ürünlere dönüştürülmesinde önemli bir role sahiptir. Özellikle katı atıkların değerlendirildiği ve metan gazının üretildiği biyogaz teknolojisinde çoğunlukla anaerobik fermantasyon (oksijensiz solunum) kullanılır. Oksijensiz ortamlarda, büyük ve kompleks yapıdaki organik moleküllerin mikroorganizmaların da yardımlarıyla farklı ürünlere dönüştürülmesi olayına anaerobik fermantasyon denir. Bir anaerobik fermantasyonda, kompleks yapıdaki organik maddelerin metan gazına dönüşebilmesi için farklı türden ve birbirine bağımlı mikroorganizma gruplarının aynı ortamda bulunması oldukça önemlidir. Bu birbirine bağımlı mikroorganizma grupları bakterilerden oluşur. Bu bakteriler; hidroliz bakterileri, asit oluşturan bakteriler ve metan üreten bakterilerdir. Her bakteri grubu, kendisinden önce gelen bakteri gruplarının ürettikleri maddeleri besin maddesi olarak kullanır ve bu maddeleri kendilerinden sonra gelen bakteri grupları için besin maddelerine çevirirler. Bakteri gruplarından hiçbirisi basit bir yapıdaki organik maddeyi tek başına metana dönüştüremez. Biyogaz üretimi esnasında, fermantasyon ve hidroliz, asetik asidin oluşumu ve metanın oluşumu aşamalarında organik maddelerin anaerobik fermantasyonu gerçekleşir. Fermantasyon ve hidroliz aşamasında, organik maddelerin üç esas unsurunu oluşturan karbonhidratların ($C_6H_{10}O_5$)_n, proteinlerin ($6C_2NH_3H_2O$) ve yağların ($C_{50}H_{90}O_6$) hidroliz bakteri grupları (fermente edici ve suyla reaksiyona girebilen (hidrolitik) bakteriler) tarafından parçalanarak, karbondioksit, asetik asit ve bileşimin büyük çoğunluğu çözülebilen, uçucu organik maddelere dönüştürülürler. Son grupta bulunan organik maddelerin büyük çoğunluğunu uçucu yağ asitleri oluşturduğundan bu aşamaya, uçucu yağ asitlerinin [$CH_3(CH_2)_nCOOH$] oluşum aşaması da denilir. Asetik asidin oluşum aşamasında, fermantasyon ve hidroliz aşamasının sonucunda açığa çıkan uçucu yağ asitleri, asit oluşturan bakterilerin (asetogenik) devreye girmesiyle asetik asit ve hidrojene dönüştürülürler. Denklem 1.1’de hidrojen ve asetik asit oluşumu gösterilmiştir. Bir başka asetik asit oluşturan bakteri grubunda ise, açığa çıkan karbondioksit ve hidrojen kullanılarak, asetik asitin üretilmesi Denklem 1.2’de görülmektedir. Birinci yolla oluşturulan asetik asit miktarı, ikinci yolla oluşturulan asetik asit miktarına oranla daha fazladır (Öçal, 2013).

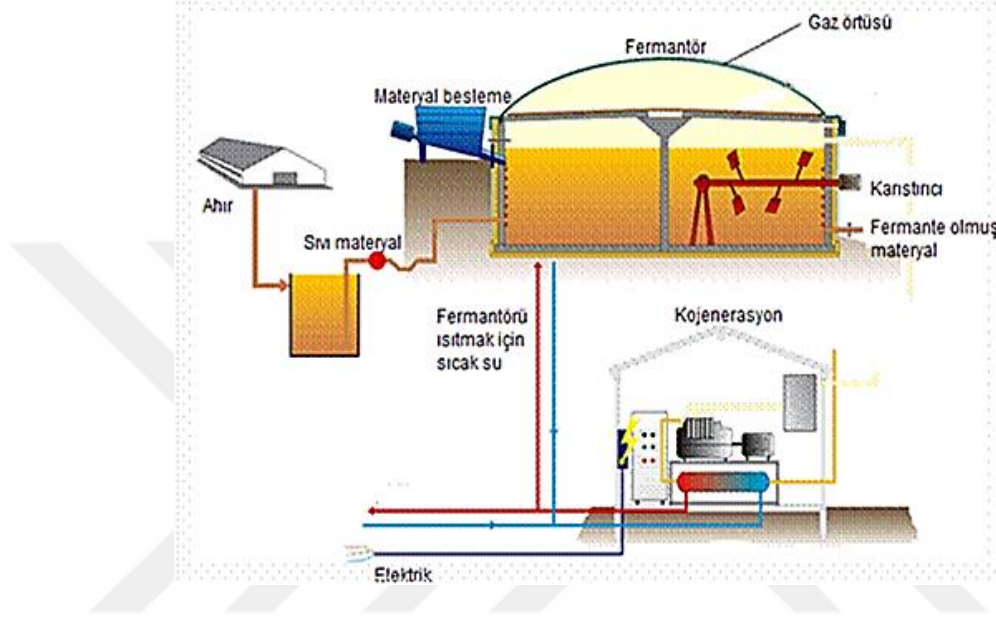


Anaerobik fermantasyonun son aşaması olan metan oluşumu aşamasında ise, metan oluşturan bakteriler devreye girerler. Metan oluşturan bakterilerin bir kısmı kullandıkları karbondioksit ve hidrojen sayesinde Denklem 1.3'te görüldüğü gibi metan ve su açığa çıkarırlar. Metan oluşturan bakteri gruplarının diğer bir kısmı ise, asetik asit oluşum aşamasının sonunda açığa çıkan asetik asidin yardımıyla Denklem 1.4'te görüldüğü gibi metan ve karbondioksit oluşturlar. İkinci yolla üretilen metan miktarı, birinci yolla üretilen metan miktarından daha fazladır. Metanın % 70'i ikinci yolla üretilirken % 30'u birinci yolla üretilmektedir. Anaerobik fermantasyonun metan oluşum aşamasında görev alan ve metan oluşumunu sağlayan metan bakterileri, fermantasyon ortamının sıcaklığına bağlı olarak üç gruba ayrılırlar: Sakrofilik bakteriler, mezofilik bakteriler ve termofilik bakteriler. Deniz ve göl diplerindeki tortular ile bataklıklarda yaşayan sakrofilik bakterilerin optimum faaliyet sıcaklığı 5-25 °C'dir. Sığır gübresinin içinde bulunan mezofilik bakterilerin optimum faaliyet sıcaklığı: 25-38 °C'dir. Yüksek sıcaklıklardaki volkanik ve jeotermal bataklıkların içerisinde yaşayan termofilik bakterilerin optimum faaliyet sıcaklığı ise 50-60 °C'dir. Sakrofilik ve termofilik bakteriler sığır gübresi içinde yaşamazlar (Öçal, 2013).



Anaerobik fermantasyon sonucunda üretilen biyogazın niteliği ve niceliği, reaktör içinde bulunan asit ve metan bakterilerinin arasındaki bir dengenin korunmasına bağlıdır. Biyogaz üretmek için kullanılan ham maddenin türü, Karbon/Azot (C/N) oranı, ortamın asitliği (pH), organik yükleme hızı, reaktör yükünün katı derişimi ve sıcaklık gibi faktörlerin kontrol edilmesiyle asit bakterileri ve metan bakterileri arasındaki denge sağlanır. Ortamın sıcaklığı, hammaddenin cinsi, hammaddenin miktarı, ortamın asitliği (pH), partikülün büyüklüğü, fermantasyonun süresi, Karbon/Azot (C/N) oranı, tesisin tipi, kuru maddenin miktarı gibi etmenler biyogaz tesisinde üretilen metan gazına etki ederler (Kaya ve Öztürk, 2012).

Hayvansal atık kullanarak üretilen örnek biyogaz üretim prosesinde ahırdan alınan hayvansal organik atıklar belirli bir alanda toplanarak sıvı materyal ile karıştırılarak organik maddenin doldurulduğu yer olan fermentöre gönderilir. Hava almayacak şekilde tasarlanmış olan fermentörde bulunan karıştırıcıların yardımıyla oluşan gaz kullanılmak üzere kojenerasyon ünitesine gönderilir. Şekil 1.4'te biyogaz üretim prosesi görülmektedir.



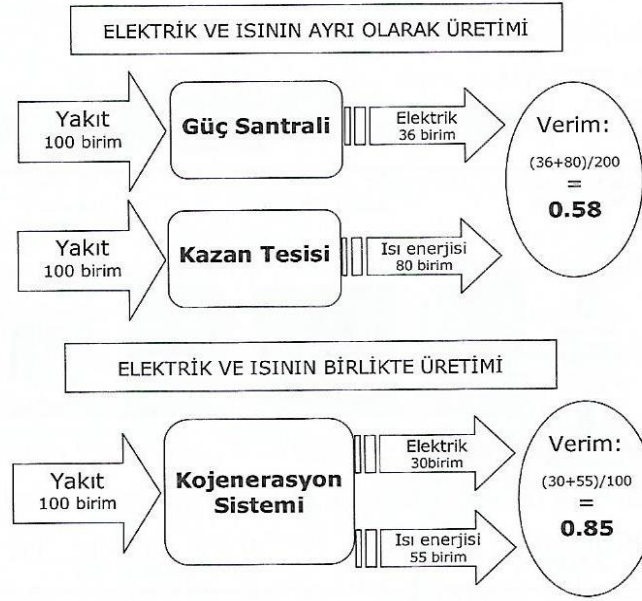
Şekil 1.4. Biyogaz üretim prosesi (URL-2).

Biyogaz üretimi sırasında, biyogaz tesisinde kullanılacak materyal, biyogaz sisteminde kullanılacak üreteç ve işlem sürecine bağlı olan etmenler etkili olmaktadır. Bu etmenler Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Biyogaz üretiminde etkili olan etmenler (Kaya ve Öztürk, 2012).

Materyale bağlı etmenler	Kullanılan materyalin türü ve içeriği Kuru maddeyle organik maddenin oranı İçerdiği yataklık miktarı Partikülün boyutu
Üretece bağlı etmenler	Üretecın yapıldığı malzeme Üreteç boyutları ve hacmi Üretecın konumu Karıştırma, yükleme ve boşaltma sistemleri Isıtma sistemleri ile yalıtım özellikleri
İşlem Sürecine bağlı etmenler	Uçucu maddenin oranı Organik kuru maddenin oranı Hidrolik yükleme oranı Fermantasyon sıcaklığı Bekletme süresi

Enerji kaynaklarına bakıldığında zaman özellikle petrol, kömür, doğalgaz gibi yenilenemez enerji kaynaklarının (fosil kaynaklı yakıtlar) rezervleri üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalara göre, dünya petrol rezervi 2050, doğalgaz rezervi 2070 ve kömür rezervi de 2150 yılında tükenecektir. Fosil kaynaklı yakıtların azalması sanayi ve bilimi alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Fosil yakıtlarının daha uzun geç tüketilmesi amacıyla çalışılan uygulamalar ve yeni teknolojilerden biri kojenerasyondur. Kojenerasyon, ısı ve elektrik enerjisinin aynı sistemde birlikte üretilmesi olayı olup ısı ve elektrik enerjisini ayrı ayrı üretmekten daha ekonomiktir. Gaz türbini veya gaz motoru kullanarak sadece elektrik üretildiğinde, kullanılan enerjinin % 30–40 kadarı elektriğe çevrilir. Aynı sistem, kojenerasyon sistemi ile kullanılırsa, sistemden dışarı atılacak ısı enerjisinin büyük bir kısmı da kullanılacağı için toplam giren enerjinin % 70–90’ı bu şekilde değerlendirilmiş olur. Şekil 1.5’de kojenerasyon sistem verimi görülmektedir. Bu tekniğe "birleşik ısı-güç sistemleri" veya "kojenerasyon" denilir. Bu teknikle enerji üreten tesislere “birleşik ısı-güç tesisi” veya “kojenerasyon tesisi” denilir (Çakır, 2006).



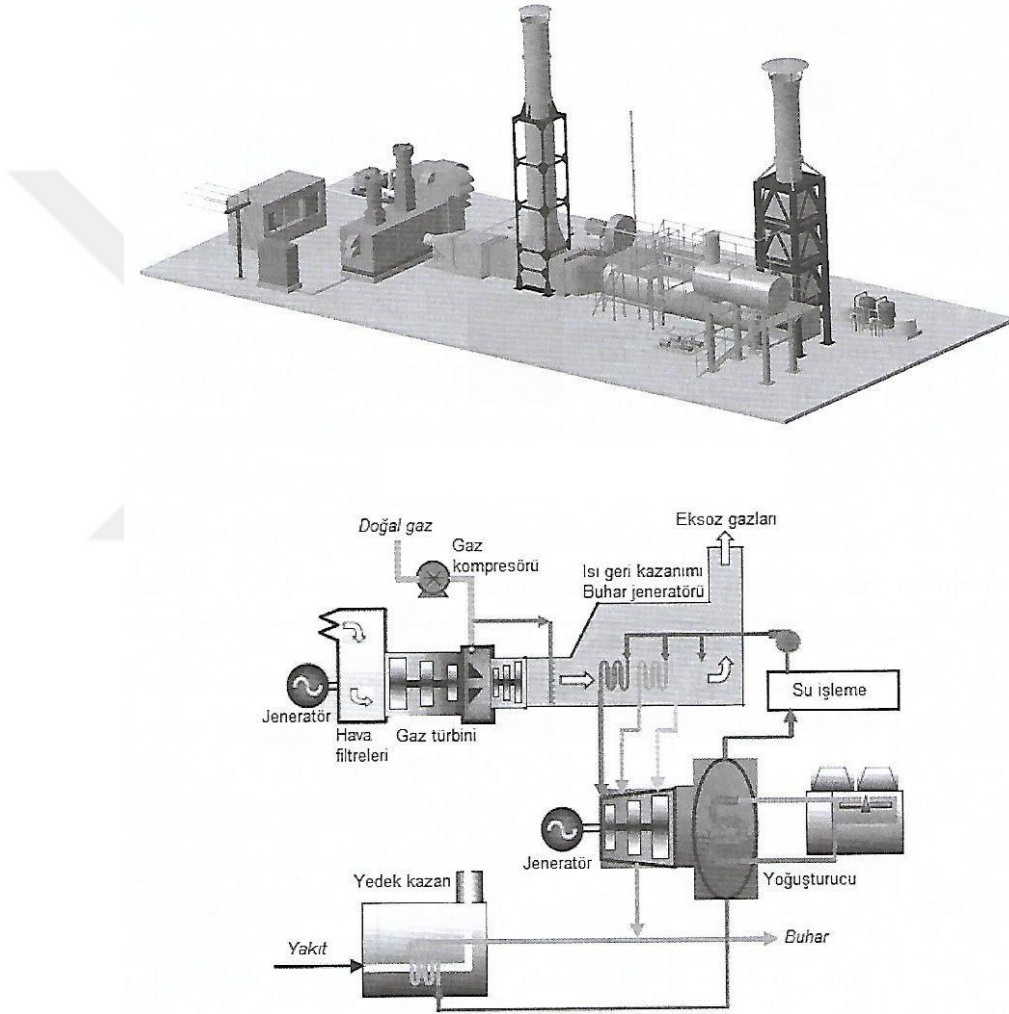
Şekil 1.5. Kojenerasyon olayında yakıtın verimi (Öztürk ve Kaya, 2014).

Kojenerasyon uygulamasının temel görevi, elektrik üretimi sırasında açığa çıkan atık ısıyı kullanılmasıdır. Bu amaçla açığa çıkan ısı; sistem ısısının sağlanmasında, kurutmada, konut ısınmasında, ek güç üretiminde veya soğutmasında kullanılabilir. Birleşik ısı-güç üretiminin diğer bir ifadeyle kojenerasyon sistemlerinin yararları şu şekilde sıralanabilir (Öztürk ve Kaya, 2014):

- Enerji çevrim verimi yüksektir, yerel veya dış alım yapan enerji kaynaklarına göre tasarruf sağlanır.
- Tüketicinin olduğu yerde enerji çevrimi gerçekleştiği için iletim ve dağıtımdan kaynaklı kayıplar yoktur.
- Merkezi santrallere göre, tasarım ve kullanıma girme süreleri kısadır, bundan dolayı elektrik daha hızlı üretilir ve daha çabuk satışa sunulur.
- Isı enerjisi üretiminde sadece elektrik üreten merkezi enerji santrallerine veya sadece buhar üreten endüstri kazanlarına göre çevreye bırakılan katı, sıvı ve gaz atık madde miktarı daha azdır.
- Tüketilen elektrik, az miktarda bulunan merkezi santrallerin yerine, endüstriyel tüketim yerlerinde dağılmış bir biçimde üretilebildiğinden, ulusal güvenliğe katkıda bulunur.
- Farklı yakıtlar kullanılabilir. Enerji üretimi kaliteli ve ucuzdur.
- Şebeke ile paralel çalışabilir, bundan dolayı ihtiyaç fazlası olan elektrik şebekeye satılabilir yahut ihtiyaç eksikliği olan elektrik şebekeden alınabilir.

- İşletmelerin toplam enerji maliyetleri azalır, üretilen ürünün kalitesinde bir değişiklik olmadan ürünün maliyeti azaldığı için şirketlerin rekabet gücü artar.
- İşletmelerin enerji tedarik etme garantisi artar. Üretim kesintilerinden kaynaklanan zararlar ortadan kalkar.
- Birincil enerjinin kullanım veriminin yüksek olmasından dolayı, yerel veya ithal enerji kaynaklarından enerji tasarrufu sağlar.
- Enerji tesisinin tüketilecek yerde kurulması sebebiyle, elektrik iletim, dağıtım, bağlantı ve sistem kayıpları ile nakil kayıpları en düşük seviyeye getirilecektir. Pahalı iletim ve dağıtım tesis yatırımlarına gerek olmaz.
- Küçük ve yerel şirketlerin kurup işletilebilmesi için küçük güçlerde ve ebatlarda tasarlanabilir.
- Elektrik merkezi santrallerin yerine dağınık şekilde tüketim mahallinde üretilmesi ulusal güvenlik bakımından da önemlidir.
- Genellikle enerji maliyetlerinde büyük oranda azalma sağlanır.
- Tesis kendisi için gerekli olan enerjisini kendisi ve istediği zaman, istediği kadar üretebileceğinden dışa bağımlılığı olmayacaktır.
- Tesiste elektrik kesintileri, frekans ve voltaj düzensizlikleri meydana gelmez.
- Uzun vadeli kredi kullanılarak kurulacak santrallerin üreteceği enerjinin maliyeti düşük olacağından ayrıca kullanmanın yanında satış da yapabilecek olması, yatırım maliyetini kısa sürede amorti eder.
- Sadece elektrik üreten merkezi enerji santralleri ya da sadece buhar üreten endüstri kazanlarına göre tesisten çevreye atılan atık miktarı daha azdır.
- Atık ısı uygulamasında egzoz gazlarından faydalandığı için karbon monoksit emisyonları oldukça düşüktür. Düşük CO emisyonlu bir sistem, çevre kirliliği açısından artarak önem kazanmaktadır.
- İşletmenin enerji giderleri azalacağı için, üretimin kalitesi azalmadan maliyet azalır. Bundan dolayı rekabet gücü artar.
- Ulusal elektrik üretim/dağıtımında daha az yüklenme meydana gelir.
- Üretim kesintilerinden olabilecek parasal ve aynı kayıplar azalır.
- Daha az yakıt harcıyıp daha fazla enerji üreterek ülke gelirinin artmasına katkı sağlar.
- Kojenerasyon sistemleri geliştirilir ve yaygınlaştırılırsa, yeni yatırımlar, yeni iş olanakları açılır ve böylelikle ülke ekonomisine katkı sağlanır.

Bir birleşik ısı-güç tesisi diğer bir ifadeyle kojenerasyon tesisi havayı veya gazları daha yüksek basınca sıkıştıran kompresör, yakıtla havanın karıştığı yakma hücresi/yanma odası, yanmış gazların döndürerek çalıştırdığı gaz türbini/gaz motoru, dönme enerjisinin elektrik enerjisine çeviren jeneratör/alternatör, çıkan egzoz gazlarının değerlendirildiği atık ısı değerlendirme kazanı, buharın dönme hareketi ile çalıştırdığı buhar türbini gibi başlıca ekipmanları Şekil 1.6’da gösterilmiştir (Öztürk ve Kaya, 2014).



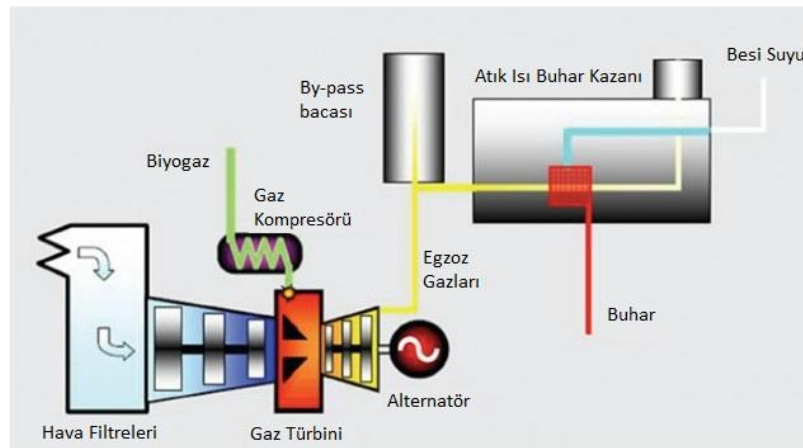
Şekil 1.6. Kojenerasyon tesisi ve ekipmanları (Öztürk ve Kaya, 2014).

Kojenerasyon tesislerinde işlem akışı şu şekilde gerçekleşir (Öztürk ve Kaya, 2014):

1. Basınçlı hava kompresör tarafından yakma hücresine gönderilir.
2. Yakma hücresine yakıt kaynağından yakıt gönderilir.
3. Yanma ürünü sonucu oluşan sıcak gazlar, gaz türbininde dönme hareketini sağlar.

4. Dönme hareket enerjisi, jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür
5. İlk dört adımda yapılan işlemler geleneksel elektrik enerjisi üretiminde kullanılan işlem aşamalarıdır. 5. İşlem aşamasından itibaren, kojenerasyon teknolojisi başlamaktadır.
6. 4. İşlemin sonunda açığa çıkan yanma ürünü gazlar, atık ısı değerlendirme kazanına gönderilerek buhar üretilmek için kullanılır.
7. Üretilen buharın bir bölümü, ısınma ve sıcak su ihtiyaçları için kullanılır.
8. Kalan buhar kısmı ise buhar türbinine gönderilir ve buhar türbininde dönme hareketini sağlar.
9. Dönme hareket enerjisi, jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür.

Kojenerasyon sistemlerinin genel olarak çalışma ilkesi Şekil 1.7’de gösterilmiştir. Hava atmosferden alınarak hava filtrelerinden süzülür ve süzöldükten sonra da gaz türbininin kompresör kısmına gelir. Kompresörde hava toplanarak sıkıştırılır ve sıkıştırılan hava ile birlikte dışarıdan alınan yakıt yanma odasına gönderilir ve burada hava-yakıt karıştırılarak yanma işlemi gerçekleştirilir. Yanma işleminin sonunda sıcaklığı 1000 °C-1100 °C arasında olan yüksek basınçlı bir gaz oluşur. Oluşan yüksek basınçlı bu gaz, gaz türbinine ulaşır ve burada türbine bağlı olan jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisi üretilir. Gaz türbininde sıcaklığı 500 °C-600 °C arasında olan egzoz gazları oluşur, oluşan bu atık gazlar atık ısı kazanına gönderilir ve atık ısı kazanında soğurularak atmosfere atılır (Uzungöl, 2017).

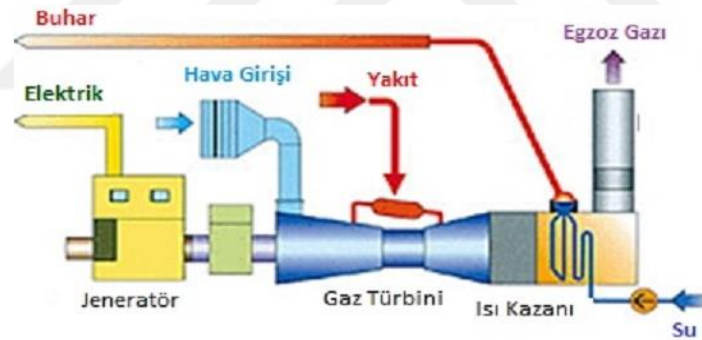


Şekil 1.7. Kojenerasyon sistemi çalışma prensibi (Uzungöl, 2017).

Birleşik ısı-güç sistemlerinin seçiminde, kurulması planlanan işletmenin enerji yük profili ele alınarak sistem seçimi yapılmalıdır. Teknolojide bulunan birleşik ısı-güç (kojenerasyon) sistemleri;

- Gaz türbinli birleşik ısı-güç sistemleri
- Buhar türbinli birleşik ısı-güç sistemleri
- Gaz ve buhar Türbinli birleşik ısı-güç sistemleri
- Gaz motorlu birleşik ısı-güç sistemleri
- Mikro birleşik ısı-güç sistemleri

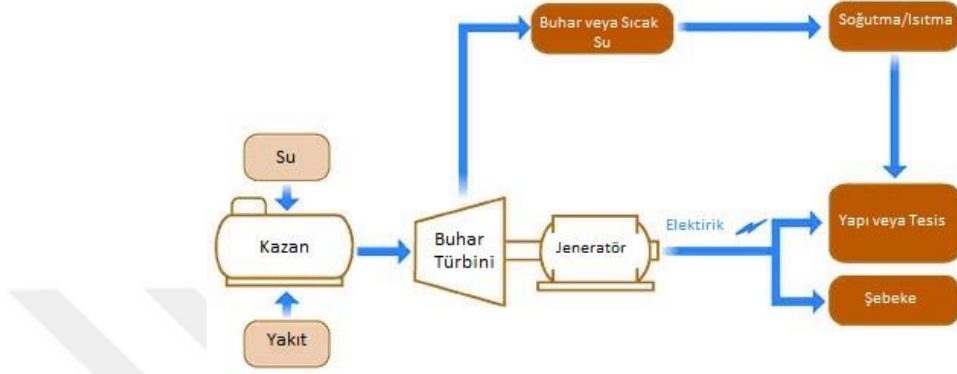
Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinde Şekil 1.8’de gösterilmiştir. Isı ve elektriğin birlikte üretildiği kojenerasyon sistemlerinde en yaygın kullanılan ana makine gaz türbinleridir. Bir veya birden fazla yanma odası bulunan gaz türbininde yakıtın yanmasıyla üretilen yüksek basınçlı yanmış gazların bir motoru ve bu motora bağlı şaftı döndürmesiyle mekanik güç üretilir. Mekanik gücün üretilmesiyle jeneratör tahrik edilir ve elektrik enerjisi üretilir (Uzungöl, 2017).



Şekil 1.8. Gaz türbinli kojenerasyon sistemi (Uzungöl, 2017).

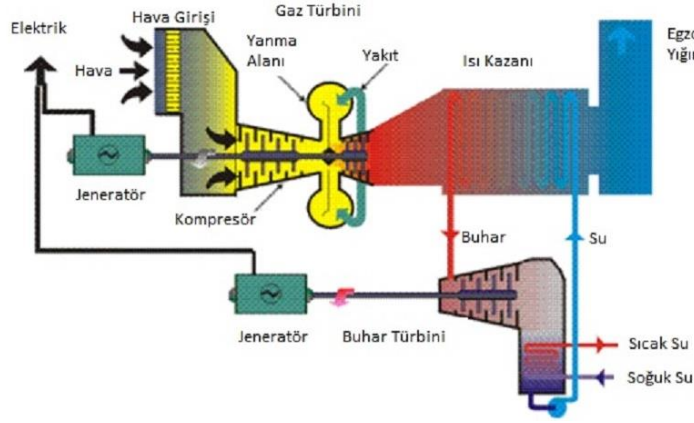
Buhar türbinli kojenerasyon sistemleri, kojenerasyon sistemleri arasında kullanılan en eski teknolojilerden biridir. Şekil 1.9’da gösterilen bu sistemler ısı ve elektrik üretmek için uzun zamandır kullanılmaktadırlar. Doğal gaz, kömür, çöp gazı, fueloil ve LPG gibi yakıtların bu sistemlerdeki kullanım amacı buhar üretmektir. Çeşitli yakıtların kullanılması bir avantaj gibi görülebilir fakat yakılan yakıtların çevreye olan etkilerine bakıldığında, baca gazlarının emisyon değerlerini belirli aralıklarda tutabilmek için ekstra maliyet oluşturan önlemler alınması gerekeceğinden ekonomik değildirler (Uzungöl, 2017).

Elektrik enerjisinin gerekli olduğu sistemlerden ziyade buhara daha çok gereksinim duyulan tesislerde buhar türbinli kojenerasyon sistemlerini kullanmak daha faydalı olur. Kâğıt, cam, petrokimya, petrol rafineri ve besin işleme endüstrileri gibi sürekli üretimde bulunan sistemler için buhar türbinli kojenerasyon sistemleri daha uygundurlar (Uzungöl, 2017).



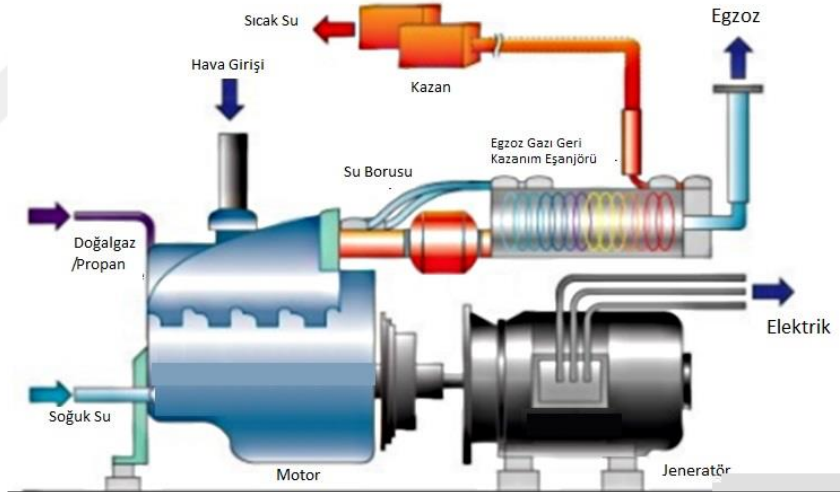
Şekil 1.9. Buhar türbinli kojenerasyon sistemleri.(Uzungöl, 2017).

Gaz türbini ve buhar türbininin birlikte bulunduğu kojenerasyon sistemlerinin çıkan egzoz gazlarını kullanarak ikinci bir enerji üretildiği için basit çevrimli bir sisteme göre daha yüksek verimle çalışırlar. Sadece elektrik enerjisinin üretildiği basit bir çevrimde gaz türbini veya gaz motoru kullanılarak enerjinin % 30-40'ı elektrik enerjisine dönüştürülür; dışarıya atılacak ısı ise kojenerasyon sistemlerinde kullanılarak enerjiye dönüştürülebilir. Sıkıştırılmış havayla birlikte gaz halindeki veya sıvı haldeki yakıtı yakıp elektrik jeneratörünü çalıştıran bir sistem olan gaz türbinlerinden çıkan çok yüksek sıcaklığa sahip egzoz gazları, atık ısı kazanında değerlendirilerek yüksek verimde ısı enerjisi üretmek için kullanılırlar. Gaz ve buhar türbinli kojenerasyon sisteminin çevrim ünitesinin şeması Şekil 1.10'da gösterilmektedir (Uzungöl, 2017).



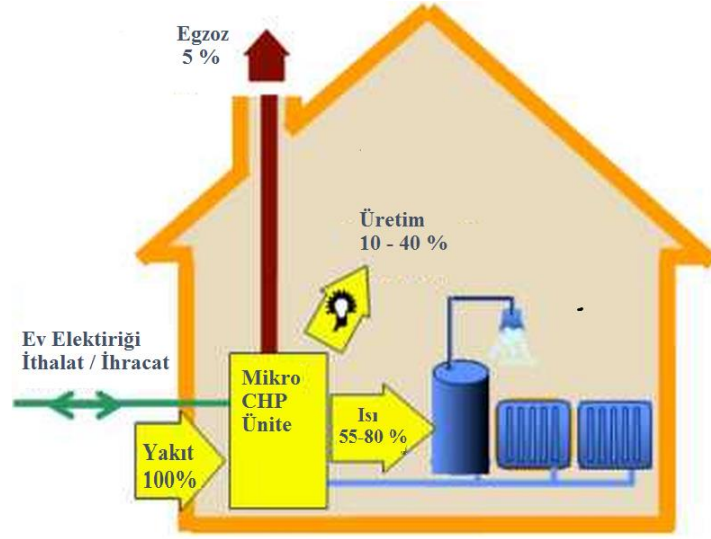
Şekil 1.10. Gaz ve buhar türbinli kojenerasyon sistemleri (Uzungöl, 2017).

Şekil 1.11’de gösterilen gaz motorlu kojenerasyon sistemleri, elektrik ihtiyacıyla birlikte ısıtma ihtiyacı için de kullanılan verimli sistemlerden biridir. Çevre dostu doğalgazın yaygın olarak kullanıldığı gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinde atmosfere atılan zararlı gazların emisyon seviyeleri azalır (Uzungöl, 2017).



Şekil 1.11: Gaz motorlu kojenerasyon sistemi (Uzungöl, 2017).

Şekil 1.12’de görülen mikro kojenerasyon sistemlerinde 25–500 kW arasında elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretildiği küçük boyutlarda ve düşük hızlarda mikro türbinler kullanılır. Turbo şarj sistemlerinin kullanıldığı araç motorları ile yardımcı güç ünitelerinde kullanıldığı uçaklar ve küçük jet motorlarının tasarımında mikro türbinlerden esinlenilmiştir (Uzungöl, 2017).



Şekil 1.12: Mikro türbine bağlı kojenerasyon sistemi (Uzungöl, 2017).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tez kapsamında yapılan çalışmada literatürde mevcut bulunan ve yapılmış olan çalışmalara genel hatlarıyla benzemekte, biyogaz tesislerinin en önemli kısımlarından biri olan tasarım adımlarının belirlenmesi ve belirlenen bu değerlerin sayesinde hesaplamalar yapılması bakımından özgünlük ve yenilik içermektedir.

1998 yılında Callaghan ve arkadaşları, 3 adet 5 litrelik tamamen karıştırmalı tank kullanarak atık çamurun termofilik ve mezofilik sıcaklık ortamlarında çürümenin ilk aşamalarında optimum bekletme zamanını araştırmışlardır. Bu zamanı 8 saat ile 48 saat arasında değiştirmişler ve hidrolik bekletme zamanı 18 ile 48 saat arasındaki zamanlarda uçucu yağ asitlerinin az miktarda depolandığını bundan dolayı gaz üretiminin arttığını daha düşük bekletme zamanlarında ise asitlerin depolanmadığını ve bundan dolayı da gaz üretiminin azaldığını belirtmişlerdir (Akbulut, 2011).

1998 yılında Roberts ve arkadaşları, yüksek katı oranına sahip gübrelerin klasik biyoreaktörler için uygun olmadığını belirtip, yüksek katı oranına sahip gübreler için yapılan büyük ölçekli klasik biyoreaktörlerin yatırım, ısıtma, gaz tutma ve atıklarının kullanım maliyet sistemlerinin verimini azalttığını belirtmişlerdir. Bunun üzerine seyreltilmemiş sığır gübrelerinin havasız ayrıştırıcı bir biyoreaktörde biyogaz haline dönüştürülmesi için çalışmışlardır. Bu amaçla 2,5 ile 0,9 litrelik efektif hacimli reaktörleri sığır gübresi, havasız tohum, ağaç tozu veya kırpıntısı ve su ile doldurarak biyokimyasal tepkimeye bırakmışlardır. Sonuç olarak ayrıştırıcı biyogaz reaktörlerin seyreltilmemiş sığır gübresinden biyogaz elde edilmesinde, klasik biyogaz reaktörlerine göre % 25 daha fazla verimle gaz üretebildiği kanısına varmışlardır (Akbulut, 2011).

1998 yılında Kalia ve arkadaşları, 3 litrelik bir hacimde, 12 haftalık bekletme zamanında 25 °C'deki biyoreaktörde sığır gübresi ve buna ek olarak farklı oranlarda at gübresi karıştırıp biyogaz üretimini incelemişlerdir. % 80 sığır - % 20 at gübresi karışımının sistemdeki gaz üretimini yavaşlattığını ve bundan sonraki at gübresi ilavelerinin sistemde büyük bir değişiklik yapmadığını fakat en fazla üretimin % 100 sığır gübresinde olduğu sonucuna deneylerle varmışlardır (Akbulut, 2011).

1999 yılında Hammada ve arkadaşları, farklı hayvanların gübre ve artıklarıyla yeraltında kübik bir biyoreaktörde % 57 ile % 67 oranında metan üretmeyi başarmışlar ve ürettikleri bu metanı su ısıtmasında ve elektrik üretiminde kullanmışlardır. Çevre sıcaklığındaki dalgalanmaların biyogaz üretimini çok fazla etkilemediğini ama biyoreaktördeki sıcaklığın biyogaz miktarını ve metan yüzdesini etkilediğini, optimum biyoreaktör sıcaklığının ise 35 °C olduğunu belirtmişlerdir (Akbulut, 2011).

2000 yılında Ahn ve Foster, sığır gübresinin termofilik şartlarda anaerobik fermentasyon sırasında, içindeki yüksek miktarlardaki patojenik ve yabancı otların, mezofilik şartlara göre daha fazla yok olduğunu belirtmişlerdir. Bu termofilik ve mezofilik şartların elde edilmesinde güneş enerjisinin kullanılabileceğini ve Mısır koşullarında uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Ayrıca sistemlerini modellemeyle desteklemişlerdir. Deneylerinde 180 cm çapında 450 cm yüksekliğinde olan laboratuvar ölçekli sürekli karıştırmalı bir biyoreaktör kullanmışlardır. Burada 50 °C ve 60 °C de biyogaz üretmişlerdir. Biyoreaktör içindeki sıcaklık dalgalanmalarının metan üretimini 50 °C’ de % 12 ve 60 °C’ de ise % 20 azalttığını belirtmişlerdir. Mısır’ın böyle bir termofilik sistemde güneş enerjisinin kullanılabileceğini fakat 100 m³’den büyük digester (çürütücü) hacimleri için güneş enerjisi sisteminin verimli olmayacağını, 50 °C’de üretilen metanın 60 °C’de üretilen metandan daha fazla olduğunu ve bunun nedeninin de 60 °C’ deki serbest amonyum konsantrasyonunun 50 °C’deki serbest amonyum konsantrasyonundan daha fazla olmasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir (Akbulut, 2011).

2001 yılında Al-Masri ve arkadaşları, sığır gübresini birçok organik madde ile karıştırarak organik madde karışımının biyogaz üretimine etkisini araştırmışlardır. Bunun için sığır gübresini bazı sebze ve meyve atıklarıyla ve de tavuk gübresiyle 18 litrelik bir hacimde 35 °C’de 21 günlük bekletme süresiyle karıştırarak biyogaz üretmişlerdir. Bu organik karışımın ilerisi için umut verici bir karışım olduğunu belirtmişlerdir. Sebze ve meyve atıklarının oranının % 20’den % 50’ye çıkarılmasıyla metan üretiminin 0,23 m³/kg’dan 0,45 m³/kg’a çıktığını, tavuk gübresi eklenmesiyle de biyoreaktör performansının düştüğünü bulmuşlardır (Akbulut, 2011).

2001 yılında Sterling ve arkadaşları, sığır gübresinden anaerobik fermentasyon sırasında amonyak tozu ilavesinin hidrojen gazının üretimindeki etkilerini incelemişlerdir (Akbulut, 2011).

2001 yılında Shing ve arkadaşları, sığır gübresine, sığır gübresi ve mutfak atıkları karışımına farklı oranlarda kattıkları Aquasan ve Teresan uyarıcılarının biyogaz üretimine etkilerini incelemişlerdir. Uygun bir dozda Aquasan ilavesiyle % 39'dan % 55'e kadar daha fazla gaz çıkarılabildiğini ve sığır gübresi ile mutfak atığı karışımına katılacak uygun dozdaki Teresan ilavesiyle de % 35 daha fazla gaz üretilbildiğini ispatlamışlardır (Akbulut, 2011).

2001 yılında Axaopoulos ve arkadaşları, yeraltına kurulmuş güneş enerjili 45 m³ faydalı hacime sahip bir biyoreaktör yapmışlardır. Güneş panellerini biyoreaktör içerisine daldırarak bir ısı değiştiricisine bağlamışlardır. Otomatik kontrol ünitesi ile sistemin performansını deneysel olarak incelemişlerdir (Akbulut, 2011).

2002 yılında Kim ve Speece, 300 mm çapında ve 300 mm yüksekliğindeki sürekli karıştırmalı bir havasız biyoreaktörde sığır gübresinin çürütülmesi sırasında balık atıklarının sisteme etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada uçucu katı/(m³-gün) miktarı 5,1 ile 6,3 kg ve bekletme zamanı 21 gün için biyogaz üretimi araştırılmıştır. % 4'lük balık atığının uçucu katılar ve metan üretimindeki azalmaya yol açması nedeniyle biyoreaktörün performansında bozulmaya sebep olduğu, % 6 oranında eklenen balık atığının ise biyoreaktörün performansını çok bozduğunu saptamışlardır (Akbulut, 2011).

2002 yılında Callaghana ve arkadaşları, termofilik şartlarda sıvılaştırılmış sığır gübresinin kullanıldığı güneş enerjisi destekli olarak 10 m³'lük sürekli karıştırmalı biyoreaktörü enerji bakımından incelemişler ve benzeşim modelini geliştirmişlerdir (Akbulut, 2011).

2003 yılında Sahistrom ve arkadaşları, anaerobik fermentasyon sonucu elde edilen atıkların tarımda kullanılabileceğini lakin bu atıkların insanlar ve hayvanlar için hayati öneme sahip bakteriler ve mikroorganizmaları içerdiğini ve bu riskin çok ciddi olmasa da ihmal edilemeyeceğini belirtmişlerdir. Biyogaz reaktörlerinde bu patojenlerin azaltılmasında sıcaklığın çok büyük etkisi olduğunu ama diğer faktörlerin de ihmal edilemeyecek olduğunu düşünerek biyoreaktör içinde hijyenik şartları oluşturmak için çalışmışlardır (Akbulut, 2011).

2003 yılında Harikishan ve arkadaşları, koyun ve keçi gübresinin farklı oranlarda hardal eklenmesiyle biyogaz üretiminin durumunu incelemişlerdir. Gübre miktarı azaltılmasına karşılık artırılan katkı maddesi oranı biyogaz üretiminin azalmasına sebep olmuştur. % 40 koyun gübresi - % 60 hardal karışımıyla üretilen biyogaz miktarının, % 40 keçi gübresi - % 60 hardal karışımıyla üretilen biyogaz miktarına göre çok daha fazla olduğunu bulmuşlardır (Akbulut, 2011).

2003 yılında Zupanic ve arkadaşları, laboratuvar ölçekli bir termofilik havasız biyoreaktörün 1 günden 10 güne kadar olan bekletme süreleri için ısı ihtiyaçlarını hesaplamaya çalışmışlardır. Isılarını bir kojenerasyon sisteminden üretmişlerdir. Termofilik şartlarda çok daha küçük biyoreaktör hacimlerinde mezofilik şartlara göre çok daha fazla biyogaz üretilbildiğini ve biyoreaktördeki ısı kaybının, beslenen gübre su karışımının ısı ihtiyacının sadece % 2 ile % 8'i arasında olduğunu saptamışlardır. Termofilik şartlardaki ısı ihtiyacının mezofilik şartlardaki ısı ihtiyacından 2 kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Sadece kojenerasyon sisteminde üretilen ısı ile termofilik sıcaklık şartlarının oluşturulamayacağını ve bunun için biyoreaktörden çıkan akışkanın da ısının kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır (Akbulut, 2011).

2003 yılında Bouallagui ve arkadaşları kullandıkları tüp şeklindeki çürütücünün içinde mezofilik şartlarda sebze ve meyve atıklarından üretilen biyogazı deneysel olarak gözlemlemişlerdir. Deneylerinde 35 °C sıcaklığa ve 18 litre hacme sahip reaktör kullanarak bir aylık bekleme süresi içinde toplam 180 tonluk karışık sebze ve meyve atıkları ele almışlardır. % 6'lık yükleme oranı ile yüklenen biyogaz tesisinin sebze ve meyve atıklarının ürettikleri maksimum biyogaz miktarı 0,7 m³/kg OKM olarak belirlenmiştir (Üçok, 2016).

2003 yılında Keshtkar ve arkadaşları, mevcut bulunan sürekli karıştırmalı biyoreaktörlerin aslında tam olarak karıştırılamadığından yola çıkarak sığır gübrelerinin ideal olmayan karışım esnasında sürekli karıştırmalı biyoreaktörde çürümesini modelleyerek, akış oranının, hidrolik bekletme süresinin, beslemenin bileşiminin biyoreaktörün başlangıç şartlarının ve karıştırma derecesinin sistem performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir (Akbulut, 2011).

2004 yılında Zuru ve arkadaşları, katıların ısı çürümesinin kinetiğinde kullandıkları 9 model ile sulandırılmış deve, sığır, at ve koyun gübrelere biyogaz üretimini incelemişlerdir. 13 hafta boyunca 24 saatlik zaman dilimlerinde 200 gram gübreye karşılık 800 cm³ su ekleyerek 1 litrelik bir biyoreaktörde üretilen gazları ölçmüşlerdir (Akbulut, 2011).

2004 yılında Bouallagui ve arkadaşları, sebze ve meyve atıklarının anaerobik ortamda çürütüldüğü reaktöre sıcaklığın etkisini psikofilik, mezofilik ve termofilik koşullarda araştırmışlardır. Deneylerinde katı madde oranlarının % 4, % 6, % 8 ve % 10 olduğu psikofilik şartlar için 20 °C, mezofilik şartlar için 35 °C ve termofilik şartlar için ise 55 °C sıcaklıklarında karışık sebze ve meyve atıklarını incelemişlerdir. Bu deneyler sonucunda maksimum biyogaz verimini 55 °C sıcaklıkta ve % 6 katı madde oranında 0,99 m³/kg OKM olduğunu ve sıcaklık arttıkça biyogaz veriminin de arttığını görmüşlerdir (Üçok, 2016).

2004 yılında El-Mashad ve arkadaşları, iki tane büyük ölçekli 2000 m³ ve 1850 m³'lük tamamen karıştırmalı biyogaz reaktörler kullanmışlardır. Bu çalışmada organik yükleme miktarının iki aşamada 2,11 kg uçucu madde/m³-gün'den 4,25 kg uçucu madde/m³-gün'e çıkarılması durumunda tesis gücünün biyoreaktör hacmini değiştirmeden 500 kW'tan 1 MW'a çıkarıldığını göstermişlerdir (Akbulut, 2011).

2004 yılında Demirci ve Demirer, sığır ve tavuk gübresinin havasız ortamlarda çürütülebilirliğini ve biyogaz üretim potansiyelini araştırmışlardır. Bu amaçla sığır ve tavuk gübresinin ayrı ayrı ve bunların birbirleri arasında farklı oranlarda karıştırılması durumunda çürüme ve biyogaz üretme kapasitelerinin deneylerini yaparken sığır ve tavuk gübresi karışımlarının başlangıç kimyasal oksijen isteği konsantrasyonu, besin ve kalıntı metal ilavelerinin, biyoreaktör sıcaklığının ve bakterilerin ortama alışma konularını araştırmışlardır (Akbulut, 2011).

2005 yılında Karima ve arkadaşları, sığır gübresinden üretilen biyogaz miktarının artırılması için biyogaz reaktörünün biyogaz potansiyeli yüksek maddelerle desteklenmesi sağlayan bir madde olan hardalın yüksek azot ve fosfat içeriğine sahip olduğunu belirlemişler. Sisteme % 30 oranında hardal katılması durumunda uçucu madde çıkışında % 12,2 ile % 13,8 arasında bir artış olduğunu görmüşlerdir.

Bu artış durumunda % 30'luk hardal katkısı sadece sığır gübresiyle üretilen biyogaza kıyaslandığında % 63.44 'lük biyogaz artışına karşılık gelmektedir (Akbulut, 2011).

2006 yılında Pougatch ve Salcudean, ağaç kırıntılarının su ile büyük ölçekli sürekli akışlı bir digester (çürütücü) içindeki çok fazla kimyasal reaksiyonlarını modellemişlerdir. Modellerinden elde ettikleri değerleri doğrulamak için simülasyonlarını endüstriyel bir reaktörde uygulamışlar ve model sonuçlarının uygulama değerleri ile uyumlu olduğunu görmüşlerdir (Akbulut, 2011).

2006 yılında Ishikawa ve arkadaşları, deneysel çalışmalar için kurdukları çiftlik ölçekli bir biyogaz tesisinde 35 °C'de 30 gün bekletme zamanlı olarak çalıştırdıkları sistemde biyogaz üretmişlerdir. Tesisteki CO₂ üretiminin, tesis çevresindeki küresel yapıyı ne kadar etkilediğini incelemişlerdir (Akbulut, 2011).

2006 yılında Clemens ve arkadaşları, sığır gübresi ve sığır gübresiyle patates nişastasının karıştırılması durumunda biyogaz tesisinde çürütülen gübre ve atığın çürütülmeye bırakılmamış gübrelerle karşılaştırarak bunların çevresel etkilerini incelemişlerdir (Akbulut, 2011).

2007 yılında Amon ve arkadaşları, sığır gübresinin dengelenmesine sıcaklık fazla havasız çürütmenin etkilerini araştırmışlardır (Akbulut, 2011).

2007 yılında Duerr ve arkadaşları, biyogaz sistemlerinden elde edilen gazın içten yanmalı motorlarda yakılarak elektriğe dönüştürüldüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca biyoreaktörden üretilen metanın ayrıştırılarak hidrojen elde edilebileceğini ve yakıt hücrelerinde daha verimli ve çevreci bir şekilde kullanılabileceğini bildirmişlerdir (Akbulut, 2011).

2007 yılında Lubken ve arkadaşları, havasız çürütme modelini kullanarak biyogaz üretimi ve düzenlemesinin yapılabileceğini belirttiler. Sığır gübresi ve yenilenebilir enerji ekinlerinin çürütülmesi esnasında enerji üretimini simüle etmek için bir uygulama yaptılar. Havasız çürütme modelini değiştirerek net enerji üretiminin dinamik hesaplamasını yapabilen bir enerji dengesi modeli sunmuşlardır (Akbulut, 2011).

2007 yılında İşçi ve Demirer pamuk atıklarının biyogaz potansiyelini incelemişlerdir. 250 mililitrelik cam şişelere hazırladıkları tampon çözeltinin içine farklı ebatlarda pamuk atıklarını koyarak 35 °C sıcaklıkta 23 gün boyunca belli aralıklarla ölçümler yaparak üretilen biyogaz miktarını belirlemişlerdir. Üretilen biyogaz miktarları şu şekildedir: 1 gram pamuk sapından 65 ml, pamuk tohumu kabuğundan 85 ml ve pamuk yağı küspesinden 78 ml metan gazı üretimi meydana gelmiştir (Üçok, 2016).

2008 yılında Demirer ve Chen, laboratuvar ölçekli bir biyogaz reaktöründe biyogaz geri beslemesi, pervaneli karıştırıcı ve sıvının geri beslemesi ile karıştırılmasının biyogaz üretimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bunun için 35 °C'de 16,2 gün bekletme zamanında çürümeye bırakılan gübrelerin kuru madde içeriği % 5-10 ve 15'dir (Akbulut, 2011).

2008 yılında Satyanarayana ve arkadaşları, mısır ve sığır gübresinin havasız ortamda çürütülmesinin iyileştirilmesi amacıyla 1 litrelik bir kapta 38 °C'de 60 gün boyunca metan üretimini ölçmüşlerdir. Ham bir durumdan olgun bir hale kadar özel olarak 13 çeşit mısır yetiştirmişlerdir. Geç hasat edilen mısırların daha fazla biyogaz ürettiklerini, tamamen olgunlaşmaya yaklaşan mısırların metan üretimini azalttığını ve mısır silajının ise metan üretimini % 25 arttırdığını bulmuşlardır (Akbulut, 2011).

2008 yılında Alvarez ve Liden, lama, sığır ve koyun gübrelerinin yarı sürekli bir biyoreaktörde çürütülmesi esnasında biyoreaktördeki günlük sıcaklık dalgalanmalarının sistem performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sabit sıcaklıkta havasız çürütme ile elde edilmiş değerlerle biyogaz üretim oranı, metan üretimi ve uçucu maddedeki azalma miktarlarını karşılaştırmışlardır (Akbulut, 2011).

2009 yılında Bouallagui ve arkadaşları karışık sebze ve meyve atıklarının mezofilik koşullar altında anaerobik çürütme için en uygun maddenin seçilmesi amacıyla anaerobik ardışık kesikli reaktörler kullanmışlardır. Balık atıkları, mezbahane atık suyu ve aktif çamur sebze ve meyve atıklarına substrakt olarak eklenmiştir. Sebze ve meyve atığı, balık atıkları, mezbahane atık suyu ve aktif çamurun element analizlerini yapmışlar ve bu atık maddelerden 4 farklı karışım yaparak biyogaz üretimlerini incelemişlerdir (Üçok, 2016).

2009 yılında Ulusoy ve arkadaşları domates ve bezelye atıklarının ürettikleri biyogazın potansiyelini incelemişlerdir. 32 gün boyunca yapılan testler sonucunda domates atığının biyogaz üretim potansiyelinin 417 m³/kg OKM, bezelye atığının ise 0,417 m³/kg OKM olarak belirlemişlerdir (Üçok, 2016).

2009 yılında Hutnan ve arkadaşları mısır tanelerinin ve mısır silajlarının biyogaz üretim potansiyellerini araştırmışlardır. Hazırladıkları tampon çözeltiler ile farklı oranlarda karıştırılan mısır silajı ve taneciklerin, reaktör içinde 35 °C sıcaklıkta ve 300 gün bekleme süresinde ürettikleri biyogaz değerlerini belirlemişlerdir. Çalışma sonunda, mısır silajından üretilen maksimum biyogaz miktarı 0,72 m³/kg OKM olarak saptanmıştır (Üçok, 2016).

2010 yılında El-Mashad ve Zhang çalışmalarında hayvansal atıklar ile karıştırdıkları yiyecek atıklarının biyogaz üretim potansiyellerini araştırmışlardır. Yaptıkları testlerin tamamını iki sefer tekrarlayarak 1 litre hacmin ve 35 °C sıcaklıktaki mezofilik şartların bulunduğu anaerobik reaktörde 30 gün boyunca yapmışlardır. 20 ve 30 gün sonunda üretilen biyogaz ve metan miktarını hesaplamışlardır. Biyogazın en yüksek miktarda üretimi 30 günün sonunda sırasıyla sadece yiyecek atıklarından sonunda 0,657 m³/kg OKM; %32 yiyecek atığı ve %68 gübre karışımında 0,455 m³/kg OKM; %48 yiyecek atığı ve %52 gübre karışımında ise 0,531 m³/kg OKM bulunmuştur (Üçok, 2016).

2011 yılında Onursal ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda Türkiye’de bulunan gül yağı işletme atıkları ile bıldırcın gübresinin ürettikleri biyogaz potansiyelini Hohenheim batch testi ile değerlendirmişlerdir. 35 günlük bekleme süresinde 37 °C sıcaklığında bıldırcın gübresinin biyogaz potansiyeli 0,260 Nm³ CH₄/kg, gül yağı işlenmiş atıklarının metan potansiyeli 0,260 Nm³ CH₄/kg belirlemişlerdir (Üçok, 2016).

2011 yılında Lin ve Deshmukh çalışmalarında laboratuvar ölçekli tam karıştırmalı anaerobik reaktörde sebze ve meyve atıkları ile yiyecek atıklarının metan üretim potansiyelini incelemişlerdir. Sebze ve meyve atığı ile yiyecek atığına 20 gün boyunca uygulanan biyokimyasal metan potansiyeli testi sonucunda toplam metan üretimi sebze ve meyve atıkları için 0,30 m³CH₄/kg OKM, yiyecek atığı için 0,56 m³CH₄/kg OKM olarak belirlenmiştir.

Böylece biyolojik olarak parçalana bilirlik % 59,3 ve %83,6 olarak hesaplamışlardır. Sebze ve meyve atığı ile yiyecek atıkları 1:1 oranında karıştırıldığında metan üretiminin $0,49 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg OKM}$ olarak belirlenmiştir (Üçok, 2016).

2012 yılında Sözer ve Yıldız yaptıkları çalışmalarda 15 litrelik reaktörlere ekledikleri % 70 sığır gübresi ile % 30 domates atıklarını karıştırıp günlük üretilen metan miktarının verimini $0,143 \text{ m}^3/\text{kg OKM}$ olarak belirlemişlerdir (Üçok, 2016).

2012 yılında Mittweg ve arkadaşları enerji mısırlarından meydana gelen atıkların ürettiği metan ve biyogaz miktarlarını saptamışlardır. Biyogaz tesislerinden 100 mililitrelik cam şırıngalarla aldıkları inoculumu (aşı) ve boyutu 1 mm olan öğütülmüş enerji mısır atıklarını karıştırarak 35 gün süreyle mezofilik şartlarda ölçüm yapmışlardır. Yapılan bu çalışmanın sonunda enerji mısırlarından üretilen ortalama metan miktarı $0,349 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ ve üretilen biyogaz miktarı ise $0,665 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olarak belirlemişlerdir (Üçok, 2016).

2013 yılında Berlian ve arkadaşları çalışmalarında 14 hafta boyunca 200 litrelik reaktörde bekletilen sebze ve meyve atıklarının ürettiği biyogaz değerlerini araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonunda karışık sebze ve meyve atıklarının metan içeriği % 65 ve metan verimini ise $0,387 \text{ Nm}^3\text{CH}_4/\text{kg OKM}$ olarak belirlemişlerdir (Üçok, 2016).

2014 yılında Perendeci ve arkadaşları tarımsal ve hayvansal atıklardan üretilen metan miktarını belirlemişlerdir. Yapılan bu çalışmada 30 gün süreyle mısır silajı, mısır atıkları, tavuk gübresi ve inek gübresinin metan üretim potansiyelleri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonunda, mısır silajının $0,291 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$, mısır atıkları $0,258 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$, tavuk gübresi $0,208 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ ve inek gübresi ise $0,179 \text{ Nm}^3/\text{kg OKM}$ olarak metan miktarları belirlenmiştir (Üçok, 2016).

2015 yılında Patil ve arkadaşları çalışmalarında sebze atıklarının 25 gün bekletme süresiyle 2 litrelik reaktörlerde bekletilmesiyle üretilen biyogazın verimlerini incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda sebze atıklarının biyogaz verimlerini $0,383\text{-}0,522 \text{ Nm}^3\text{CH}_4/\text{kg}$ olarak belirlemişlerdir (Üçok, 2016).

2016 yılında Üçok ve arkadaşları deneylerinde kırmızıbiberin işlenmesi sırasında oluşan sap, tohum ve yaprak atıklarının metan ve biyogaz üretim potansiyellerini hesaplamışlardır. Bu çalışma kapsamında 35 gün süreyle ölçüm yapabilmek için mezofilik şartlarda 100 mililitrelik cam şırıngalara 1 milimetre boyutunda öğütülmüş olarak karıştırılan kırmızıbiber atıkları kullanılmıştır. Deney sonucunda kırmızıbiber atıklarından elde edilen metan miktarı 0,36 Nm³/kg OKM, elde edilen biyogaz miktarı ise 0,57 Nm³/kg OKM olarak belirlenmiştir (Üçok, 2016).

Çizelge 2.1’de Türkiye’de bulunan kurulu lisanslı biyogaz tesislerin yerleri ve kurulu güç kapasiteleri (MWe) verilmiştir.



Çizelge 2.1. Biyokütle lisansı olan Türkiye’deki şirketler

	Şirket Adı	Tesis Yeri	Tesis Türü	Kurulu Güç (MWe)
1	İstanbul Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi	İstanbul	Biyokütle	4,02
2	Cargill Tarım ve Gıda Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi.	Bursa	Biyokütle	0,12
3	Yeni Adana İmar İnşaat Ticaret Anonim Şirketi	Adana	Biyokütle	0,8
4	Yeni Adana İmar İnşaat Ticaret Anonim Şirketi	Adana	Biyokütle	0,8
5	Bel-Ka Ankara Katı Atıkları Ayıklama Değerlendirme Bilgisayar İnşaat. Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi	Ankara-Sincan	Biyokütle	3,2
6	Ortadoğu Enerji Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi	İstanbul-Eyüp	Biyokütle	28,3
7	Ortadoğu Enerji Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi	İstanbul-Şile	Biyokütle	7,56
8	ITC-KA Enerji Üretim Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi	Ankara-Mamak Biyogaz Santrali	Biyokütle	36
9	Ekolojik Enerji Anonim Şirketi	Kemerburgaz-İstanbul	Biyokütle LFG	5,826
10	GASKI Enerji Yatırım Hizmetleri İnşaat Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi	Gaziantep	Biyokütle	1,66
11	Ekolojik Enerji Anonim Şirketi	Tekirdağ-Çorlu	Biyokütle	0,8
12	ITC-KA Enerji Üretim Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi	Ankara-Sincan	Biyokütle	5,66
13	Çev. Enerji Üretim Sanayi Ve Ticaret Limited Şirketi	Gaziantep-Şahinbey	Biyokütle	5,655
14	ITC Adana Enerji Üretim Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Adana Yüreğir Katı Atık Alanı/ Enerji Üretim Tesisi	Biyokütle	11,32
15	CEV Marmara Enerji Üretim Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Bolu/Merkez	Biyokütle	1,131

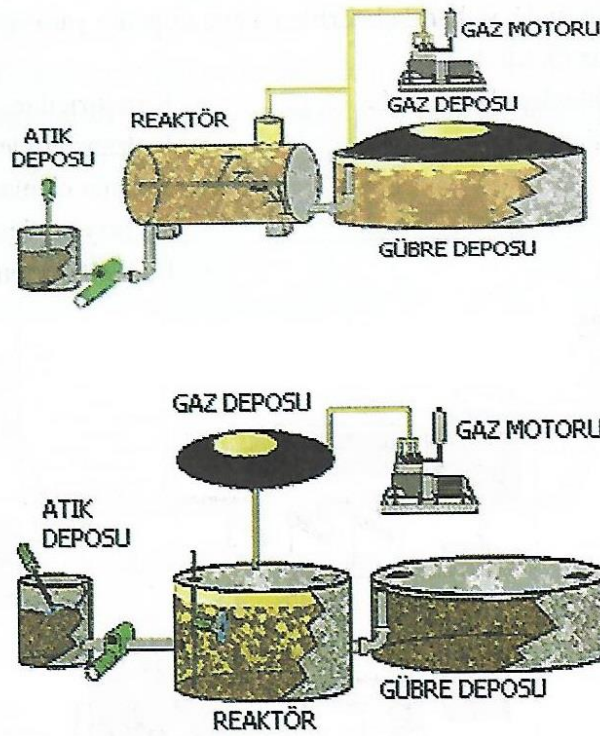
Çizelge 2.1 (devam). Biyokütle lisansı olan Türkiye'deki şirketler.

16	ESES Eskişehir Enerji Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Eskişehir-Ordupazarı	Biyokütle	2,042
17	Konbeltaş Konya İnşaat Taşımacılık Hizmet Danışmanlık ve Park İşletmeciliği Ticaret Anonim Şirketi	Konya-Karatay Atık Su Arıtma Tesisi Elektrik Santrali	Biyokütle	2,436
18	Bereket Enerji Üretim Anonim Şirketi	Denizli-Merkez LFG Santrali	Biyokütle	0,635
19	Bereket Enerji Üretim Anonim Şirketi	Denizli-Merkez LFG Santrali	Biyokütle	0,635
20	Samsun Avdan Enerji Üretim ve Ticaret Anonim Şirketi	Samsun Biyogaz Tesisi	Biyokütle	2,472
21	ITC-KA Enerji Üretim Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Konya-Karatay Katı Atık Alanı Enerji Üretim Tesisi	Biyokütle	5,66
22	Pamukova Yenilenebilir Enerji ve Elektrik Üretim Ticaret Anonim Şirketi	Sakarya-Pamukova Biyogaz Santrali	Biyokütle	1,4
23	Körfez Enerji Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Kocaeli Çöp Biyogaz Tesisi Projesi	Biyokütle	2,4
24	Izaydaş İzmit Atık ve Atıkları Arıtma Yakma ve Değerlendirme Anonim Şirketi	Amasya-Suluova Biyogaz Tesisi	Biyokütle	2
25	Sigma Elektrik Üretim Mühendislik ve Pazarlama Limited Şirketi	Amasya-Suluova Biyogaz Tesisi	Biyokütle	2
26	Derin Enerji Üretim Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Ankara-Beypazarı Biyogaz Tesisi	Biyokütle	0,576
27	Her Enerji ve Çevre Teknolojileri Sanayi Ticaret Anonim Şirketi	Kayseri-Koca Sinan Katı Atık Deponi Sahası Biyogaz Santrali	Biyokütle	1,56
28	ITC Bursa Enerji Üretim Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Bursa-Osmangazi Katı Atık Alanı	Biyokütle	9,8
TOPLAM KURULU GÜÇ (MWe)				147,73

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Biyogaz Tesisleri Ve Bileşenleri

Biyogaz tesisleri reaktör (fermantör), gaz deposu ve organik madde deposu olmak üzere Şekil 3.1’de görüldüğü gibi üç ana üniteden oluşur.



Şekil 3.1. Biyogaz tesisi ana bileşenleri (Kaya ve Öztürk, 2012).

Organik maddenin doldurulduğu alan olan reaktörler, içinde genellikle bir ısıtıcının ve karıştırıcıların bulunduğu hava almayacak bir biçimde tasarlanan tanktır. Reaktör içinde bulunan organik madde substraktının sıcaklığı 35 °C'nin altında olması durumunda biyogaz üretilemez. Reaktör sıcaklığının azalması, üretilen gazın miktarını da azaltır. Üretilen biyogazın toplandığı ve gaz basıncının sabit tutulduğu gaz depoları kullanılır. Gaz reaktörden gaz deposuna boru vasıtasıyla aktarılır. İhtiyaca göre biriken gaz gaz deposunda kullanılır. Reaktöre alınan organik maddenin kuru madde içeriğinin yüzde sekizi geçmesi durumunda biyogaz üretilemez. Sığır gübresi kullanılması durumunda gübrenin bire bir oranda suyla karıştırılması gerekir. Fermantasyon işleminin sonucunda bu madde reaktörden değişmeden çıkar. Gübre deposu, akışkan halindeki gübre bulamacının betondan yapılmış havuz şeklindeki depolarda depolanması için kullanılır.

Ana ünitelerin yanında karıştırıcılar, borular, vanalar, pompalar, ısıtma ve ısı transferi elemanları, ayırma ve filtrasyon elemanları, bağlantı ekipmanları ve hammadde depolama tankı yer alır. Biyogaz tesisi ekipmanları ve genel görünümü Şekil 3.2’de verilmiştir (Kaya ve Öztürk, 2012).

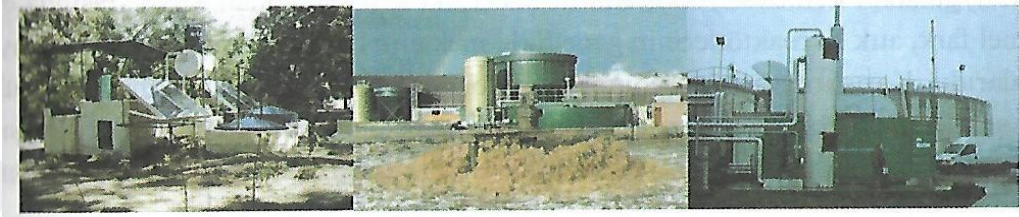


Şekil 3.2. Biyogaz tesisi ve ekipmanlarının genel görünümü (URL-3).

Biyogaz tesislerinde, metan üretebilen canlılar (metanojenler) tarafından üretilen metabolitlerin (yıkım ürünü) dağıtılması, bakteri popülasyonuna taze hammaddenin homojen olarak karıştırılması, sıcaklığın homojen olarak dağıtılması, dağılımın her yerde aynı olmadığı heterojenite ve reaktör dibinde oluşabilecek çökelmelerin engellenmesi, reaktör içindeki bakteri popülasyonlarının iyice dağıtılması, reaktörün iç kısımlarında heterojen dağılım gösterebilecek ölü bölgelerin yok edilmesi karıştırıcıların görevleridir. Biyogaz tesislerinde önemli parametrelerden biri de sisteme uygun bir karıştırıcının seçilmesidir. Modern biyogaz tesislerinde mekanik, hidrolik ve pnömatik olarak kullanılan genel olarak üç tip karıştırıcı sistemleri bulunur. Bu karıştırıcı sistemleri, motoru daldırılmalı olarak bağlı olan mekanik marine tip karıştırıcılar, karıştırmayı hidrolik olarak sağlayan pompalama sistemleri ve pnömatik karıştırmayı gaz enjeksiyonuyla sağlayan sistemlerdir (Kaya ve Öztürk, 2012).

3.2. Biyogaz Tesislerinin Sınıflandırılması

Bir amaca yönelik olarak farklı teknolojiler kullanılarak planlanıp tasarlanabilen biyogaz tesisleri, aile tipi tesisler (10-12 m³ kapasiteli), çiftlik tipi tesisler (50-100-150 m³ kapasiteli), köy tipi tesisler (100-200 m³ kapasiteli) ve sanayi tipi tesisler (1000-10000 m³ kapasiteli) olmak üzere kapasitelerine göre sınıflandırılırlar. Şekil 3.3 kapasitelerine göre biyogaz tesislerine örnek olarak verilmiştir (Kaya ve Öztürk, 2012).



Şekil 3.3. Kapasitelerine göre biyogaz tesisleri (Kaya ve Öztürk, 2012).

Biyogaz üretiminde reaktör sıcaklığının yaklaşık 35 °C olması istenir ve bundan dolayı aile tip biyogaz tesisleri dışındaki tesislerde reaktörün ısıtılması gerekir. Biyogaz tesislerinde fermantasyon işlemi seçiminde, bazı önemli değerler başlangıç değeri olarak dikkate alınırlar. Şekil 3.4'te reaktör tasarımına etki eden en önemli değişkenler verilmiştir (Kaya ve Öztürk, 2012).



Şekil 3.4. Reaktör tasarımına etki eden değişkenler (Kaya ve Öztürk, 2012).

Anaerobik (oksijensiz ortamda) fermantasyon işlemi, yaş ve kuru fermantasyon olmak üzere ikiye ayrılır. Yaş fermantasyon işlemi, hem atık sular hem de substrakt için uygulanır.

Hem atık sular hem de substrakt için, farklı teknolojiler ve reaktör tasarımları bulunmaktadır. Atık su için uygulanan fermantasyon işlemi ile substrakt için uygulanan fermantasyon işlemi arasında en önemli fark, atık su reaktörlerinin genellikle mekanik karıştırmaya ihtiyaç duymalarıdır. Karıştırma işlemi, pompalama yoluyla ve emme mekanizması dikkatle seçilerek yapılır. Bu tip sistemler arasında, yukarı akışlı havasız substrakt yataklı reaktör ve diğer yukarı akışlı reaktörler bulunur. Kuru fermantasyon işlemi ise kuru madde içeriği % 20 ile % 50 arasında olan karışımlarda uygulanırlar. Büyük ölçekli kuru fermantasyon sistemlerinin çoğunlukla büyük kesikli sistemlerden oluşurlar. Bu tip reaktörlerde belirli miktarda organik atıklar sisteme atılır. Organik asit birikimi ve yüksek asidik bölgeler hızla oluşur ve bu durum fermantasyon sürecini duraksatır. Bu durum, kolay fermente olabilen organik atıkların (mutfak atıkları gibi) kullanılması durumunda sorun oluşturabilir. Mekanik karıştırma işlemi bu sistemlere uygulanabilir; kuru madde miktarı fazla olan atıkların düzgün bir şekilde karıştırılması zor olur. Genel olarak kuru fermantasyon teknolojisi küçük ölçekli uygulamalar için çok karmaşık görülmektedir (Kaya ve Öztürk, 2012).

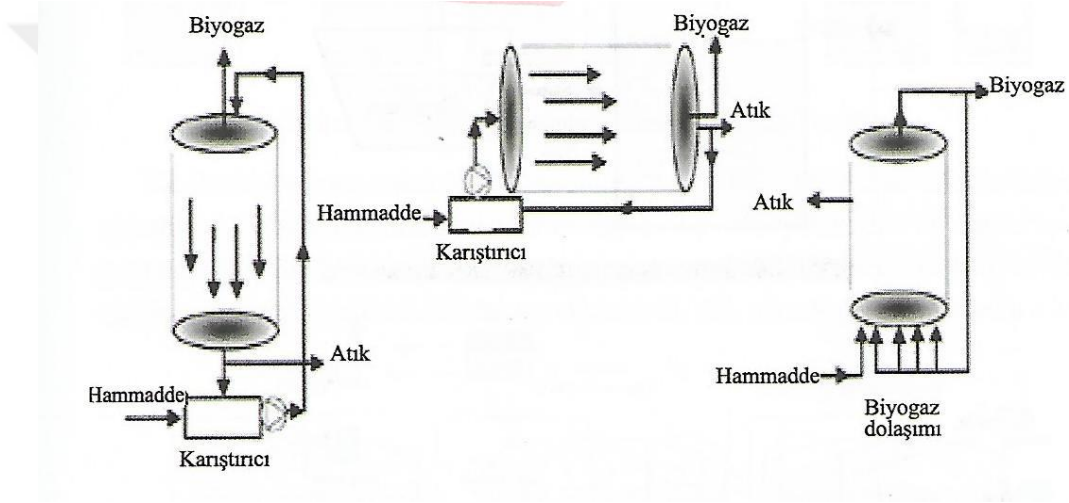
Biyogaz tesisleri besleme yöntemlerine göre sürekli tip ve kesikli tip olmak üzere ikiye, reaktör tasarımlarına göre sabit kubbeli, hareketli kubbeli ve membran (balon) tipi tesisler olmak üzere üçe ayrılırlar.

3.3. Besleme Yöntemlerine Göre Biyogaz Tesisleri

3.3.1. Sürekli tip biyogaz tesisleri

Bu tip tesislerde reaktörden gaz çıkışının başladığı andan itibaren günlük olarak düzenli bir şekilde sisteme yükleme yapılır ve organik karışımın sisteme aktarıldığı kadar sistemden dışarıya gazı alınmış çökelti atılır. Reaktöre her gün belirli miktarda organik madde verilir. Gerekli bekletme süresi kadar bekletildikten sonra, verilen miktar kadar fermente olmuş materyal günlük olarak aynı oranda reaktörden alınır. Böylelikle, sürekli biyogaz üretimi günlük beslemelerle yapılmış olur. Sürekli tip biyogaz tesislerinde, biyokütle yükleme sürekli yapılarak reaktördeki substrakt hacmi yaklaşık olarak sabittir. Sürekli tip tesislerde günde bir veya iki kez yükleme yapılır. Sürekli beslenen tesislerin avantajı, sabit miktarda biyogaz üretimine elverişli olmasıdır.

Bu tip sistemlerde yüzer durumdaki parçacıkların çökerek katı bir cüruf tabakası oluşturması biyogaz üretimini engelleyebilir ve tesisin çalışamaz duruma gelmesine neden olabilir. Bu sorunu çözmek için, uygun bir karıştırıcı kullanılmalı ve bekleme süresi uzatılmalıdır. Sürekli beslemeli biyogaz tesisleri tasarlanırken kullanılan organik materyale uygun bir bekletme süresi ve reaktör yükü dikkate alınmalıdır. Sürekli beslemeli çalışma, her tasarım için uygundur ve bununla birlikte kullanılan materyalin akışkan ve homojen olması gerekir. Sürekli tip biyogaz tesisleri taşarak otomatik olarak boşaltım yaparlar. Sürekli tip tesisler çoğunlukla kırsal kesimler için uygundur. Şekil 3.5'te sürekli tip bir sistemde biyogaz üretimi ve kullanımı gösterilmiştir (Kaya ve Öztürk, 2012).

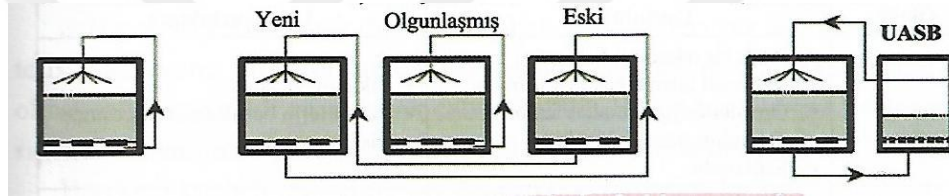


Şekil 3.5. Sürekli tip biyogaz reaktörleri (Kaya ve Öztürk, 2012).

3.3.2. Kesikli tip biyogaz tesisleri

Tesisin reaktörü organik atıklar ile doldurulur. Reaktörde bekletme süresi kadar bekletilen atıkların biyogaz oluşumu tamamlanır. Kullanılan organik maddenin türüne ve sistemin sıcaklığına bağlı olan bekleme süresi dolduktan sonra reaktör tamamen boşaltılır ve tekrardan doldurulur. Bu tür sistemlerde biyogaz üretebilmek için ilk olarak reaktör biyogaz üretecek organik madde/maddeler ile yüklenir ve biyogaz üretiminin gerçekleşmesi için beklenir. Kesikli tip biyogaz tesislerinde, organik madde yığın halinde yüklenir. Biyogaz üretim hızı azalmaya başladığı zaman, fermantasyon işlemi kesilir, tesis temizlenir ve yeniden doldurulur. Birkaç adet paralel reaktör kullanılarak istenilen miktarda gaz üretebilir. Şekil 3.6'da kesikli tip biyogaz reaktörleri görülmektedir.

Kesikli tip tesisler, tamamen doldurulur ve belirlenen bekletme süresinden sonra tamamen boşaltılır. Bundan dolayı her tasarım ve her fermantasyon materyali kesikli tip tesisler için uygundur. Kesikli tip tesislerde gaz teminini düzenli olarak devam ettirebilmek için, büyük gaz depoları ve fermantasyonun gerçekleştiği bir dizi reaktör gereklidir. Kesikli tip tesisler; genellikle yağış miktarı düşük olan yerlerde saman ve lifli maddeler gibi katı içeriği yüksek hammaddelerin fermantasyonu için uygundur. Saman ve gübrenin birlikte kullanılması durumunda, tesis yarı-kesikli tip biyogaz tesisi olarak çalıştırılabilir. Yarı-kesikli tip biyogaz tesislerinde, ilk olarak reaktörün belirli bir hacmi organik maddeler ile yüklenir ve reaktörde bir miktar boş hacim kalır. Bu hacmi tamamlamak için, boş hacim fermantasyon süresine bölünür ve reaktör günlük olarak doldurulur. Fermantasyon işlemi bittikten sonra boşaltılan reaktör tekrardan doldurulur (Kaya ve Öztürk, 2012).



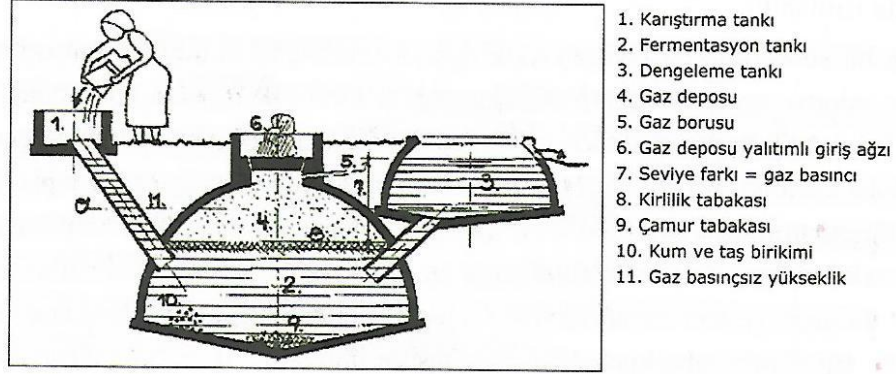
Şekil 3.6. Kesikli tip biyogaz reaktörleri (Kaya ve Öztürk, 2012).

Kesikli sistemlerin avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kesikli sistemlerin avantaj ve dezavantajları (Kaya ve Öztürk, 2012).

Ölçüt	Avantajları	Dezavantajları
Teknik	- Basit bir teknolojidir. - Materyal işleme basitleştirilmiştir. - Ön işlem uygulamaları azdır. - Teknoloji düzeyi düşüktür. - Sağlamdır.	- Tıkanma oluşur. - Reaktörlerin boşaltılması süresince risk oluşabilir.
Biyolojik	- Metanlaşma aşamasından hidroliz aşamasının ayrışması. - Çöplük gazı reaktörlerinden hızlıdır. - Birkaç adet reaktörün kullanılması nedeniyle güvenilir bir işlemdir.	- Tek reaktör sistemlerinde gaz üretimi değişkendir. - Organik madde yükleme hızı düşüktür.
Ekonomik ve Çevresel	- Gelişmekte olan ülkeler için ucuz ve uygulanabilir. - Su tüketimi azdır. - Maliyeti düşüktür. - Çöplük gazı için uygundur.	- Çok geniş alan gereklidir. - Organik maddeler tam olarak fermente olmaz.

Gaz üretimi başladığında, substrakt dengeleme tankı içerisine boşaltılır. Gaz basıncı, depolanan gazın hacminin artışına bağlıdır. Depodaki gazın çok az olması durumunda, gaz basıncı düşük olur (Kaya ve Öztürk, 2012).



Şekil 3.8. Sabit kubbeli tesisin ekipmanları (Kaya ve Öztürk, 2012).

Sabit kubbeli bir biyogaz tesisinin avantajları ve dezavantajları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

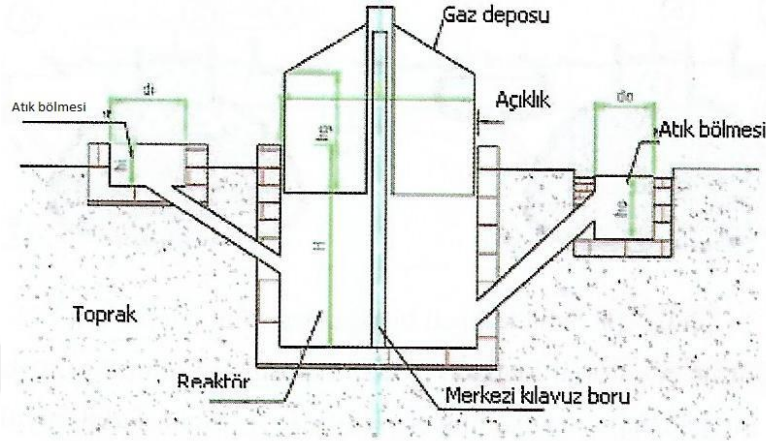
Çizelge 3.2. Sabit kubbeli tesislerin Avantajları ve dezavantajları (Kaya ve Öztürk, 2012).

Avantajları	Dezavantajları
• İlk yatırım maliyeti düşüktür. • Kullanım süresi 20 yıl ve daha yüksek olacak şekilde uzundur. • Temel tasarım basit ve iyi yalıtılmıştır. • Hareketli parçalar yoktur. • Hareketli ve paslanabilen çelik parçalar yoktur. • Kışın soğuklardan korunma ve yer tasarrufu sağlamak için yeraltında tasarımlanabilir. • Bölgesel olarak iş olanağı yaratma potansiyeli vardır.	• Çatlaklar ve boşluklar nedeniyle, tesislerin gaz yalıtımı iyi değildir. • Özel bir şekilde yalıtım gereklidir. • Çatlamalar gaz sızıntılarına neden olur. • Gaz basıncı çok yüksektir ve önemli düzeyde değişir. • Gaz basıncının değişmesi, gaz kullanımını engeller. • Fermentasyon sıcaklığı düşüktür. • Tesisin çalışması tam olarak anlaşılır değildir.

3.4.2 Hareketli kubbeli biyogaz tesisleri

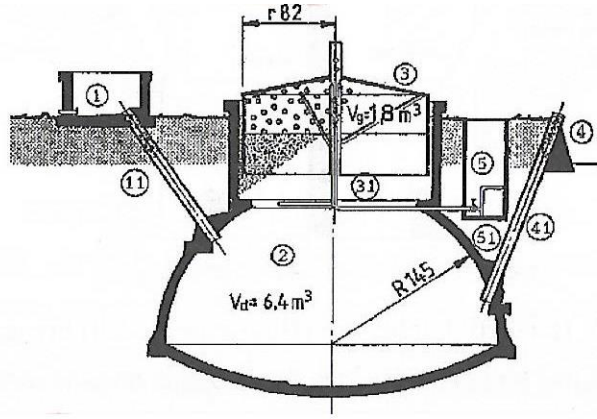
Hareketli kubbeli tip bir biyogaz tesislerinde, substrakt toprak içerisinde açılmış olan silindirik bir çukur içerisinde tutulur. Bu çukur tuğlalardan tasarlanır ve toprakla da desteklenir.

Tesisin substraktan dolayı oluşan hidrolik basınca karşı dayanıklı olması gerekir. Gaz, silindirik çelik gaz deposunda toplanır. Hareketli kubbeli tip bir biyogaz tesisi tasarımı Şekil 3.9’da gösterilmiştir (Kaya ve Öztürk, 2012).



Şekil 3.9. Hareketli kubbeli tip biyogaz tesisi (Kaya ve Öztürk, 2012).

Şekil 3.10’ da görülen hareketli kubbeli biyogaz tesisleri, bir fermantasyon tankı ve hareketli bir gaz deposundan meydana gelir. Gaz deposu ya fermantasyon substraktı üzerinde ya da ona ait bir su ceketı içerisinde doğrudan yüzer. Gaz, gaz bidonunda toplanır ve böylece gaz deposu yükselir. Gaz çekildiğinde ise gaz deposu tekrar alçalır. Bir iskelet yardımıyla gaz deposunun devrilmemesi sağlanır. Hareketli kubbeli tip biyogaz tesisi temel olarak, silindirik veya kubbe şeklinde bir reaktör ve taşınabilir bir gaz deposundan meydana gelir. Biyogazın toplandığı depo, dayanıklılık sağlayan iç veya dış taraftan kılavuz bir çatıyı bulundurabilir ve çatının bağlantıları depoya kaynakla tutturulur. Reaktör, tuğla, beton veya taş duvar olarak tasarlanabilir. Gaz deposu normal olarak metal malzemeden tasarlanır. Hareketli kubbeli tesislerde, sürekli besleme çalışma ilkesine göre hayvansal atıklar kullanılır. Reaktör hacimleri, küçük ve orta ölçekli çiftlik tipi tesisler için 5-15 m³, kurumsal ve büyük tarımsal endüstriyel tesisler için 20-100 m³ değerleri arasındadır (Kaya ve Öztürk, 2012).



- 1) Karıştırma çukuru, 1.1) Boru, 2) Reaktör, 3) Gaz deposu, 3.1) Kılavuz çatı, 4) Substrakt deposu, 4.1) Boşaltma borusu, 5) Gaz borusu, 6) Su kapağı

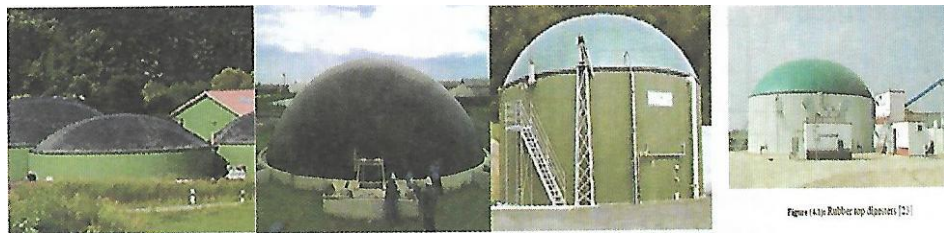
Şekil 3.10: Hareketli kubbeli biyogaz tesisinin yapısı (Kaya ve Öztürk, 2012).

Hareketli kubbeli biyogaz tesislerinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Hareketli kubbeli tesislerin avantaj ve dezavantajları (Kaya ve Öztürk, 2012).

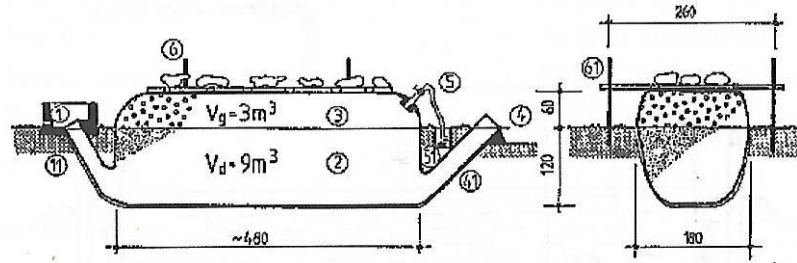
Avantajları	Dezavantajları
• Çalışması basit ve kolay anlaşılır durumdadır. • Gaz basıncı sabittir. • Depolanan gaz hacmi doğrudan gözlemlenebilir. • Tasarım maliyeti düşüktür. • Tasarımı iyi bilinmektedir.	• Korozyona uğrayabilen birçok çelik elemanlar vardır. • Düzenli bakım giderleri vardır. • Kullanım süresi kısadır. • Çelik gaz deposu pahalıdır. • Gaz deposunun periyodik olarak temizliği ve bakımı gereklidir. • Lifli hammadde kullanıldığında, gaz deposunda cüruf oluşabilir.

3.4.3 Membran (Balon) tipi biyogaz tesisleri



Şekil 3.11. Balon tipi biyogaz tesisleri(Kaya ve Öztürk, 2012).

Şekil 3.11’de görülen balon tipi bir biyogaz tesisi, üst kısmında gaz deposu bulunan plastik veya kauçuk reaktör ünitesinden meydana gelir. Giriş ve çıkış membranının dokusuna doğrudan bağlanmıştır. Balon tip biyogaz tesislerinde reaktörün üçte ikisini atık madde kalan üçte birlik kısmını ise gaz deposu oluşturur. Gaz deposu tamamen dolduğu zaman, tesis, sabit kubbeli tesis gibi çalıştığından, balon şişebilir özellikte ve çok elastik değildir. Membran tipi biyogaz tesisleri, ısı yalıtımlı plastik veya kauçuk balondan meydana gelirler. Balonun üst kısmı gaz deposu, dip kısmı ise reaktör olarak görev yapar. Gereken gaz basıncı membrana basınç uygulanarak sağlanır. Membranın yararlı kullanım süresi 2-5 yıl arasında değişir. Şekil 3.12’de örnek olarak yatay balon tip biyogaz tesisi gösterilmiştir (Kaya ve Öztürk, 2012).



- 1) Karıştırma çukuru, 1.1) Boru, 2) Reaktör, 3) Gaz deposu, 4) Substrakt deposu, 4.1) Çıkış borusu, 5) Gaz borusu, 5.1) Su kapağı, 6) Sırt, 6.1) Kılavuz çatı

Şekil 3.12. Yatay tip biyogaz tesisi bileşenleri (Kaya ve Öztürk, 2012).

Balon tipi biyogaz tesislerinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.4’te verilmiştir.

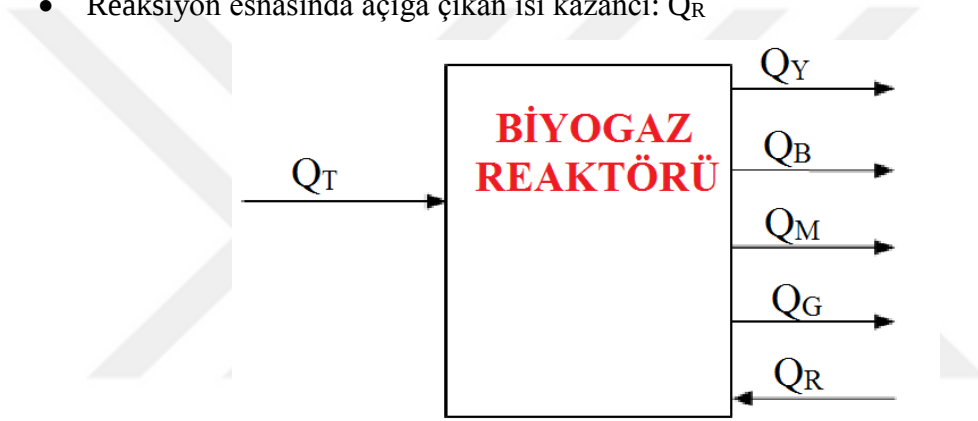
Çizelge 3.4. Balon tipi biyogaz tesislerinin avantaj ve dezavantajları (Kaya ve Öztürk, 2012).

Avantajları	Dezavantajları
- Maliyeti düşüktür. - Taşıma gereksinimi az ve kolaydır. - Tasarım işçiliği azdır. - Fermantasyon sıcaklığı yüksektir. - Boşaltılması, temizlenmesi ve bakımı kolaydır. - Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yerlerde yüzeysel tesis olarak tasarımlanabilir.	- Kolay bir şekilde zarar görebilir. - Düşük gaz basıncı ekstra yük getirir. - Plastik balonlar, mekanik etkilere karşı duyarlı olduğundan, kullanım süreleri kısmen kısadır. - Zarar görmüş balonlar yerel esnaf tarafından nadiren tamir edilebilir. - Bölgesel olarak iş olanağı yaratma potansiyeli azdır.

3.5. Biyogaz Üretiminde Reaktör Sıcaklığının Sağlanması ve Reaktör Isıtma

Biyogaz reaktörüne giren ve çıkan enerjiler Şekil 3.13'te gösterilmiştir (Akbulut, 2011).

- Reaktörün sıcaklığını istenilen derecede tutmak için gereken toplam enerji miktarı: Q_T
- Reaktörünün yüzeylerinden meydana gelen ısı kaybı: Q_Y
- Buharlaşmayla oluşan ısı kaybı: Q_B
- Reaktörden ayrılan biyogazla meydana gelen ısı kaybı: Q_G
- Besleme hammaddesinin sıcaklığının reaksiyon sıcaklığına getirilmesi için gerekli olan ısı miktarı: Q_M
- Reaksiyon esnasında açığa çıkan ısı kazancı: Q_R



Şekil 3.13. Biyogaz reaktörü ısı denge şematik gösterimi.

Reaktörün toplam ısı ihtiyacı Denklem 3.1'de görülmektedir;

$$Q_T = Q_Y + Q_B + Q_G + Q_M - Q_R \quad (3.1)$$

$Q_B + Q_G - Q_R \approx 0$ olduğundan bu durumda toplam ısı ihtiyacı Denklem 3.2'deki gibi olur.

$$Q_T = Q_Y + Q_M \quad (3.2)$$

Toplam yüzey alanı A_{rea} olan bir reaktörün toplam ısı geçiş katsayısı K_T ve sıcaklık farkı ΔT (reaktörün çalışma sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark) ise reaktörün yüzeyinden oluşan ısı kaybı; $Q_Y = A_{rea} * K_T * \Delta T$ şeklindedir. Bölgesel iklim verileri ΔT hesaplamalarında dikkate alınır. Binaların ısı kaybı hesaplamalarında yararlanılan minimum dış sıcaklık verileri emniyet açısından hesaplara dâhil edilmelidir.

Besleme hammaddesinin kütlesi M , özgül ısı c_p ve reaksiyon sıcaklığı ile besleme hammaddesinin sıcaklığı arasındaki fark ΔT olan bir reaktörün besleme hammaddesinin reaksiyon sıcaklığına getirilmesi için gerekli ısı, $Q_M = M * c_p * \Delta T$ 'dir. Yapılan hesaplamaların sonucunda biyogaz reaktörünün ihtiyaç duyduğu günlük enerji belirlenir. Genellikle mezofilik şartlarda çalışan bir reaktörde ısı ihtiyacı, iklim koşullarına ve reaktör malzemesine bağlı olarak günlük üretilen biyogazın % 15-30 arasında biyogazın harcanmasına sebep olmaktadır. Ayrıca biyogaz reaktöründe etkili bir biçimde biyogaz üretebilmek için reaktörün ısıtılması gerekir. Bu ısıtma işleminde genellikle sıcak sulu sistemler ve ısı pompalı sistemler kullanılmaktadırlar. Bu yöntemlerin belirlenmesinde dikkate alınan parametre reaktör sıcaklığıdır. Genel olarak reaktörler sıcak sulu sistemlerle ısıtıldığı gibi ısı pompası sistemiyle çalışan yoğunlaştırucular kullanılarak doğrudan ısıtılabilir. Reaktörlerin ısıtılmasında alternatif enerji kaynakları kullanılması sayesinde biyogaz sistemi daha verimli hale getirecektir. Biyogaz, elektrik ve petrol kaynaklı yakıtlar reaktör ısıtma sistemlerinde kullanılabilir. Reaktör ısıtılmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin yaygın olarak kullanılanları güneş enerjisi destekli, ısı pompası destekli ve jeotermal enerji destekli sistemlerdir (Akbulut, 2011).

3.6. Biyogaz Tesislerinde İşlem Akışı

Genel hatlarıyla biyogaz tesislerinde işlem akışı Şekil 3.14'te görüldüğü gibi basitçe şu şekilde gerçekleşir (Kaya ve Öztürk, 2012):

1. Organik atıklar belirli bir alanda toplanır.
2. Katı atıklar su ile karıştırılarak reaktörlere gönderilir.
3. Reaktörden çıkan biyogaz gaz deposuna yollanır.
4. Gaz deposunda biriken gaz kojenerasyon bölümüne gönderilir
5. Kojenerasyon bölümünde kojenerasyon ünitesi ile elektrik enerjisi ve ısı enerjisi elde edilir.
6. Biyogaz üretilen atıklar reaktörden atılır.
7. Reaktörden atılan atıklar tekrardan gübre olarak tarım arazilerinde kullanılır.

Bu maliyetlerin azalmasıyla normalde düzenli olarak depolama ve yok etme alanlarına ihtiyaç duyulmaz. Atık malzemelerin enerji üretmek için kullanılmasıyla sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm ilkeleri yerine getirilir.

- Isı ve elektrik enerjisinin ihtiyacı biyogaz üretilerek karşılanması fosil kaynaklı yakıtlardan enerji talebini azaltır. Böylece ısı ve elektrik enerjisinin satışıyla, ekonomi güçlendirilir.
- Biyogaz üretimi sonucunda oluşan katı ve sıvı fermente atıklar, gübreleme ve sulama harcamalarını azaltmak ve mineral gübre kullanımını engellemek için kullanılabilir. Toprak şartlandırıcısı ve gübre olarak katı atıklar, sulama da ise sıvı atıklar arazide kullanılabilirler.
- Biyogaz üretimi sayesinde maliyeti azaltmak için fermente atıklar satılabilir ve nitrat kirliliğinden kaynaklanan yüzeysel ve yeraltı suları daha az kirletilmiş olur.
- Anaerobik arıtımın daha yüksek organik yükleme oranına sahip olmasına rağmen diğer biyolojik yöntemlere göre daha az çamur oluşturur.
- Tesislerin çıkışındaki fermente atıklarda bulunan hastalıklı organizmaların miktarında önemli ölçüde azalış veya komple yok olma görülür.
- Sağlıklı ve hijyenik şartlar sağlanarak atıklar yok edilebilir.
- Uzmanlık ve iş gücü istihdamı sağlayarak geri dönüşüm sektörü geliştirilir.
- Tesisin bulunduğu şehrin veya bölgenin görüntüsünü ve prestijini atıkların değerlendirilmesi değiştirebilir.
- Biyogaz tesislerinin tarlalarda küçük ölçekli olarak kurulması sayesinde yeterli verimi sağlayamayan ve kâr yapamayan çiftçiler ek gelir elde edebilirler.
- Biyogaz tesislerinin ortak olarak tarlalara kurulmasıyla bu alanlar büyük ölçekli işletmelere dönüşebilir.

Biyogaz tesislerinin avantajlarının yanı sıra, bazı dezavantajları da bulunur. Bunlar (Öçal, 2013),

- Yanıcı ve patlayıcı bir gaz olan biyogaz tesisin işletilmesi sırasında oluştuğundan oldukça tehlikelidir. Bu tehlikeyi azaltmak için sistemin işletme şartlarının özenle seçilmesi ve düzenli olarak kontrol edilmesi gerekir.
- Atıklar hijyen koşullarına dikkat edilerek taşınmalı ve depolanmalıdırlar çünkü atıklarda bulunması muhtemel, hastalık üreten(patojen) bakteriler vardır.
- Su tüketimi atık türünün seçimine göre fazlalaşabilir.

- Atıkların fermentasyon işleminin sonunda su ve toprak kirliliğine neden olmadan gübre olarak kullanılabilmesi için azot içeriğine dikkat edilmelidir.
- Tesis tasarımı ve işletimi, doğru ekipmanlar kullanılarak uygun bir şekilde yapılmazsa görsel kirliliğe ve gürültü kirliliğine neden olur.
- Biyogaz tesislerinde tesisin kurulacağı yer ve kullanılacak atığın türü uygun olarak yapılmalı, aksi halde bazı bölgeler ve bazı atık türleri için gerekli olan ilk yatırım maliyetleri ve depolama alanındaki atıkların tesise taşınması gibi maliyetler biyogaz tesislerinde yüksek olabilir.
- Biyogaz tesislerinin hem tasarlanması hem de işletilmesi için teknik bilgiye ihtiyaç duyulur.
- Biyogaz tesislerinin zorunlu olarak kontrolü yapılmalıdır.
- Çiftlik tipi biyogaz tesislerinin diğer biyogaz tesisleri ile karşılaştırıldığında özellikle ekstra maliyet ve iş gücüne gerek duyulur.

3.8. Biyogaz Tesislerinde Fizibilite Çalışmalarının Önemi

Bir biyogaz tesisinin kurulabilmesi için uygun yer fizibilitesi sonuçları önemlidir. Özellikle çiftlik gübre miktarı ve biyogaz sistemine sağlanacak ham madde ihtiyacının ek bir gider sağlamayacak durumda olması gerekmektedir. Biyogaz tesisinin bulunduğu bölgede hayvancılık sektörünün gelişmiş olması veya gelişime katkıda bulunacak etkenlerin var olması oldukça önemlidir. Fermentasyon sonucunda yanmış gübrenin depolanması veya başka bir araziye taşınması için gerekli ulaşım şartları dikkate alınmalıdır. Fermentasyona uğramış gübreyi yakın arazilerde kullanmak ekstra giderleri azaltır. Küçük çaplı bir biyogaz tesisinin planlanmasında mevcut arazisinin ne kadarlık bir alanda hayvan barındırdığı ve arazinin ne kadarlık bir kısmında tesis düşünüldüğü önceden tespit edilmelidir. Tesis planlanmasında hangi hayvansal atığın kullanılacağı tespit edilmelidir. Tesis hedeflerinde birim organik kuru madde veya m³ metan başına düşük maliyetli ve yüksek verimli ürün türleri tercih edilmelidir. Tesis kurulumunda hukuki sürecin nasıl işlediği iyi bilinmelidir. Çevrede bulunan konutlara, su yataklarına ve havzalarına olan uzaklıklarına dikkat edilmelidir. Arazi planlanmasında, biyogaz sisteminin taşınabilirliğine veya ilerleyen safhalarda büyütme olanaklarının uygunluğu dikkat edilmelidir. Bilindiği gibi metan gazında patlama riski vardır. Bu patlama riskinden dolayı yerleşim yerlerine en az 50 metre mesafeli alanlar tercih edilmelidir. Küçük çapta veya büyük tesislerde üretilen metan gazının depolanmasında ek araziye ihtiyaç duyulur (Gonç, 2014).

3.9. Biyogaz Tesislerinin Toplam Maliyetlerinin Hesaplanması

Herhangi bir enerji üreten bir tesisin ekonomik olarak uygunluğunun belirlenebilmesi için yararlanılması gereken temel ekonomik ölçütler bulunmaktadır. Bunlar, diğer alternatif yatırımlardan daha yüksek olduğunu belirten iç kararlılık oranı (IKO), yerleşik güç başına maliyet olan özgül yatırım maliyeti (ÖYM) ve birim elektrik başına düşen elektrik üretim maliyeti olan elektrik maliyeti (EM)'dir. Bu ölçütler bir projenin ekonomik olarak uygunluğunun belirlenmesinde oldukça önemlidirler. Bölgesel ve yakılan yakıtla bağlı olan biyokütle projeleri, diğer proje türlerine göre önemli bir farklılığa sahiptir. Bir biyogaz tesisinin toplam maliyetini hesaplamak için maliyet oluşturan tüm etmenler değerlendirilir. Bu etmenlerin başlıcaları, temel ekipmanların maliyetleri ve bu ekipmanların kurulması için gerekli inşaat işleri, bina yapımı, mühendislik, komisyon, yönetim, beklenmeyen durumlar, yapı, faiz ve enstrümantasyon giderleri yer alır. Biyogaz tesisinin genel olarak başlıca maliyetlerini ön tasarım maliyetleri, tasarım maliyetleri ve işletme giderleri oluşturur. Ön tasarım maliyetleri, yerleşim ve izin alma, araziye devralma işlemleri, çevresel etkilerin değerlendirilmesi, mühendislik/planlama ve tasarım giderleri ile hidrojeolojik incelemelerden oluşur. Tasarım giderlerini altyapı maliyetleri, temizlik ve kazı, bina ve tasarım, ekipmanlar ve işçilik oluşturur. İşletme giderlerini ise bakım giderleri, işçilik, malzemeler, su ve enerji temini, danışmanlık ve eğitim giderleri, sigorta giderleri, kırtasiye giderleri, katı atık ve atık suyun giderilmesi ve düzenleme oluşturur. Bir biyogaz tesisinin sermaye maliyeti bileşenleri genel olarak Çizelge 3.5'de gösterilmiştir. Yerleşik kapasitesi biyogaz tesislerinin tasarım maliyetini etkiler. Bir biyogaz tesisinin gelir ve gider hesapları yapıldığında 4-7 yıl içerisinde kendisini amorti etmesi ekonomik olarak uygulanabilirliğini gösterir. Biyogaz tesisinin giderlerini yıllık yatırım giderleri, reaktörlerin kullanımı ve bakımları, kojenerasyon ünitelerinin kullanımı ve bakımları, sigorta ve vergiler, iş gücü ve hammadde giderleri oluşturur. Biyogaz Tesisinin gelirlerini ise elektrik satışı, yeşil sertifika satışı, kullanılan ısı ve gübre tasarrufu oluşturur. Yıllık toplam gelirler ve giderler arasındaki farkla yıllık kar belirlenir. Geri ödeme süresi de bu kar sonucunda hesaplanabilir. Bir biyogaz tesisinden elde edilen gelirler Denklem 3.3'teki gibi formüle edilebilir (Kaya ve Öztürk, 2012).

$$R_{BP} = (E_g * E_p) + (H_g * H_p) + (S * A_0 * G_b) + \dots \quad (3.3)$$

R_{BP} : Biyogaz tesisinden kazanılan gelirlerin toplamı

E_g: Tesiste üretilen yıllık elektrik enerjisi miktarı

E_p: Tesiste üretilen elektriğin fiyatı

H_g: Tesiste üretilen ısı enerjisi miktarı

H_p: Üretilen ısı enerjisinin 1 kwsa' nin parasal karşılığı

S: Biyogaz üretmek için tesiste kullanılan atık madde miktarı

A₀: Tesiste kullanılan malzemenin bozunma hızı

G_b: Tesiste biyogaz üretimi sonunda kalan atık malzemenin satış fiyatı

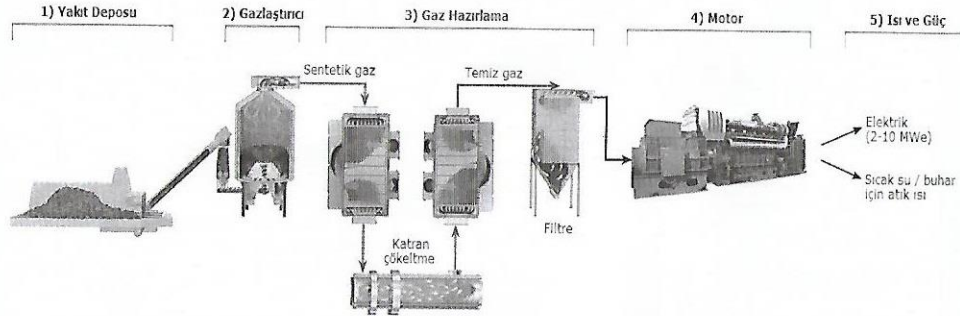
Çizelge 3.5. Biyogaz tesisinin maliyetleri (Kaya ve Öztürk, 2012).

Maliyet Bileşeni	Maliyetin Genel Oranı	Mevcut İncelemede Kullanılan Maliyet Faktörü
Makine/Teçhizat Giderleri • Yapı • Boru yerleştirme • Enstrümanlar • Elektrik • İnşaat İşleri • Bina Tasarımı • Isı yalıtımı	~	~
Doğrudan Tesis Giderleri (DTG)		DTG' nin %100'ü
Mühendislik/Tasarım/Danışmanlık	DTG'nin % 10-20'si	DTG'nin %15'i
Yönetim Genel Giderleri	DTG'nin %5-20'si	DTG'nin %10'u
Yerleşik Tesis Giderleri (YTG)		DTG'nin %125'i
Komisyon	YTG'nin %1-10'u	YTG'nin %5'i
Beklenmedik Olaylar	YTG'nin %0-50'si	YTG'nin %10'u
Kontraktörün Ücretleri	YTG'nin %5-15'i	YTG'nin %10'u
Tasarım Süresince Faiz	YTG'nin %7-15'i	YTG'nin %10'u
Toplam Tesis Giderleri		YTG'nin %135'i
		DTG'nin %169'u

Biyogaz tesislerinde genellikle kojenerasyon sistemleri tercih edilir. Kojenerasyon sistemlerinde ise gaz motorları gaz türbinlerine göre çoğunlukla kullanılırlar.

3.10. Gaz Motorları ve Çalışma Prensibi

Motorlu kojenerasyon sistemlerinin başlıca bileşenleri yakıt depolama, gazlaştırma teknolojisi, gaz hazırlama teknolojisi, motor ile ısı ve güç sistemlerinin bileşimleridir. Şekil 3.15'te motorlu bir kojenerasyon sistemlerinin bileşenleri görülmektedir.

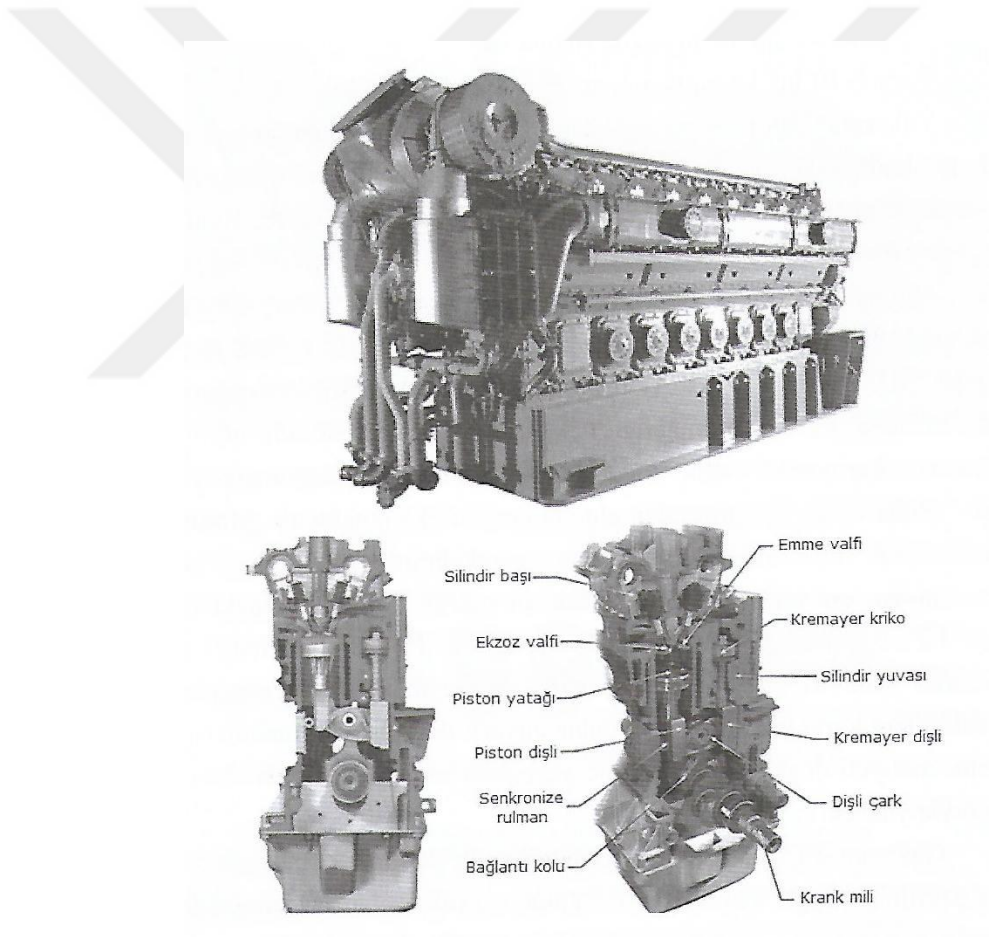


- 1) **Yakıt Depolama:** Biyokütle atıklar depolama ünitesine taşınır ve gazlaştırıcıya iletilir.
- 2) **Gazlaştırma Teknolojisi:** Biyokütle atıklar, temiz ve yenilenebilir sentetik bir gaza dönüştürülür.
- 3) **Gaz Hazırlama Teknolojisi:** Sentetik gaza, motor yakıtı olarak kullanılacak özellikler kazandırılır.
- 4) **Motor:** Isı ve elektrik üretebilmek için, sentetik gazla çalışan verimli içten yanmalı motor kullanılır.
- 5) **Isı ve Güç Sistemleri:** % 65 gibi yüksek bir verimde küçük ölçekte (2-10 MW_e) ısı ve elektrik üretir.

Şekil 3.15: Motorlu bir kojenerasyon sisteminin bileşenleri (Öztürk ve Kaya, 2014).

Çok fazla silindire sahip düşük devirle Otto çevrimi ile 50-3500 kW aralığında güç üreten gaz motorları, güç çıkışının 1-1,5 katı kadar ısı üretirler. Doğalgaz, propan ve biyogaz ile çalışabilen gaz motorlarının azot oksit emisyonu düşük olduğundan, çevreye olan zararları azdır. Pistonlu bir gaz motorunun yaktığı yakıtın enerjisi yani birincil enerji belirli oranlarda kaybolur. Bu kaybolan oranların, % 35-40'ı mekanik güç, % 30-35'i motor gömlek ısısı, % 25-30'u egzoz ısısı ve % 7-10'u ise ışınlam enerjisidir. Bu enerji dağılımında açığa çıkan atık ısılar dikkate alındığı zaman gaz motorunun kojenerasyon amacıyla kullanılabilir. Bu kullanımda sistemin verdiği ısı, gaz motorunun yağlama devresinden, egzoz gazlarından ve şarj havası ile silindir bloğunun soğutma devresinden üretilebilir. Gaz motorlarında, sıcak suya atık ısının yaklaşık % 70'i, buhar fazına ise atık ısının yaklaşık % 30'u geçer. Gaz motorlarında geri kazanılan atık ısının yaklaşık üçte biri egzoz gazlarından, kalan üçte ikisi ise motorun soğutma sistemlerinden sağlanmaktadır. Gaz motorlarının soğutma devrelerini silindir-gömlek soğutması, karteldeki yağın soğutulması, turbo şarj soğutması ve bunlara ek olarak egzoz eşanjöründen elde edilen ısı oluşturur. Motorlu kojenerasyon sistemlerinde sistemin soğutulmasına ihtiyaç duyulur. Bu ihtiyaçtan dolayı geri kazanılan ısı, sıcak su olarak en verimli şekilde kullanılır. Bu tür sistemlerde, toplam verim % 90'ın üzerine çıkabilmektedir.

Sürekli çalışmayan sistemler için ideal olan gaz motorlarının verimleri gaz türbinleri kadar çevre ısısında meydana gelen değişikliklere karşı duyarlı değildirler. Yatırım maliyeti düşük olan gaz motorlarının işletme ve bakım maliyetleri makinenin aşınmasından dolayı yüksektir. Termodinamik özellikleri bakımından Otto çevrimine bağlı olarak çalışan gaz motorları, yakıt ve yakma havası karıştırılarak vuruntu oluşturmayaacak şekilde bir basınçla sıkıştırılırlar. Sıkıştırılan karışım, bir buji ile meydana getirilen kıvılcım ile ateşlenir. Silindirlerde gerçekleşen işlemlerle pistonlar hareket ettirilerek mekanik güç elde edilir. Mekanik güç, şaftın ucundaki alternatöre hareket verir. Eğer istenilirse bu dönel hareket bir akışkanı pompalamak amacıyla pompa çalıştırmak için kullanılabilir. Gaz motorunun yapısı Şekil 3.16’da gösterilmiştir (Öztürk ve Kaya, 2014).



Şekil 3.16. Gaz motorunun yapısı (Öztürk ve Kaya, 2014).

Bir kojenerasyon tesissinde kullanılan gaz motorları tasarımı ve başlıca bileşenlerinin örneği Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Atık ısıları geri kazanmak amacıyla kullanılan eşanjör sistemlerini çeşitli düzenlemelerle tasarlanabilir.

Kojenerasyon tesislerinde güç üretim prosesinde atılacak ısı enerjisinin kullanılabilir ısı enerjisine dönüştürülmesi atık ısının geri kazanılması olayıdır. Yakıcılarda kullanılan yakıt miktarının azalması için atık ısının kullanılması gerekir. Kojenerasyon sistemlerinde ısı geri kazanılması elektrik üretiminin her ünitesinden sağlanabilir ve kazanılan ısının miktarı güç üretim sistemine, sistemin düzenlemesine ve sistemde gerek duyulan ısı enerjisinin özelliklerine bağlı olarak değişir. Bu etmenler içinde, güç üretimi sırasında atılacak atık ısının özelliklerinin farklı olması güç sistemlerinin kullanım yerinin belirlenmesinde ihtiyaç duyduğu ısı enerjisinin miktarı önemli bir parametredir. Gaz motorlarında beş tane ısı kaynağı bulunmaktadır. Bunlar; yanma şarj havası soğutma suyu, motor ceketli soğutma suyu, motor yağı soğutma suyu, egzoz gazları ve baca soğutma suyudur. Motorlarda aşırı ısınmayı önleme amacıyla ısıyı uzaklaştırma işlemi en önemli ısı geri kazanım uygulamasıdır. Yanma havasının soğutulmasıyla ısı geri kazanımında, gaz motoru sıcak (~40 °C) koşullarda çalışır, ayrıca motorun kendisi de ısı üretir. Yakıtın gaz motorunda yanmasıyla açığa çıkan enerjinin tamamı yararlı enerji olarak kullanılamaz. Motorun bulunduğu ortamın ısınması, açığa çıkan ısının bir kısmının ışıınım ve taşınım yoluyla meydana gelen ısı transferiyle olur. Kompresörler, içten yanmalı motorlarda yanma havasını pistonlara gelmeden önce basınçlandırır. İdeal gaz yasasına göre, gazların basıncı sabitken sıcaklık arttığında hacimleri de genişler. Kompresöre giren yanma havasının sıcaklığı önemlidir çünkü havayı çeşitli gazların karışımları oluşturur. Kompresörde hacmi büyüyen havanın sıkıştırılabilmesi için daha çok enerji harcanması gerekir.

Bundan dolayı motor tasarımı, motorda kullanılacak yanma havasının sıcaklığı 25 °C olan oda sıcaklığında kabul edilerek yapılır. Yağlama yağından ısı geri kazanımında, pistonlu bir motora giren enerjinin yağlama yağı ile yaklaşık % 10 kadarı atılır. Genellikle yüksek kaliteli yağlama yağlarının çalışma sıcaklığı 70-95 °C arasındadır. Çalışma sıcaklığının azalması, yağın ömrünü uzatır ve öte yandan geri kazanılabilir ısının kullanılabilirliği kaybolur. Bunlara ek olarak, su çok düşük yağ sıcaklığından dolayı yoğunlaşabilir. Yağın ömrü, yağın yüksek sıcaklık şartlarında çalıştırılması durumunda kısılır fakat ısının geri kazanılabilirlik miktarını ve kalitesini artırır. Bazı parçaların sıcaklığı ve yüzeyin sıcaklığını belirleyen ceket soğutucusunun sıcaklığı yağ sıcaklığını etkiler. Ceket ısısından ısı geri kazanılmasında, motorda ceket suyu motoru soğutmak için dolaştırılır. Sıcaklığı yaklaşık 95 °C soğutucuya giren ve yaklaşık 45 °C’de soğutucudan çıkan ceket suyu motora iletilir. Ceket soğutma sistemi tarafından atılan enerji, motora giren enerjinin yaklaşık üçte biridir. Atılan ısının neredeyse tamamı geri kazanılabilir özelliktedir. Geri kazanılabilen ısı enerjisi, sıcak su olarak 127 °C’ye kadar veya düşük basınçlı 103 kPa’lık buhar olarak üretilmesi tercih edilen tasarımlara ve saha gereksinimlerine bağlıdır. Egzoz gazından ısı geri kazanımında, motordan çıkan egzoz gazlarının sıcaklığı, 370-540 °C arasındadır. Sıcak su veya basıncı düşük/yüksek buhar üretmek amacıyla egzoz gazlarıyla atılan ısı enerjisi geri kazanılabilir. Yükleme ve motor tipine bağlı olarak egzoz gazlarının sıcaklığı değişir. İki zamanlı motorlar egzoz gazını dört zamanlı motorlara göre daha düşük sıcaklıklarda yoğun olarak üretirler. Kısmi yükte çalıştırıldığında egzoz gazlarının sıcaklığı azalır. Egzoz manifoldu suyla soğutulduğunda, egzoz sıcaklığı azalır. Baca sıcaklığından ısı geri kazanılmasında ise, duman gazı bacadan dışarı atılmadan önce ekonomizerde faydalanılır. Ancak bacaya gönderilen duman gazı ekonomizerde üretilmesi planlanan sıcak suyun veya buharın sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta olamaz. Duman gazının sıcaklığı üretilmek istenen sıcak suyun veya buharın sıcaklığından 20 °C yüksek olması düşünülmektedir. Duman gazı ile su arasındaki ısı geçişi verimli bir şekilde gerçekleşmesi için bu şartlar gerekmektedir. Geri kazanılabilecek enerji böylelikle bacadan atmosfere atılarak duman gazından üretilebilir. Duman gazının enerjisinden maksimum oranda faydalanabilmek için bacadan atılan duman gazının sıcaklığının 50 °C civarına düşürülmesi gerekir (Öztürk ve Kaya, 2014).

3.11. Kojenerasyon Sisteminin Seçilmesi

Kojenerasyon sistemlerinde çoğunlukla gaz türbini veya gaz motoru kullanılır. Tesis tasarımında gaz motoru elektrik ihtiyacının ısı ihtiyacından çok yüksek olduğu durumlarda, gaz türbini ise ısı ihtiyacının elektrik ihtiyacından çok yüksek olduğu durumlarda tercih edilir. Kojenerasyon uygulamalarında, gaz motorlarının basit çevrim verimi % 38-46 arasındayken, gaz türbinlerinin basit çevrim verimi % 30-38 arasında değişir. Kojenerasyon uygulamalarında gaz motorları 1 MW gibi küçük güçlerde kullanılırken, gaz türbinleri ise genellikle 4,5-20 MW güç aralığında kullanılırlar. Gaz türbinleri ve gaz motorlarının güç, verim, elektrik/ısı oranı ve ömür bakımından özellikleri Çizelge 3.6’da gösterilmiştir (Öztürk ve Kaya, 2014).

Çizelge 3.6. Kojenerasyon sistemlerinin kapasite özellikleri (Öztürk ve Kaya, 2014).

Özellik	Gaz Türbini	Gaz Motoru
GÜÇ	Gaz türbini: 1-50 MW _e Gaz-buhar türbini: 10-100 MW _e	Gaz motoru: 20 kW _e -15 MW _e (tek modül)
VERİM	Sadece elektrik üretimi: ~%30 Kombine çevrimle elektrik üretimi: %45-50 Kojenerasyon santrali: ~%85	Elektrik çevrim verimi: %<10 Toplam sistem verimi: ~%85-91
ELEKTRİK/ISI ORANI(EIO)	EIO, yaklaşık olarak %40 düzeyindedir. Örneğin, Elektrik üretim kapasitesi 1 MW olan bir gaz türbini, eş zamanlı olarak ve ekstra enerji (gaz-yakıt) kullanılmaksızın ısı enerjisi (sıcak su veya buhar) kapasitesi 2,5 MW’tır.	EIO, yaklaşık olarak % 80 düzeyindedir. Örneğin, 100 kW elektrik üreten bir gaz motoru, aynı zamanda ek enerji (gaz-yakıt) kullanılmaksızın 125 kW ısı enerjisi üretmektedir.
ÖMÜR	Ekonomik ömürleri 100000-150000 saat aralığında değişmektedir. Yaklaşık olarak bu değer 12-20 yıla karşılık gelmektedir.	

Kojenerasyon sistemlerinde elektrik ve ısı enerjisinin gereksinimlere göre dengelemek gerekir ve bu amaçla uygulanan yöntemler Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Kojenerasyon sistemlerinde elektrik ve ısı enerjisinin ihtiyaçlara göre dengelenmesi (Öztürk ve Kaya, 2014).

Yöntem	Açıklama
Birden fazla modülün kullanılması	Kojenerasyon sistemlerinin seçiminde kullanılan elektrik enerjisi ve ısı enerjisinde dönemsel(gece-gündüz, hafta içi-sonu, yaz-kış) olarak farklılıklar gösterdiğinden sistemin bir yıllık yük eğrisinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Özellikle gaz motorlarının kullanılacağı sistemlerin daha ekonomik olabilmesi için yük eğrisinin belirlenmesiyle birden fazla modül kullanılabilir.
Isı akümülatörünün kullanılması	İhtiyaçtan fazla ısı üretimi olması durumunda ısı akümülatörü kullanılarak fazla ısı depo edilir. Üretilen ısıdan fazla ısıya ihtiyaç duyulması durumunda akümülatörden ısı çekilir ve böyle yapılmasının amacı toplam verimi düşürmemektir.
Şebeke ile senkronize çalışmak	Sistemin tam yük ve maksimum verimde çalışabilmesi için aşırı elektrik üretiminde şebekeye elektrik satılabilir ve aşırı elektrik tüketiminde ise şebekeden elektrik alabilir.
İkinci bir yol bulunan kombine çevrim kullanılması	Kojenerasyon sistemlerinde türbin kullanıldığında, atık ısı kazanında üretilen buhar, • Artan elektrik ihtiyacı ile birlikte ikinci buhar türbini sisteme eklenir ve böylece çevrimin ürettiği toplam elektrik verimi %45 seviyelerine ulaşır. • Artan ısı enerjisi ihtiyacı ile birlikte buharı tamamen ısıtma amacıyla kullanmak için ikinci bir yol açılır. • İhtiyaç duyulan ısının bazı pik(tepe) durumlarında; ek yakıt türbinin egzoz çıkışına enjekte edilir ve böylece ısı üretiminin artırılması bir art yanma ile sağlanabilir.
Buhar türbininin kullanılması	Değişken elektrik ısı oranını dengelemek için türbinden ara buhar çekmek.
İkinci yol bacasının ve damperin direkt kullanılması	En verimsiz işletme şekli ısıya gerek duyulmadığında ısıyı dışarıya atmaktır. Tüm ısının dışarı atılması %80 civarında olan toplam verimi %30'lara düşürür.
Pik yük kazanı kullanılması	Isı ihtiyacı kojenerasyonun toplam ısı üretimini aşabilir. Bu aşma durumlarını karşılamak için ilave edilecek kojenerasyon ünitesi verimsiz olduğundan sistemin tasarımı bakım için durmalar hariç 365 gün 24 saat çalışma şartlarına göre yapılır. Çalışma süresi azalan sistemin, amortisman süresi artar. Bu tür pik durumlarda sistemin daha ekonomik olması için ekstra bir kazan eklenebilir.

Seçilecek uygun bir kojenerasyon sistemi için kullanıcı ihtiyaçları, sistemin ekonomikliği ve teknik olarak sistem verimliliği parametreleri dikkate alınır. Kojenerasyon uygulamalarını, fizibilite çalışmaları çok ayrıntılı yapılması gerekir çünkü oldukça büyük bir yatırım maliyeti bulunur. Sistemin ve kapasitenin kojenerasyon uygulamalarında uygun olarak seçilebilmesi için bazı parametreler dikkate alınmalıdır. Bunlar işletmede tüketilen elektrik ve ısı miktarı, sistemin yıllık çalışma süresi, enerji ihtiyaı ve birincil enerji kaynaklarının sisteme temin edilmesi ve ekonomik olarak uygulanabilmesidir (ztrk ve Kaya, 2014).

3.12. Gaz Motorlu Kojenerasyon Uygulamalarının Avantajları

Gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinin bazı önemli avantajları şunlardır (ztrk ve Kaya, 2014):

- Elektrik evrim verimi toplamda % 40 civarlarına ulaşabildiğinden yüksek miktarda elektrik enerjisi üretebilir. Elektrik tüketiminin, ısı tüketimine oranla daha yüksek olduğu uygulamalarda kullanılması önerilir (Elektrik/ısı oranı = 0,8). Bu özelliklerinden dolayı, gaz motorları, elektrik gereksiniminin yanında ısıtma veya soğutma amaçlı ısı enerjisinin ihtiyaç duyulduğu alanlarda (tatil köyleri, oteller, toplu konut ve spor kompleksi... gibi) etkin bir biçimde kullanılabilir.
- Toplam evrim verimi türbinli sistemlerin % 85-91 arasındadır. Gaz motorlu sistemler türbinli sistemlerle kıyaslandığında, türbinli sistemlerin elektriksel çevrim verimi arttığı zaman toplam çevrim verimi önemli oranda düşer.
- İdeal orandan fazla havanın idealden az oranda yakıtla yanmasıyla oluşan fakir karışımın veya doğal gazla kombine olan katalizörlü yakma sistemlerinin aracılığıyla, zararlı gaz emisyonu seviyesi çok düşürülür. Modern motorların sahip olduğu fakir karışımı yakma sistemlerinde katalizörlere ihtiyaç duyulmadan azot oksit (NO_x) emisyonlarını azaltılabilir ve katalizörsüz uzun süre izin verilen emisyon değerlerinin altında çalışabilir.
- Gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinde kısmi yük verimlilikleri ve çok modüllü düzenleme yapılabilir. Sistemin kısmi yükte verimi çok etkilemeden günlük bazda enerji maliyeti minimum seviyelere indirilebilir.

Bunun için sistemin elektrik ve ısı ihtiyacına, gün içinde meydana gelebilecek talep değişikliklerine ve elektrik ısı oranı değişimlerine göre modüller sırayla devreye alınıp çıkarılarak kolayca maliyet dengelenebilir.

- Gaz motorları kısa zaman içerisinde kolaylıkla devreye alınabilir ve devreden çıkarılabilir. Aynı zamanda, tesis kurulumu diğer tesislerle karşılaştırıldığında devre elemanı daha az olduğu için daha kısa sürede kurulabilir. Enerji tüketimi gaz motorlu tesislerde azdır.
- Gaz motorlarında yakıt olarak doğalgazla birlikte; atık arıtma tesisleri ve çöp depolama tesisleri gibi tesislerden elde edilen gaz yakıtlar ve kok gazı gibi yakıtlar da kullanılabilir. Elektrik ve ısı üretme amacıyla atıklardan elde edilen gaz yakıtlar direkt kullanılabilirler. Bu yakıtlar önceden yakılarak buhar üretilir ve üretilen buhar ise bir ara işlem olan buhar türbininin çalıştırılmasına gerek olmadan direkt gaz motorlarında değerlendirilebilir.

3.13. Kojenerasyon Tesisinin Projelendirilmesi

Kojenerasyon sistemlerini projelendirme çalışmaları şu sırayla yapılır (Öztürk ve Kaya, 2014):

1. Elektrik ve ısı enerjisi ihtiyaçlarının belirlenir.
2. Elektrik oranının ısı oranına bağlı olarak, motor veya türbin seçimi yapılır.
3. Motor/Türbinin büyüklüğüne göre sistem kapasitesi belirlenir
4. Ön projenin hazırlanır
5. Teklifler alınır ve tedarikçi seçilir
6. Ayrıntılı inşaat, mekanik ve elektrik projeleri yapılır
7. Yatırımın gerçek maliyeti ve amortisman süresi hesaplanır
 - a. Sistemin ekonomik açıdan incelendiği ekonomik fizibilite araştırılır.
 - b. Ürünün teknik olarak baştan sona incelendiği teknik fizibilite araştırılır.
 - c. Sistemin organizasyonunun incelendiği organizasyonel fizibilite araştırılır.
8. Yatırım için finansman seçeneklerinin araştırılır
9. Uygulama yapılır

Tesis projelendirilmesinde dikkat edilmesi gereken bazı etmenler şunlardır (Öztürk ve Kaya, 2014):

- İhtiyaçların belirlenmesi için dönemsel olarak saatlik, günlük ve aylık son bir veya iki yılda tüketilen elektrik ve ısı miktarları incelenmesi gerekir. Kojenerasyon sistemi kurulumunda esas olan atık ısı enerjisinin tamamının veya tamamına yakınının kullanılmasıdır. İleriye dönük yatırımlar düşünülerek, kojenerasyon büyük bir sisteminin seçilmesi geri ödeme süresinin uzatır çünkü yatırımlar gerçekleşinceye kadar sistemi düşük verimle çalıştırır. Bunun yerine sistemin tasarımı gelecekte uygun zamanda uygun kapasitede sisteme birkaç motor/türbin ünitesinin paralel bağlanarak yapılabilir yönelik yapılabilir ve sistemin bu şekilde büyütülmesi daha uygun bir çözüm yoludur.
- İhtiyaç duyulan elektrik ve ısı enerjisinin oranlarının motor/türbin seçiminde dikkate alınması gerekir. Bir kuruluşun yeterli sayıda ve yeterli kalitede teknik personel bulundurması kuruluşun türbin satın alabilmesi için oldukça önemlidir. Servis hizmetini veren kişi veya kuruluşlarla kolay iletişim ve iyi işbirliği sağlamak arıza ve periyodik bakımlar için önemlidir.
- Kapasitenin belirlenmesinde atık ısıların değerlendirilmesi önemlidir. Bu ısıların tamamının veya çok büyük bir kısmının bir yıl boyunca değerlendirilebilmesine dikkate edilmelidir. Kojenerasyon sistemlerinde atık ısıların iyi değerlendirilemediği sistemler verimsizdir.
- Tedarikçilerle yapılacak görüşmelerin kolay geçebilmesi için iyi bir ön proje hazırlanmalıdır. Şirketlerin ve tedarikçilerin, yaptığı veya yaptırdığı ön projeler genelde farklı yaklaşım ve hesaplama tekniklerinden dolayı uyumlu olmazlar. Kojenerasyon sistemlerinde istenen özelliklerin belirlenmesi, tedarikçilerle görüşme ve karar verme aşamalarının kolay olması için farklılıklar şirketler tarafından iyi bilinmelidir.
- Önemli bir çalışma olan ön proje çalışması sistem için işletmeye satın alınılması düşünülen teknik özelliklerin, işletme ve bakım maliyetlerinin belirlenmesi, elektrik ve ısı veriminin hesaplanması ve işletmedeki mevcut sistemin sorunlarının çözülmesi ve geliştirilerek değiştirilmesi için iyi bilinmesi gerekir. Danışman bir firmadan ön çalışma süresince yararlanılarak kojenerasyon sistemleri hakkında destek alınabilir. Yalnızca tedarikçilerin yönlendirmesi servis hizmetlerinin yetersiz olduğu bir tedarikçiye edilen siparişin ihtiyaçtan büyük olması gibi durumlara yol açabilir.

Sistemlerin tahmini yatırım maliyetleri ve amortisman süreleri hakkında bilgi sahibi olabilmek için öncelikle ön proje çalışmaları yapılmalıdır.

- Motor/türbinlerin kapasitelerinin farklı olmalarına rağmen bazı tedarikçi firmalar fiyat farklarını düşük tutarak alıcı firmaları ihtiyaç duyduklarından daha büyük bir sistem almalarına sebep olurlar. Düşük verimde kapasitesinin altında çalıştırılan normalden daha büyük seçilen motor/türbin ünitesinin bakım ve yedek parça maliyetinin yüksek olacağına dikkat edilmelidir. Kojenerasyon projelendirmelerinde, sonraki yıllarda ihtiyaçların artacağı ve arttığında sistemi tam kapasitesiyle çalıştırılır düşüncesi doğru değildir.
- Tasarlanan sistemleri karşılaştırabilmek için her zaman birçok motor/türbin tedarikçisinden çok sayıda teklif almak faydalıdır. Motor/türbin seçimi kapasiteye uygun olmayabilir ve bu yaşanan sıkıntılı durumun çözülebilmesi için seçilen kapasitede biraz küçültülme/büyültülme yapılması gerekebilir. Sistemin ve tedarikçinin seçilmesinde en önemli parametre, tedarikçinin servis hizmetinin bulunduğu ülkede güçlü olmasıdır. Bu konuda tedarikçinin daha önce kurmuş olduğu bir veya iki sistemin ziyaret edilmeli ve buralarda sağlanan servis hizmetleri hakkında bilgi toplanmalıdır. Mükemmel bir kojenerasyon sistemi kurulmasına rağmen yeterli ve iyi bir servis hizmeti alınamıyorsa bu yatırım uygun bir yatırım değildir ve kesinlikle beklenen tasarrufları sağlamaz.
- Kurulacak kojenerasyon ünitelerinin, elektrik iletim ve dağıtım şirketlerine zarar verilmesi istenmez. Bu bağlamda, Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı için oldukça önemli olan ayrıntılı projeler (inşaat, mekanik ve özellikle elektrik) yapılmalıdır. Yönetmelik ve standartlara uygun olarak yapılan projelerin Bakanlığa takdim edilmelidir. Bakanlığın yaptığı ön ve nihai kabul aşamalarındaki kontrollerin sonucunda, uygulama ile onaylanan proje arasında eksiklikler veya farklılıklar bulunmuş ise bunların hepsi düzeltilmeden sistemin işletilmesine izin verilmez.
- Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsünün (IEEE) standartlarında hesapların ayrıntılı olarak yapıldığı ve elektrik proje uygulamalarında yer alan her türlü koruyucu sistemlerin (koruma, kilitleme ve yük alma gibi) testleri yapılarak çalışmasının kontrolü işletmenin izin alabilmesi için önemlidir.
- Bir proje ekonomik açıdan uygun olabilir ancak bu proje teknik veya organizasyonel açıdan uygunsuz olabilir.

Örneğin bir kuruluş çok eski bir sisteme sahipse, bu kuruluşa şebekeyle paralel çalıştırılmak için bir kojenerasyon projelendirildiğinde, eski sistem ile yeni sistem arasında yaşanabilecek bir uyumsuzluktan dolayı eski sistemin komple yenilenmesi gerekebilir.

- Kojenerasyon uygulamalarının devreye alınması esnasında, bir süre işletmenin durdurulması gerekebilir ve durdurulma sorunun çözülmesi organizasyon açısından zor olabilir.
- Kojenerasyon uygulamalarının verimli olabilmesi için atık ısılardan maksimum biçimde yararlanılması gerekir ve bunu sağlamak amacıyla uygun şartlarda yerli-yabancı bankalar ve Hazine Müsteşarlığından kredi bulunabilir. Yapılan bu yatırımlar için Bakanlıktan hibe destekleri alınabilir.
- Projelerin uygulama aşamasında önemli olan uygulamalardan birisi ise iş/zaman çizelgelerinin hazırlanarak işlerin planlanması ve izlenmesidir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Örnek olarak yaklaşık 1 MW elektrik enerjisi üreten biyogaz enerjisi kullanılarak gaz motorlu bir kojenerasyon tesisi tasarımı yapılmıştır. Tesis tasarımında şu adımlar izlenmiştir.

4.1. Ön Değerlendirmeler

Kırşehir ili sınırları içerisinde bulunan yaklaşık 1000 kW elektrik enerjisi potansiyeli olan, büyükbaş süt sığırcılığı işletmesine ait gübre ile bu yöreye ait elde edilen bitkisel atıkların karışımı ile biyogaza dönüşümü elektrik üretimi yapılacaktır.

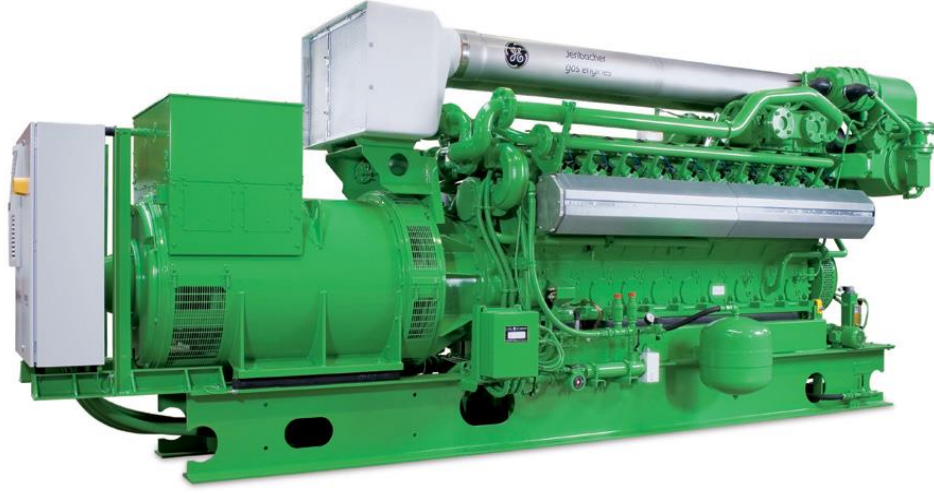
Kırşehir ilinin Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan 1930-2017 yılları arasındaki meteorolojik verileri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kırşehir ili meteorolojik verileri (URL-5).

KIRŞEHİR	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)
OCAK	-0,3	4,5	-4,3	3,1	11,8	48,0
ŞUBAT	1,3	6,5	-3,2	4,1	10,4	35,3
MART	5,2	11,2	-0,2	5,2	10,7	39,0
NİSAN	10,7	17,1	4,3	6,6	10,5	42,0
MAYIS	15,5	21,9	8,5	8,7	11,4	44,8
HAZİRAN	19,6	26,1	12,3	10,7	6,9	33,7
TEMMUZ	23,1	29,7	15,5	11,9	1,9	6,6
AĞUSTOS	23,0	29,9	15,5	11,3	1,3	5,1
EYLÜL	18,5	25,9	10,9	9,4	3,0	11,8
EKİM	12,6	19,9	5,9	7,0	6,3	26,5
KASIM	6,5	12,9	1,1	5,1	8,0	36,6
ARALIK	2,0	6,8	-1,9	3,1	11,8	47,7
YILLIK	11,5	1,7	5,4	86,2	94,0	377,1

4.2. Gaz Motoru Seçimi

1067 kW elektrik enerjisi ve 1226 kW ısı enerjisi üreten GE Jenbacher J320 GS marka gaz motoru kullanılmıştır. Tesisin toplam üreteceği enerji ve hesaplamalarda kullanılacak değerler için gaz motorunun resmi Şekil 4.1’de, teknik bilgi verilmiştir.



Şekil 4.1. GE Jenbacher J320 GS gaz motoru (URL- 6).

Gaz motoru ideal şartlarda maksimum verimde teknik olarak çalıştırıldığında $59 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide 1226 kwsa ısı üretmesi beklenmektedir. Fakat tesis tasarımlarının farklı konfigürasyonlar için debi ve ara sıcaklık değerleri değişiklik gösterebilir. Ge marka gaz motorunun J320 serisinin teknik verileri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. GE Jenbacher J320 gaz motorunun teknik özellikleri.

<u>Modül Özellikleri</u>	Birim	JMS 320
Elektriksel Güç	kW	1.067
Geri Kazanılabilir Termal Güç*	kW	1.226
Enerji Girişi	kW	2.606
Gaz Tüketimi (9,6 kwsa/Nm ³)	Nm ³ /sa	271
Elektriksel Verim	%	40,9
Isıl Verim	%	47,0
Toplam Verim	%	88,0
<u>Motor Değerleri</u>	Birim	JMS 320
Silindir Sayısı		20
Silindir Çapı	mm	135
Deplasman	mm	170
Silindir Hacmi	lt	48,67
Devir Sayısı	1/min	1500
Ortalama Piston Hızı	m/s	8,5
Silindir Sıkıştırma Basıncı	Bar	18
Basınç Oranı	Epsilon	12,5
Motorun Yakıt Sarfıyatı	kwsa/kwsa	2,38
Ağırlık	kg	5.700
<u>Sistem Bilgileri</u>	Birim	JMS 320
Motor Ses Seviyesi	dB(A)	96
Egzoz Gazı Ses Seviyesi	dB(A)	122
Egzoz Gazı Kütlesi (Nemli)	kg/sa	5.665
Egzoz Gazı Geri Dönüş Basıncı	mbar	60
Egzoz Gazı Sıcaklığı	°C	442
Yanma Havası Debisi	kg/sa	5.260
Ceket Suyu Dönüş Sıcaklığı	°C	70
Ceket Suyu Gidiş Sıcaklığı	°C	90
Sıcak Su Debisi	m ³ /sa	59,0
<u>Jeneratör Özellikleri</u>	Birim	JMS 320
Üretici		Stamford
Gerçek Gücü	kVA	1.625
Elektriksel Verimi (cosø=1,0)	%	97,4
Elektriksel Gücü (cosø=1,0)	kW	1.067
Frekans	Hz	50
Voltaaj	V	400
Yalıtım Sınıfı		H
Ağırlık	kg	3.506

1 MW'lık elektrik üreten biyogaz tesisi için giren enerji miktarı 2606 kW'tır. Bu enerji miktarını sağlamak için gereken metan miktarı Denklem 4.1'deki gibi hesaplanır.

$$E = V_{CH_4} * 9,9 \quad (4.1)$$

E = Tesiste üretilen enerji miktarı (kW)

V_{CH_4} = Atıkların metan hacmi (m^3/sa)

9,9 = 1 Nm^3 metanın ısı değeri (kwsa)

$$2606(kW) = V_{CH_4} * 9,9 (kWh)$$

$$V_{CH_4(sa)} \approx 263,232 (m^3/sa)$$

$$V_{CH_4(gün)} \approx 263,232 * 24 \approx 6317,576 (m^3/gün)$$

$$V_{CH_4(yıl)} \approx 6317,576 * 365 \approx 2305915,152 (m^3/yıl)$$

4.3. Bekleme Süresinin Belirlenmesi

Hidrolik bekleme süresi (HBS), biyogazın üretilmesi için bakterilerin gübre içinde bulunan organik maddeleri çürütebilmesi için gereken süre olarak tanımlanır. Bu süreyi denklemle ifade edersek,

$$HBS = \text{Reaktör Hacmi } (m^3) / \text{Günlük Debi } (m^3/gün)$$

şeklinde gösterilebilir. Hidrolik bekleme süresi, Çizelge 4.3'de görüldüğü gibi çürütülecek malzemeye bağlı olarak değişir (Gonç, 2014).

Çizelge 4.3. Hidrolik bekleme süresi (Gonç, 2014).

Kullanılan Malzeme	Hbs (Gün)
Sıvı Sığır Gübresi	12-30 gün
Saman Yataklı Sığır Gübresi	18-36 gün
Sıvı Domuz Gübresi	10-25 gün
Bitki ile Karıştırılmış Sığır Gübresi	50-80 gün
Sıvı Tavuk Gübresi	20-40 gün

4.4. Atık Türünün ve Miktarının Belirlenmesi

Hayvansal atık olarak HOLSTEIN türü süt sığırı kullanılmıştır. Bitkisel atık olarak Kırşehir ilinde ve çevresinde kolay bulunabilen mısır silajı, şeker pancarı küspesi ve atığa gidecek patatesler kullanılmıştır. Biyogaz üretiminde kullanılan hayvansal atıkların gübre üretimi ve özellikleri Çizelge 4.4'te, hayvansal atıkların listesi ve özellikleri Çizelge 4.5' te, bitkisel atıkların listesi ve özellikleri Çizelge 4.6.'da ve çiftlik dışı malzemelerin listesi ve özellikleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Hayvan türüne göre üretilen gübre miktarları (Kaya ve Öztürk, 2012).

HAYVAN	Gübre Üretimi (kg/saayvan.gün)	Kuru Madde İçeriği (%)	Buharlaşılabilen Katı İçeriği (%)	Özgül Metan Üretimi (m ³ CH ₄ /kg _{vs})
Süt Sığırı	43,00	13,95	11,63	0,18
Besi Sığırı	29,00	14,66	12,41	0,33
Koyun	2,40	27,50	23,00	0,30
Keçi	2,05	31,71	23,17	0,30
At	20,40	29,41	19,61	0,30
Et Tavuğu	0,19	25,88	20,00	0,35
Yumurta Tavuğu	0,13	25,00	18,75	0,35
Hindi	0,38	25,53	19,36	0,35
Ördek ve Kaz	0,33	28,18	17,27	0,35

Çizelge 4.5. Hayvansal atıkların listesi ve özellikleri (Akbulut, 2011).

Çamur Bulamaç gibi	KM [%]	OKM [%KM]	Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	Metan İçeriği (%)
Süt İneği	9,50	80	300	55
Besi Sığırı 0,5-2 yıllık	8,00	81	450	55
Yağlı Cins 0,5-2 yıllık	8,00	81	450	55
Dana	6,00	80	600	55
Yavrulu Dişi Domuz-9kg	6,00	85	400	60
Dişi Domuz	6,00	85	400	60
Shoat (9-28kg)	6,00	85	400	60
Fattener	6,00	85	400	60
Yayılmış Tavuk	18,00	75	500	56
Sullage (in m3)	2,00	0	0	0
Kuru Gübre	KM[%]	OKM [%KM]	Biyogaz Verimliliği lt/kg-OKM	Metan İçeriği (%)
Süt İneği	23	80	330	55
Besi Sığırı 0,5-2 yıllık	23	80	450	55
Yağlı Cins 0,5-2 yıllık	23	80	450	55
Dana	23	80	450	55
Yavrulu Dişi Domuz-9kg	22	78	450	60
Dişi Domuz	22	78	500	60
Shoat (9-28kg)	22	78	550	60
Fattener	22	78	600	60
Izgaralık Piliç	55	70	500	62
Genç Besi Tavuğu	55	70	500	62
Tavuk	55	75	400	62
Besi Hindi	55	75	350	62
Yağlı Hindi	55	75	350	62
Koyun	25	70	450	55
At	25	75	300	55

Çizelge 4.6. Bitkisel atıkların listesi ve özellikleri (Akbulut, 2011).

Bitkisel Atıklar				
Tip	KM [%]	OKM [%KM]	Biyogaz Verimliliği It/kg-OKM	Metan İçeriği %
Mısır Silajı	33	95	650	52
Sudan grass/sorghum	29	93	530	52
Çimen Silajı	32	90	550	54
1.Kesim Çimen Silajı	35	85	600	55
2.Kesim veya 3.Kesim Çimen Silajı	38	85	500	53
Kış Çimeni	18	85	630	53
Yeşil Mısır	17	85	630	53
Karaçayır	21	90	600	54
Kırmızı Turp	16	80	560	53
Kolza	14	85	590	53
Phacelia	15	85	620	53
Şeker Pancarı	14	85	680	51
Patates	20	80	770	51,5
Arpa Buğday	86	90	770	52
Mısır, Mısır Koçanı Karışımı	60	95	700	52
Ayçiçeği Silajı	27	90	600	57
Arpa Buğday/Çavdar Silajı	27	90	600	52

Çizelge 4.7. Çiftlik dışı atıkların listesi ve özellikleri (Akbulut, 2011).

Çiftlik Dışı Malzemeler				
Tip	KM [%]	OKM [%KM]	Biyogaz Verimliliği lt/kg-OKM	Metan İçeriği %
Hayvan Yemeği	94	85	540	58
Bio Atık	40	50	615	52
DAF Çamur	20	45	450	65
Un Tozu	87	97	750	52
Çiçek Yongaları	25	75	550	52
Yemek Atıkları	28	90	650	55
Meyve Atıkları	11	90	670	54
Kil	35	35	1000	68
Gliserin	60	90	1000	50
Grease Trap Fats	18	87	1000	65
Üzüm Ezmesi	25	86	635	55
Kesilmiş Çimen	42	90	750	54
Mutfak Atıkları	18	90	700	60
Mayonez	58	90	900	68
Yulaf Kabuğu	88	96	312	52
İşkembe Gübresi	15	84	480	55
Evcil Hayvan Yemeği	92	92	650	63
Sıkıştırılmış Küspe	88	92	700	65
Kullanılmış Tahıl (kuru)	23	95	500	56
Kullanılmış Tahıl (yaş)	4	97	450	52
Kullanılmış Patates	14	90	410	51
Kesilmiş Şeker Pancarı	25	93	700	51
Sugar Beet Tops	14	75	700	51
Vegetable Oil Sludge	30	90	900	68
Bitkisel Atıklar	15	80	500	55
Kesilmiş Sütün Suyu	6	80	500	56

4.4.1. %100 Hayvansal atık kullanılması durumunda

Tamamının hayvansal atık kullanılarak 1 süt sığırları günlük ortalama 43 kg gübre ürettiği Çizelge 4.4'ten alınmıştır. Reaktöre gübrenin % 10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekir. Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 20 günlük malzemeyi % 20 hata payıyla barındırabilecek hacme sahip olduğuna dikkat edilmelidir. Çizelge 4.5'ten alınan değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

• Kuru Gübre	: Süt Sığırları
• KM (%)	: 23
• OKM (% KM)	: 80
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 330
• Metan İçeriği (%)	: 55

2606 kW enerji için gereken metan (CH₄) miktarı yaklaşık 6317,576 m³/gün'dür. Bu metan miktarını üretecek atık içeriği, üretilecek biyogaz miktarı, biyogaz için gerekli atık kütlesi ve gereken atık miktarı hesaplamaları Denklem 4.2, Denklem 4.3 ve Denklem 4.4'te yapılmıştır.

$$V_{CH_4} = V_{bio} * \%_{CH_4} \quad (4.2)$$

$$V_{CH_4} = \text{Atıkların metan hacmi (m}^3\text{/gün)}$$

$$V_{bio} = \text{Atıkların biyogaz hacmi (m}^3\text{/gün)}$$

$$\%_{CH_4} = \text{Atıkların yüzdede metan içeriği}$$

$$6317,576 = V_{bio} * 0,55$$

$$V_{bio} = 11486,502 \text{ (m}^3\text{/gün)}$$

$$V_{bio} = M_{atık} * KM * OKM * \mu_{bio} \quad (4.3)$$

$$V_{bio} = \text{Atıkların biyogaz hacmi (m}^3\text{/gün)}$$

$$M_{atık} = \text{Bir günde toplanan toplam atık miktarı (ton/gün)}$$

$$KM = \text{Atıkların katı madde miktarı (\%)}$$

OKM = Atıkları madde miktarının organik içeriği (%KM)

μ_{bio} = Atıklarının biyogaza dönüşme oranı (lt/kg - OKM)

$$11486,502 = M_{atık} * 0,23 * 0,8 * 330$$

$$M_{atık} = 189,172 \text{ (ton/gün)} \approx 190 \text{ ton /gün}$$

$$M_{atık} = m_{sığır} * n_{hayvan} \quad (4.4)$$

$m_{sığır}$ = Bir günde toplanan 1 hayvanın atık miktarı (kg/gün)

n_{hayvan} = Toplam hayvan sayısı

$$190 \left(\frac{\text{ton}}{\text{gün}} \right) * 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right) = 43 \left(\frac{\text{kg}}{\text{gün}} \right) * n_{hayvan}$$

$$n_{hayvan} = 4418,604 \text{ adet hayvan gerekli}$$

$$n_{hayvan} \approx 4420 \text{ hayvan kullanılabilir.}$$

Tesis için gerekli olan reaktör hacmi belirlenmelidir.

$$\text{Katı madde miktarı} = 0,23 * 0,80 = 0,184 = \% 18,4 \text{ 'tür.}$$

$$\text{Organik katı madde miktarı} = 190 \text{ (ton/gün)} * 0,184 = 34,96 \text{ ton/gün} \approx 35 \text{ ton/gün}$$

$$\text{Sulandırılmış gübre miktarı} = 35 * 100/10 = 350 \text{ ton/gün malzeme}$$

$$20 \text{ günlük malzeme miktarı: } 350 * 20 = 7000 \text{ ton malzeme}$$

$$\text{Reaktör hacmi} = 7000 + (7000*0,20) = 8400 \text{ m}^3 \text{ hacme sahip reaktör gerekmektedir.}$$

4.4.2. %50 Hayvansal atık - % 50 mısır silajı kullanılması durumunda

Yarısı hayvansal atık diğer yarısı mısır silajı kullanılacak ve 1 süt sığırı 43 kg gübre ürettiği Çizelge 4.4'ten alınmıştır. Reaktöre gübrenin % 10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekir.

Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 60 günlük malzemeyi % 20 hata payıyla barındırabilecek hacme sahip olduğuna dikkat edilmelidir. Çizelge 4.5 ve 4.6'dan alınan değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

• Kuru Gübre	: Süt Sığırı
• KM (%)	: 23
• OKM (% KM)	: 80
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 330
• Metan İçeriği (%)	: 55
• Kuru Gübre	: Mısır Silajı
• KM (%)	: 33
• OKM (% KM)	: 95
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 650
• Metan İçeriği (%)	: 52

2606 kW enerji için gereken metan (CH₄) miktarı yaklaşık 6317,576 m³/gün'dür. Bu metan miktarını üretecek atık içeriği, üretilecek biyogaz miktarı, biyogaz için gerekli atık kütlesi ve gereken atık miktarı hesaplamaları Denklem 4.2, Denklem 4.3, Denklem 4.4, Denklem 4.5 ve Denklem 4.6'da yapılmıştır.

$$V_{CH_4} = (0,5 * V_{CH_4(bitki)}) + (0,5 * V_{CH_4(hayvan)}) \quad (4.5)$$

$$V_{CH_4(hayvan)} = \text{Hayvansal atıkların metan hacmi (m}^3\text{/gün)} = 3158,788 \text{ m}^3\text{/gün}$$

$$V_{CH_4(bitki)} = \text{Bitkisel atıkların metan hacmi (m}^3\text{/gün)} = 3158,788 \text{ m}^3\text{/gün}$$

$$V_{CH_4(hayvan)} = V_{bio} * \%_{CH_4} \quad (4.2)$$

$$V_{CH_4} = \text{Atıkların metan hacmi (m}^3\text{/gün)}$$

$$V_{hay,bio} = \text{Hayvansal atıkların biyogaz hacmi (m}^3\text{/gün)}$$

$$\%_{CH_4} = \text{Atıkların yüzdece metan içeriği}$$

$$3158,788 = V_{bio} * 0,55$$

$$V_{hay,bio} = 5743,251 \text{ (m}^3\text{/gün)}$$

$$V_{\text{hay,bio}} = M_{\text{atık}} * KM * OKM * \mu_{\text{bio}} \quad (4.3)$$

M_{hayvan} = Bir günde toplanan toplam hayvansal atık miktarı (ton/gün)

KM = Atıkların katı madde miktarı (%)

OKM = Atıkları madde miktarının organik içeriği (%KM)

μ_{bio} = Atıklarının biyogaza dönüşme oranı (lt/kg - OKM)

$$5743,251 = M_{\text{atık}} * 0,23 * 0,8 * 330$$

$$M_{\text{hayvan}} = 94,585 \text{ (ton/gün)} \approx 95 \text{ ton /gün}$$

$$M_{\text{atık}} = m_{\text{siğır}} * n_{\text{hayvan}} \quad (4.4)$$

$m_{\text{siğır}}$ = Bir günde toplanan 1 hayvanın atık miktarı (kg/gün)

n_{hayvan} = Toplam hayvan sayısı

$$95 \left(\frac{\text{ton}}{\text{gün}} \right) * 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right) = 43 \left(\frac{\text{kg}}{\text{gün}} \right) * n_{\text{hayvan}}$$

$$n_{\text{hayvan}} = 2209,30 \text{ adet hayvan gerekli}$$

$$n_{\text{hayvan}} \approx 2210 \text{ hayvan kullanılabilir.}$$

$$V_{\text{CH}_4(\text{bitki})} = V_{\text{bit,bio}} * \%_{\text{CH}_4} \quad (4.2)$$

V_{CH_4} = Atıkların metan hacmi ($\text{m}^3/\text{gün}$)

$V_{\text{bit,bio}}$ = Bitkisel atıkların biyogaz hacmi ($\text{m}^3/\text{gün}$)

$\%_{\text{CH}_4}$ = Atıkların yüzdece metan içeriği

$$3158,788 = V_{\text{bio}} * 0,52$$

$$V_{\text{bit,bio}} = 6074,592 \text{ (m}^3/\text{gün)}$$

$$V_{\text{bit,bio}} = M_{\text{bitki}} * KM * OKM * \mu_{\text{bio}} \quad (4.3)$$

M_{bitki} = Bir günde toplanan toplam bitkisel atık miktarı (ton/gün)

KM = Atıkların katı madde miktarı (%)

OKM = Atıkları madde miktarının organik içeriği (%KM)

μ_{bio} = Atıklarının biyogaza dönüşme oranı (lt/kg - OKM)

$$6074,592 = M_{atık} * 0,33 * 0,95 * 650$$

$$M_{bitki} = 29,81 \text{ (ton/gün)} \approx 30 \text{ ton /gün}$$

$$M_{atık} = M_{bitki} + M_{hayvan}$$

$$M_{atık} * KM_{atık} = (M_{hayvan} * KM) + (M_{bitki} * KM) \quad (4.6)$$

$KM_{atık}$ = Karışmış atıkların katı madde miktarı (%)

$$125 * KM_{atık} = (95 * 0,23) + (30 * 0,33)$$

$$KM_{atık} = 0,254$$

Tesis için gerekli olan reaktör hacmi belirlenmelidir.

$$\text{Organik katı madde miktarı} = 125 \text{ (ton/gün)} * 0,254 = 31,75 \text{ ton/gün} \approx 32 \text{ ton/gün}$$

$$\text{Sulandırılmış gübre miktarı} = 32 * 100/10 = 320 \text{ ton/gün malzeme}$$

$$60 \text{ günlük malzeme miktarı: } 320 * 60 = 19200 \text{ ton malzeme}$$

$$\text{Reaktör hacmi} = 19200 + (19200 * 0,20) = 23040 \text{ m}^3 \text{ hacme sahip reaktör gerekmektedir.}$$

4.4.3. %50 Hayvansal atık - % 50 patates atığı kullanılması durumunda

Yarısı hayvansal atık diğer yarısı patates atığı kullanılacak ve 1 süt sığırı 43 kg gübre ürettiği Çizelge 4.4'ten alınmıştır. Reaktöre gübrenin % 10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekir.

Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 60 günlük malzemeyi % 20 hata payıyla barındırabilecek hacme sahip olduğuna dikkat edilmelidir. Çizelge 4.5 ve 4.6'dan alınan değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

• Kuru Gübre	: Süt Sığırı
• KM (%)	: 23
• OKM (% KM)	: 80
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 330
• Metan İçeriği (%)	: 55
• Kuru Gübre	: Kullanılmış Patates
• KM (%)	: 14
• OKM (% KM)	: 90
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 410
• Metan İçeriği (%)	: 51

2606 kW enerji için gereken metan (CH₄) miktarı yaklaşık 6317,576 m³/gün'dür. Bu metan miktarını üretecek atık içeriği, üretilecek biyogaz miktarı, biyogaz için gerekli atık kütlesi ve gereken atık miktarı hesaplamaları Denklem 4.2, Denklem 4.3 ve Denklem 4.6'da yapılmıştır.

$$V_{CH4(hayvan)} = 3158,788 \text{ m}^3/\text{gün},$$

$$V_{CH4(bitki)} = 3158,788 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$V_{hay,bio} = 5743,251 \text{ (m}^3/\text{gün)}$$

$$M_{hayvan} = 94,585 \text{ (ton/gün)} \approx 95 \text{ ton /gün}$$

$$n_{hayvan} \approx 2210 \text{ hayvan kullanılabilir.}$$

$$V_{CH4(bitki)} = V_{bit,bio} * \%_{CH4} \quad (4.2)$$

$$3158,788 = V_{bit,bio} * 0,51$$

$$V_{bit,bio} = 6193,701 \text{ (m}^3/\text{gün)}$$

$$V_{bit,bio} = M_{bitki} * KM * OKM * \mu_{bio} \quad (4.3)$$

$$6193,701 = M_{bitki} * 0,14 * 0,90 * 410$$

$$M_{\text{bitki}} = 119,893 \text{ (ton/gün)} \approx 120 \text{ ton /gün}$$

$$M_{\text{atık}} = 120 + 95$$

$$M_{\text{atık}} * KM_{\text{atık}} = (M_{\text{hayvan}} * KM) + (M_{\text{bitki}} * KM) \quad (4.6)$$

$$215 * KM_{\text{atık}} = (95 * 0,23) + (120 * 0,14)$$

$$KM_{\text{atık}} = 0,1797 \approx 0,180$$

Tesis için gerekli olan reaktör hacmi belirlenmelidir.

$$\text{Organik katı madde miktarı} = 215 \text{ (ton/gün)} * 0,180 = 38,7 \text{ ton/gün} \approx 39 \text{ ton/gün}$$

$$\text{Sulandırılmış gübre miktarı} = 39 * 100/10 = 390 \text{ ton/gün malzeme}$$

$$60 \text{ günlük malzeme miktarı: } 390 * 60 = 23400 \text{ ton malzeme}$$

$$\text{Reaktör hacmi} = 23400 + (23400 * 0,20) = 28080 \text{ m}^3 \text{ hacme sahip reaktör gerekmektedir.}$$

4.4.4. %50 Hayvansal atık - % 50 pancar küspesi kullanılması durumunda

Yarısı hayvansal atık diğer yarısı pancar küspesi (kesilmiş şeker pancarı) kullanılarak ve 1 süt sığırı 43 kg gübre ürettiği Çizelge 4.4'ten alınmıştır. Reaktöre gübrenin % 10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekir. Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 60 günlük malzemeyi % 20 hata payıyla barındırabilecek hacme sahip olduğuna dikkat edilmelidir. Çizelge 4.5 ve 4.6'dan alınan değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

• Kuru Gübre	: Süt Sığırı
• KM (%)	: 23
• OKM (% KM)	: 80
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 330
• Metan İçeriği (%)	: 55
• Kuru Gübre	: Pancar Küspesi
• KM (%)	: 25
• OKM (% KM)	: 93

- Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM) : 700
- Metan İçeriği (%) : 51

2606 kW enerji için gereken metan (CH₄) miktarı yaklaşık 6317,576 m³/gün'dür. Bu metan miktarını üretecek atık içeriği, üretilecek biyogaz miktarı, biyogaz için gerekli atık kütlesi ve gereken atık miktarı hesaplamaları Denklem 4.2, Denklem 4.3 ve Denklem 4.6'da yapılmıştır.

$$V_{CH4(hayvan)} = 3158,788 \text{ m}^3/\text{gün}, \quad V_{CH4(bitki)} = 3158,788 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$V_{hay,bio} = 5743,251 \text{ (m}^3/\text{gün)}$$

$$M_{hayvan} = 94,585 \text{ (ton/gün)} \approx 95 \text{ ton /gün}$$

$$n_{hayvan} \approx 2210 \text{ hayvan kullanılabilir.}$$

$$V_{CH4(bitki)} = V_{bit,bio} * \%_{CH4} \quad (4.2)$$

$$3158,788 = V_{bit,bio} * 0,51$$

$$V_{bit,bio} = 6193,701 \text{ (m}^3/\text{gün)}$$

$$V_{bit,bio} = M_{bitki} * KM * OKM * \mu_{bio} \quad (4.3)$$

$$6193,701 = M_{bitki} * 0,25 * 0,93 * 700$$

$$M_{bitki} = 38,056 \text{ (ton/gün)} \approx 39 \text{ ton /gün}$$

$$M_{atık} = 39 + 95$$

$$M_{atık} * KM_{atık} = (M_{hayvan} * KM) + (M_{bitki} * KM) \quad (4.6)$$

$$134 * KM_{atık} = (95 * 0,23) + (39 * 0,25)$$

$$KM_{atık} = 0,2358 \approx 0,236$$

Tesis için gerekli olan reaktör hacmi belirlenmelidir.

$$\text{Organik katı madde miktarı} = 134 \text{ (ton/gün)} * 0,236 = 31,624 \text{ ton/gün} \approx 32 \text{ ton/gün}$$

Sulandırılmış gübre miktarı = $32 * 100/10 = 320$ ton/gün malzeme

60 günlük malzeme miktarı: $320 * 60 = 19200$ ton malzeme

Reaktör hacmi = $19200 + (19200 * 0,20) = 23040$ m³ hacme sahip reaktör gerekmektedir.

4.4.5. %40 Hayvansal atık - % 60 mısır silajı kullanılması durumunda

% 40'ı hayvansal atık kalan % 60'ı mısır silajı kullanılacak ve 1 süt sığırı 43 kg gübre ürettiği Çizelge 4.4'ten alınmıştır. Reaktöre gübrenin % 10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekir. Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 60 günlük malzemeyi % 20 hata payıyla barındırabilecek hacme sahip olduğuna dikkat edilmelidir. Çizelge 4.5 ve 4.6'dan alınan değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

• Kuru Gübre	: Süt Sığırı
• KM (%)	: 23
• OKM (% KM)	: 80
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 330
• Metan İçeriği (%)	: 55
• Kuru Gübre	: Mısır Silajı
• KM (%)	: 33
• OKM (% KM)	: 95
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 650
• Metan İçeriği (%)	: 52

2606 kW enerji için gereken metan (CH₄) miktarı yaklaşık 6317,576 m³/gün'dür. Bu metan miktarını üretecek atık içeriği, üretilecek biyogaz miktarı, biyogaz için gerekli atık kütlesi ve gereken atık miktarı hesaplamaları Denklem 4.2, Denklem 4.3, Denklem 4.4, Denklem 4.5 ve Denklem 4.6'da yapılmıştır.

$$V_{CH_4} = 0,6 * V_{CH_4(bitki)} + 0,4 * V_{CH_4(hayvan)} \quad (4.5)$$

$$V_{CH_4(hayvan)} = 2527,030 \text{ m}^3/\text{gün}, \quad V_{CH_4(bitki)} = 3790,546 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$V_{CH_4(hayvan)} = V_{bio} * \%_{CH_4} \quad (4.2)$$

$$2527,030 = V_{bio} * 0,55$$

$$V_{hay,bio} = 4594,6 \text{ (m}^3\text{/gün)}$$

$$V_{hay,bio} = M_{atık} * KM * OKM * \mu_{bio} \quad (4.3)$$

$$4594,6 = M_{atık} * 0,23 * 0,8 * 330$$

$$M_{hayvan} = 75,668(\text{ton/gün}) \approx 76 \text{ ton /gün}$$

$$M_{atık} = m_{sığır} * n_{hayvan} \quad (4.4)$$

$$76 \left(\frac{\text{ton}}{\text{gün}} \right) * 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right) = 43 \left(\frac{\text{kg}}{\text{gün}} \right) * n_{hayvan}$$

$$n_{hayvan} = 1767,441 \text{ adet hayvan gerekli}$$

$$n_{hayvan} \approx 1768 \text{ hayvan kullanılabilir.}$$

$$V_{CH4(\text{bitki})} = V_{bit,bio} * \%_{CH4} \quad (4.2)$$

$$3790,546 = V_{bio} * 0,52$$

$$V_{bit,bio} = 7289,511 \text{ (m}^3\text{/gün)}$$

$$V_{bit,bio} = M_{bitki} * KM * OKM * \mu_{bio} \quad (4.3)$$

$$7289,511 = M_{atık} * 0,33 * 0,95 * 650$$

$$M_{bitki} = 35,77 \text{ (ton/gün)} \approx 36 \text{ ton /gün}$$

$$M_{atık} = M_{bitki} + M_{hayvan}$$

$$M_{atık} = 112 \text{ ton/gün}$$

$$M_{atık} * KM_{atık} = (M_{hayvan} * KM) + (M_{bitki} * KM) \quad (4.6)$$

$$112 * KM_{atık} = (76 * 0,23) + (36 * 0,33)$$

$$KM_{atık} = 0,262$$

Tesis için gerekli olan reaktör hacmi belirlenmelidir.

$$\text{Organik katı madde miktarı} = 112 \text{ (ton/gün)} * 0,262 = 29,34 \text{ ton/gün} \approx 30 \text{ ton/gün}$$

$$\text{Sulandırılmış gübre miktarı} = 30 * 100/10 = 300 \text{ ton/gün malzeme}$$

$$60 \text{ günlük malzeme miktarı: } 300 * 60 = 18000 \text{ ton malzeme}$$

$$\text{Reaktör hacmi} = 18000 + (18000 * 0,20) = 21600 \text{ m}^3 \text{ hacme sahip reaktör gerekmektedir.}$$

4.4.6. %40 Hayvansal atık - % 60 patates atığı kullanılması durumunda

% 40'ı hayvansal atık kalan % 60'ı patates atığı kullanılacak ve 1 süt sığırı 43 kg gübre ürettiği Çizelge 4.4'ten alınmıştır. Reaktöre gübrenin % 10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekir. Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 60 günlük malzemeyi % 20 hata payıyla barındırabilecek hacme sahip olduğuna dikkat edilmelidir. Çizelge 4.5 ve 4.6'dan alınan değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

• Kuru Gübre	: Süt Sığırı
• KM (%)	: 23
• OKM (% KM)	: 80
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 330
• Metan İçeriği (%)	: 55
• Kuru Gübre	: Kullanılmış Patates
• KM (%)	: 14
• OKM (% KM)	: 90
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 410
• Metan İçeriği (%)	: 51

2606 kW enerji için gereken metan (CH₄) miktarı yaklaşık 6317,576 m³/gün'dür. Bu metan miktarını üretecek atık içeriği, üretilecek biyogaz miktarı, biyogaz için gerekli atık kütlesi ve gereken atık miktarı hesaplamaları Denklem 4.2, Denklem 4.3 ve Denklem 4.6'da yapılmıştır.

$$V_{CH4(hayvan)} = 2527,030 \text{ m}^3/\text{gün},$$

$$V_{CH4(bitki)} = 3790,546 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$V_{hay,bio} = 4594,6 \text{ (m}^3/\text{gün)}$$

$$M_{hayvan} = 76 \text{ ton/gün}$$

$$n_{hayvan} \approx 1768 \text{ hayvan}$$

$$V_{CH4(bitki)} = V_{bit,bio} * \%_{CH4} \quad (4.2)$$

$$3790,546 = V_{bit,bio} * 0,51$$

$$V_{bit,bio} = 7432,443 \text{ (m}^3/\text{gün)}$$

$$V_{bit,bio} = M_{bitki} * KM * OKM * \mu_{bio} \quad (4.3)$$

$$7432,443 = M_{bitki} * 0,14 * 0,90 * 410$$

$$M_{bitki} = 143,872 \text{ (ton/gün)} \approx 144 \text{ ton /gün}$$

$$M_{atık} = 144 + 76$$

$$M_{atık} * KM_{atık} = (M_{hayvan} * KM) + (M_{bitki} * KM) \quad (4.6)$$

$$220 * KM_{atık} = (76 * 0,23) + (144 * 0,14)$$

$$KM_{atık} = 0,171$$

Tesis için gerekli olan reaktör hacmi belirlenmelidir.

$$\text{Organik katı madde miktarı} = 220 \text{ (ton/gün)} * 0,171 = 37,62 \text{ ton/gün} \approx 38 \text{ ton/gün}$$

$$\text{Sulandırılmış gübre miktarı} = 38 * 100/10 = 380 \text{ ton/gün malzeme}$$

$$60 \text{ günlük malzeme miktarı: } 380 * 60 = 22800 \text{ ton malzeme}$$

Reaktör hacmi = $22800 + (22800 * 0,20) = 27360 \text{ m}^3$ hacme sahip reaktör gerekmektedir.

4.4.7. %40 Hayvansal atık - % 60 pancar küspesi kullanılması durumunda

%40'ı hayvansal atık kalan % 60'ı pancar küspesi (kesilmiş şeker pancarı) kullanılacak ve 1 süt sığırı 43 kg gübre ürettiği Çizelge 4.4'ten alınmıştır. Reaktöre gübrenin % 10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekir. Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 60 günlük malzemeyi % 20 hata payıyla barındırabilecek hacme sahip olduğuna dikkat edilmelidir. Çizelge 4.5 ve 4.6'dan alınan değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

• Kuru Gübre	: Süt Sığırı
• KM (%)	: 23
• OKM (% KM)	: 80
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 330
• Metan İçeriği (%)	: 55
• Kuru Gübre	: Pancar Küspesi
• KM (%)	: 25
• OKM (% KM)	: 93
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 700
• Metan İçeriği (%)	: 51

2606 kW enerji için gereken metan (CH₄) miktarı yaklaşık 6317,576 m³/gün'dür. Bu metan miktarını üretecek atık içeriği, üretilecek biyogaz miktarı, biyogaz için gerekli atık kütlesi ve gereken atık miktarı hesaplamaları Denklem 4.2, Denklem 4.3 ve Denklem 4.6'da yapılmıştır.

$$V_{CH4(hayvan)} = 2527,030 \text{ m}^3/\text{gün},$$

$$V_{CH4(bitki)} = 3790,546 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$V_{hay,bio} = 4594,6 \text{ (m}^3/\text{gün)}$$

$$M_{hayvan} = 76 \text{ ton/gün}$$

$$n_{hayvan} \approx 1768 \text{ hayvan}$$

$$V_{CH4(bitki)} = V_{bit,bio} * \%_{CH4} \quad (4.2)$$

$$3790,546 = V_{bit,bio} * 0,51$$

$$V_{bit,bio} = 7432,443 \text{ (m}^3\text{/gün)}$$

$$V_{bit,bio} = M_{bitki} * KM * OKM * \mu_{bio} \quad (4.3)$$

$$7432,443 = M_{bitki} * 0,25 * 0,93 * 700$$

$$M_{bitki} = 45,667 \text{ (ton/gün)} \approx 46 \text{ ton /gün}$$

$$M_{atık} = 46 + 76$$

$$M_{atık} * KM_{atık} = (M_{hayvan} * KM) + (M_{bitki} * KM) \quad (4.6)$$

$$122 * KM_{atık} = (76 * 0,23) + (46 * 0,25)$$

$$KM_{atık} = 0,237$$

Tesis için gerekli olan reaktör hacmi belirlenmelidir.

$$\text{Organik katı madde miktarı} = 122 \text{ (ton/gün)} * 0,237 = 28,914 \text{ ton/gün} \approx 29 \text{ ton/gün}$$

$$\text{Sulandırılmış gübre miktarı} = 29 * 100 / 10 = 290 \text{ ton/gün malzeme}$$

$$60 \text{ günlük malzeme miktarı: } 290 * 60 = 17400 \text{ ton malzeme}$$

$$\text{Reaktör hacmi} = 17400 + (17400 * 0,20) = 20880 \text{ m}^3 \text{ hacme sahip reaktör gerekmektedir.}$$

4.4.8. %30 Hayvansal atık - % 70 mısır silajı kullanılması durumunda

% 30'u hayvansal atık kalan % 70'i mısır silajı kullanılacak ve 1 süt sığırı 43 kg gübre ürettiği Çizelge 4.4'ten alınmıştır. Reaktöre gübrenin % 10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekir. Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 60 günlük malzemeyi % 20 hata payıyla barındırabilecek hacme sahip olduğuna dikkat edilmelidir. Çizelge 4.5 ve 4.6'dan alınan değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

- Kuru Gübre : Süt Sığırı
- KM (%) : 23
- OKM (% KM) : 80

- Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM) : 330
- Metan İçeriği (%) : 55
- Kuru Gübre : Mısır Silajı
- KM (%) : 33
- OKM (% KM) : 95
- Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM) : 650
- Metan İçeriği (%) : 52

2606 kW enerji için gereken metan (CH₄) miktarı yaklaşık 6317,576 m³/gün'dür. Bu metan miktarını üretecek atık içeriği, üretilecek biyogaz miktarı, biyogaz için gerekli atık kütlesi ve gereken atık miktarı hesaplamaları Denklem 4.2, Denklem 4.3, Denklem 4.4, Denklem 4.5 ve Denklem 4.6'da yapılmıştır.

$$V_{CH_4} = 0,7 * V_{CH_4(bitki)} + 0,3 * V_{CH_4(hayvan)} \quad (4.5)$$

$$V_{CH_4(hayvan)} = 1895,27 \text{ m}^3/\text{gün},$$

$$V_{CH_4(bitki)} = 4422,306 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$V_{CH_4(hayvan)} = V_{bio} * \%CH_4 \quad (4.2)$$

$$1895,27 = V_{bio} * 0,55$$

$$V_{hay,bio} = 3445,945 \text{ (m}^3/\text{gün)}$$

$$V_{hay,bio} = M_{atık} * KM * OKM * \mu_{bio} \quad (4.3)$$

$$3445,945 = M_{atık} * 0,23 * 0,8 * 330$$

$$M_{hayvan} = 56,75 \text{ (ton/gün)} \approx 57 \text{ ton /gün}$$

$$M_{atık} = m_{siğır} * n_{hayvan} \quad (4.4)$$

$$57 \left(\frac{\text{ton}}{\text{gün}} \right) * 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right) = 43 \left(\frac{\text{kg}}{\text{gün}} \right) * n_{hayvan}$$

$$n_{hayvan} = 1325,581 \text{ adet hayvan gerekli}$$

$$n_{hayvan} \approx 1326 \text{ hayvan kullanılabilir.}$$

$$V_{CH4(bitki)} = V_{bit,bio} * \%_{CH4} \quad (4.2)$$

$$4422,306 = V_{bio} * 0,52$$

$$V_{bit,bio} = 8504,434 \text{ (m}^3\text{/gün)}$$

$$V_{bit,bio} = M_{bitki} * KM * OKM * \mu_{bio} \quad (4.3)$$

$$8504,434 = M_{atık} * 0,33 * 0,95 * 650$$

$$M_{bitki} = 41,73 \text{ (ton/gün)} \approx 42 \text{ ton /gün}$$

$$M_{atık} = 42 + 57$$

$$M_{atık} = 99 \text{ ton/gün}$$

$$M_{atık} * KM_{atık} = (M_{hayvan} * KM) + (M_{bitki} * KM) \quad (4.6)$$

$$99 * KM_{atık} = (57 * 0,23) + (42 * 0,33)$$

$$KM_{atık} = 0,272$$

Tesis için gerekli olan reaktör hacmi belirlenmelidir.

$$\text{Organik katı madde miktarı} = 99 \text{ (ton/gün)} * 0,272 = 26,928 \text{ ton/gün} \approx 27 \text{ ton/gün}$$

$$\text{Sulandırılmış gübre miktarı} = 27 * 100 / 10 = 270 \text{ ton/gün malzeme}$$

$$60 \text{ günlük malzeme miktarı: } 270 * 60 = 16200 \text{ ton malzeme}$$

$$\text{Reaktör hacmi} = 16200 + (16200 * 0,20) = 19440 \text{ m}^3 \text{ hacme sahip reaktör gerekmektedir.}$$

4.4.9. %30 Hayvansal atık - % 70 patates atığı kullanılması durumunda

% 30'u hayvansal atık kalan % 70'ı patates atığı kullanılacak ve 1 süt sığırı 43 kg gübre ürettiği Çizelge 4.4'ten alınmıştır. Reaktöre gübrenin %10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekir.

Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 60 günlük malzemeyi % 20 hata payıyla barındırabilecek hacme sahip olduğuna dikkat edilmelidir. Çizelge 4.5 ve 4.6'dan alınan değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

• Kuru Gübre	: Süt Sığırı
• KM (%)	: 23
• OKM (% KM)	: 80
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 330
• Metan İçeriği (%)	: 55
• Kuru Gübre	: Kullanılmış Patates
• KM (%)	: 14
• OKM (% KM)	: 90
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 410
• Metan İçeriği (%)	: 51

2606 kW enerji için gereken metan (CH₄) miktarı yaklaşık 6317,576 m³/gün'dür. Bu metan miktarını üretecek atık içeriği, üretilecek biyogaz miktarı, biyogaz için gerekli atık kütlesi ve gereken atık miktarı hesaplamaları Denklem 4.2, Denklem 4.3 ve Denklem 4.6'da yapılmıştır.

$$V_{CH_4(hayvan)} = 1895,27 \text{ m}^3/\text{gün},$$

$$V_{CH_4(bitki)} = 4422,306 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$V_{hay,bio} = 3445,945 \text{ (m}^3/\text{gün)}$$

$$M_{hayvan} = 56,75 \text{ (ton/gün)} \approx 57 \text{ ton /gün}$$

$$n_{hayvan} \approx 1326 \text{ hayvan kullanılabilir.}$$

$$V_{CH_4(bitki)} = V_{bit,bio} * \%_{CH_4} \quad (4.2)$$

$$4422,306 = V_{bit,bio} * 0,51$$

$$V_{bit,bio} = 8671,188 \text{ (m}^3/\text{gün)}$$

$$V_{bit,bio} = M_{bitki} * KM * OKM * \mu_{bio} \quad (4.3)$$

$$8671,188 = M_{bitki} * 0,14 * 0,90 * 410$$

$$M_{\text{bitki}} = 167,85 \text{ (ton/gün)} \approx 168 \text{ ton /gün}$$

$$M_{\text{atık}} = 168 + 57 = 225 \text{ ton/gün}$$

$$M_{\text{atık}} * KM_{\text{atık}} = (M_{\text{hayvan}} * KM) + (M_{\text{bitki}} * KM) \quad (4.6)$$

$$225 * KM_{\text{atık}} = (57 * 0,23) + (168 * 0,14)$$

$$KM_{\text{atık}} = 0,163$$

Tesis için gerekli olan reaktör hacmi belirlenmelidir.

$$\text{Organik katı madde miktarı} = 225 \text{ (ton/gün)} * 0,163 = 36,675 \text{ ton/gün} \approx 37 \text{ ton/gün}$$

$$\text{Sulandırılmış gübre miktarı} = 37 * 100 / 10 = 370 \text{ ton/gün malzeme}$$

$$60 \text{ günlük malzeme miktarı: } 370 * 60 = 22200 \text{ ton malzeme}$$

$$\text{Reaktör hacmi} = 22200 + (22200 * 0,20) = 26640 \text{ m}^3 \text{ hacme sahip reaktör gerekmektedir.}$$

4.4.10. %30 Hayvansal atık - % 70 pancar küspesi kullanılması durumunda

% 30'u hayvansal atık kalan % 70'i pancar küspesi (kesilmiş şeker pancarı) kullanılacak ve 1 süt sığırı 43 kg gübre ürettiği Çizelge 4.4'ten alınmıştır. Reaktöre gübrenin % 10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekir. Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 60 günlük malzemeyi % 20 hata payıyla barındırabilecek hacme sahip olduğuna dikkat edilmelidir. Çizelge 4.5 ve 4.6'dan alınan değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

• Kuru Gübre	: Süt Sığırı
• KM (%)	: 23
• OKM (% KM)	: 80
• Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM)	: 330
• Metan İçeriği (%)	: 55
• Kuru Gübre	: Pancar Küspesi
• KM (%)	: 25

- OKM (% KM) : 93
- Biyogaz Verimliliği (lt/kg-OKM) : 700
- Metan İçeriği (%) : 51

2606 kW enerji için gereken metan (CH₄) miktarı yaklaşık 6317,576 m³/gün'dür. Bu metan miktarını üretecek atık içeriği, üretilecek biyogaz miktarı, biyogaz için gerekli atık kütlesi ve gereken atık miktarı hesaplamaları Denklem 4.2, Denklem 4.3 ve Denklem 4.6'da yapılmıştır.

$$V_{CH4(hayvan)} = 1895,27 \text{ m}^3/\text{gün},$$

$$V_{CH4(bitki)} = 4422,306 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$V_{hay,bio} = 3445,945 \text{ (m}^3/\text{gün)}$$

$$M_{hayvan} = 56,75 \text{ (ton/gün)} \approx 57 \text{ ton /gün}$$

$$n_{hayvan} \approx 1326 \text{ hayvan kullanılabilir.}$$

$$V_{CH4(bitki)} = V_{bit,bio} * \%CH_4 \quad (4.2)$$

$$4422,306 = V_{bit,bio} * 0,51$$

$$V_{bit,bio} = 8671,188 \text{ (m}^3/\text{gün)}$$

$$V_{bit,bio} = M_{bitki} * KM * OKM * \mu_{bio} \quad (4.3)$$

$$8671,188 = M_{bitki} * 0,25 * 0,93 * 700$$

$$M_{bitki} = 53,279 \text{ (ton/gün)} \approx 54 \text{ ton /gün}$$

$$M_{atık} = 54 + 57 = 111 \text{ ton/gün}$$

$$M_{atık} * KM_{atık} = (M_{hayvan} * KM) + (M_{bitki} * KM) \quad (4.6)$$

$$111 * KM_{atık} = (57 * 0,23) + (54 * 0,25)$$

$$KM_{atık} = 0,240$$

Tesis için gerekli olan reaktör hacmi belirlenmelidir.

Organik katı madde miktarı = 111 (ton/gün) * 0,240 = 26,64 ton/gün $\approx$ 27 ton/gün

Sulandırılmış gübre miktarı = 27*100/10 = 270 ton/gün malzeme

60 günlük malzeme miktarı: 270*60 =16200 ton malzeme

Reaktör hacmi = 16200 + (16200*0,20) = 19440 m³ hacme sahip reaktör gerekmektedir.

4.5. Reaktör Ve Gaz Deposunun Boyutlandırılması

Biyogaz tesislerinde en önemli parametrelerden biri reaktör ve gaz deposunun boyutlandırılmasıdır. Bu tür tesislerin reaktör tasarımı yapılırken reaktörün iç hacminin boyutlandırılması oldukça önemlidir. Reaktör yüksekliği hesaplaması Denklem 4.7’de verilmiş ve reaktör çapı büyük tasarımlarda eşit alınması durumunda Denklem 4.8 elde edilir.

$$H_R = \frac{4*V_R}{\pi*D^2} \quad (4.7)$$

$H_R = D$ alınırsa denklem şu şekilde olur:

$$H_R = \sqrt[3]{\frac{4*V_R}{\pi}} \quad (4.8)$$

H_R = Reaktör yüksekliği (m)

D = Reaktör iç çapı (m)

V_R = Reaktör hacmi (m³)

Çizelge 4.8. Sonuçlara göre reaktör boyutları.

Atık Türü / Miktar	Hayvan Sayısı (adet)	Bitki Miktarı (ton)	Reaktör Hacmi (m³)	Reaktör boyutları H_R (m), D (m)
%100 Hayvansal	4420	-	8400	22,032 ≈ 23
%50 Hayvan %50 Mısır	2210	30	23040	30,84 ≈ 31
%50 Hayvan %50 Patates	2210	120	28080	32,94 ≈ 33
%50 Hayvan %50 Şeker Pancarı	2210	39	23040	30,84 ≈ 31
%40 Hayvan %60 Mısır	1768	36	21600	30,18 ≈ 31
%40 Hayvan %60 Patates	1768	144	27360	32,66 ≈ 33
%40 Hayvan %60 Şeker Pancarı	1768	46	20880	29,85 ≈ 30
%30 Hayvan %70 Mısır	1326	42	19440	29,14 ≈ 30
%30 Hayvan %70 Patates	1326	168	26640	32,37 ≈ 33
%30 Hayvan %70 Şeker Pancarı	1326	54	19400	29,12 ≈ 30

Yapılan hesaplamaların sonucunda reaktör boyutları incelendiğinde bir reaktör için oldukça yüksek boyutlarda olduğu tespit edilmiş olup reaktör sayısı artırılarak bu boyutlar düşürülebilir. Bütün hesaplamalar için 8,5 metre yüksekliğinde reaktörlerin kullanılması ve bu kullanım için reaktör sayıları belirlenmiştir.

Membran (balon) tip biyogaz reaktörü için gaz deposu hacmi reaktör hacminin 1/3'ünü oluşturur. Gaz deposu boyutları ve her bir reaktörün boyutları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Reaktör hacmi ile gaz deposunun hacmi aynı olmadığından farklı boyutlardadırlar. Reaktör ve gaz deposu arasında 0,02 m'lik bir açıklık bulunacağı dikkate alınırsa gaz deposunun çapı (d) ve yüksekliği (h) Denklem 4.9 ve Denklem 4.10'a göre hesaplanabilir.

$$d = (D - 0,04) = \left(\sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_G}{\pi}} - 0,04 \right) \quad (4.9)$$

$$h = \left(\frac{4 \cdot V_d}{\pi \cdot d^2} \right) \quad (4.10)$$

Çizelge 4.9. Reaktör sayıları ve gaz deposu boyutları.

Atık Türü / Miktar	Reaktör Sayısı	Her Reaktörün Hacmi (m ³)	Gaz Deposu Hacmi (m ³) (V _d)	Gaz Deposu boyutları h(m)
%100 Hayvansal	3	2800	933,33 ≈ 934	2,249 ≈ 2,3
%50 Hayvan %50 Mısır	4	7680	2560	3,39 ≈ 3,5
%50 Hayvan %50 Patates	4	9360	3120	3,6
%50 Hayvan %50 Şeker Pancarı	4	7680	2560	3,39 ≈ 3,5
%40 Hayvan %60 Mısır	4	7200	2400	3,18 ≈ 3,2
%40 Hayvan %60 Patates	4	9120	3040	3,556 ≈ 3,6
%40 Hayvan %60 Şeker Pancarı	4	6960	2320	3,283 ≈ 3,3
%30 Hayvan %70 Mısır	4	6480	2160	3,057 ≈ 3,1
%30 Hayvan %70 Patates	4	8880	2960	3,462 ≈ 3,5
%30 Hayvan %70 Şeker Pancarı	4	6480	2160	3,057 ≈ 3,1

Yapılan hesaplamaların sonucunda reaktöre membran (balon) seçimi ENERMAK firmasının yüksek frekanslı kaynaklı yapılan membran seçilmiş ve Şekil 4.2’de görülmektedir. Reaktör boyutlandırılması yapılırken, sistem için önemli parametrelerden biri olan reaktörün ısıtılması ve karıştırıcı seçimi de yapılmalıdır. Katalogdan uygun olan karıştırıcı seçimi yapılarak, her bir reaktöre STALLKAMP marka hareketli karıştırıcıdan 4 tane seçilmiştir.



Şekil 4.2. Membran tip biyogaz tesisinde kullanılan membran (balon) (URL-7).

Reaktörün ısıtılması için Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli (Şekil4.3.) yüksek olduğundan ve Kırşehir ilinin jeotermal potansiyeline de bakıldığından jeotermal enerji yardımıyla biyogaz reaktörü ısıtılabilir. Bu ısıtma işlemlerinde jeotermal kaynak suyunun sıcaklığına ve debiye bağlı olarak ısıtıcı borularla reaktör ısıtılabilir veya yüksek sıcaklık ve debide ise ısı değiştiricisi kullanılarak sistem ısıtılabilir.



Şekil 4.3. Türkiye'nin jeotermal haritası (URL- 8).

Gaz motorlu kojenerasyon sistemine yardımcı sistem olarak, motor ceket soğutma sistemi, intercooler soğutma sistemi, egzoz gazı atık ısı (sıcak su) kazanı, plakalı ısı değiştiricisi, kuru soğutucu ile baca ve susturucu tertibatı gerekir.

4.6. Motor Ceket Soğutucusu

- Motor ceket soğutucu akışkan olarak % 35 etilen glikol ve % 65 su karışımı kullanılmıştır.
- Motor ceket soğutucusu ısısından faydalananarak 53,4 m³/sa debide sıcak su üretimi gerçekleştirilmektedir.
- Sıcak su üretimi için MIT markalı plakalı ısı değiştiricisi Ekin Endüstriyel firmasından alınarak kullanılmıştır.
- Isı ihtiyacı olmadığı durumlarda motor ceketinin soğutulması için Karyer markalı kuru soğutucu kullanılmıştır.

4.6.1. Plakalı ısı değiştiricisi

Plakalı ısı değiştiricisi (eşanjör) teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Marka: MIT
- Model: Plakalı Isı Değiştiricisi
- Sıcak akışkan: % 35 etilen glikol - % 65 su (hacimsel olarak)
- Soğuk akışkan: Su
- Sıcak/Soğuk akışkan debileri: 58 / 53,4 m³/sa
- Sıcak akışkan Giriş/Çıkış Sıcaklıkları: 78,3 / 72,3 °C
- Soğutucu akışkan Giriş/Çıkış Sıcaklıkları: 70 / 76 °C
- Sıcak/Soğuk akışkan özgül ısıları (cp): 0,91 / 1,00 kcal/kg°C

(1 kcal = 4,186 kJ)

(1 kW = 859,85 kcal/sa)

Termal güç hesabı Denklem 4.11'de verilmiştir.

$$Q = m \cdot \dot{c}_p \cdot \Delta T \quad (4.11)$$

$$Q = 58 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * 1011,25 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * 0,91 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} \right) * \Delta(78,3 - 72,3)(^\circ\text{C})$$

$$Q = 320242,65 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right)$$

$$Q = \left(320242,65 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right) \right) / 859,85$$

$$Q = 372,375 \text{ kW}$$

4.6.2. Intercooler (kuru) soğutucu

Kuru soğutucu teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Marka: Karyer
- Model: BC/BD-2X180HB1-B01 C2/1
- Sıcak akışkan: % 35 etilen glikol - % 65 su (hacimsel olarak)
- Soğuk akışkan: Hava
- Sıcak/Soğuk akışkan debileri: 58 / 25000 m³/sa
- Sıcak akışkan Giriş/Çıkış Sıcaklıkları: 81,5 / 78,3 °C
- Soğutucu akışkan Giriş/Çıkış Sıcaklıkları: 40 / 64,3 °C
- Sıcak/Soğuk akışkan özgül ısıları: 0,91 / 0,24 kcal/kg°C

Termal güç hesabı Denklem 4.11'de verilmiştir.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (4.11)$$

$$Q = 58 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * 1011,25 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * 0,91 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} \right) * \Delta(81,5 - 78,3)(^\circ\text{C})$$

$$Q = 170796,08 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right)$$

$$Q = \left(1085880,25 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right) \right) / 859,85$$

$$Q = 198,634 \text{ kW}$$

4.7. Intercooler (Kuru) Soğutucu

- Düşük sıcaklıklarda çalışabilmesi için kuru soğutucu seçilmelidir.
- Kuru soğutucu olarak % 35 etilen glikol ve % 65 su karışımı kullanılmıştır.
- Intercooler soğutucusunda ısı çekme işlemi 31900 m³/sa debide hava ile gerçekleştirilmektedir.
- Intercooler soğutucusundan ısı çekmek için Karyer marka ısı değiştirici kullanılmıştır.

Kuru soğutucu teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Marka: Karyer
- Model: BC/BD-2X180HC1-B01 C4
- Sıcak akışkan: % 35 etilen glikol - % 65 su (hacimsel olarak)
- Soğuk akışkan: Hava
- Sıcak/Soğuk akışkan debileri: 25 / 31900 m³/sa
- Sıcak akışkan Giriş/Çıkış Sıcaklıkları: 53,3 / 49,4 °C
- Soğutucu akışkan Giriş/Çıkış Sıcaklıkları: 35 / 45,1 °C
- Sıcak/Soğuk akışkan özgül ısıları: 1,0 / 0,24 kcal/kg°C

Termal güç hesabı Denklem 4.11'de verilmiştir.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (4.11)$$

$$Q = 25 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * 1011,25 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * 0,91 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} \right) * \Delta(53,3 - 49,4)(^\circ\text{C})$$

$$Q = 89723,156 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right)$$

$$Q = \left(89723,156 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right) \right) / 859,85$$

$$Q = 104,33 \text{ kW}$$

4.8. Lube oil (Yağ Soğutma) Sistemi

- Motorda dolaştırılan yağın soğutulması ana hedeftir.
- Soğutma işleminin yapılabilmesi için plakalı ısı değiştiricisi kullanılmıştır.
- Motor yağı ısısından faydalanarak 58 m³/sa debide sıcak su üretimi gerçekleştirilmektedir.
- Sıcak su üretimi için MIT markalı plakalı ısı değiştiricisi Ekin Endüstriyel firmasından alınarak kullanılmıştır.

Plakalı ısı değiştiricisi (eşanjör) teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Marka: MIT
- Model: Plakalı Isı Değiştiricisi
- Sıcak akışkan: Yağ
- Soğuk akışkan: % 35 etilen glikol - % 65 su (hacimsel olarak)
- Sıcak akışkan Çıkış Sıcaklığı: 90 °C
- Soğutucu akışkan Giriş/Çıkış Sıcaklıkları: 70 / 72,3 °C
- Soğuk akışkan debileri: 58 m³/sa
- Soğuk akışkan özgül ısıları (c_p): 0,91 kcal/kg °C

(1 kcal = 4,186 kJ)

(1 kW = 859,85 kcal/sa)

Termal güç hesabı Denklem 4.11'de verilmiştir.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (4.11)$$

$$Q = 58 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * 1011,25 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * 0,91 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} \right) * \Delta(72,3 - 72)(^\circ\text{C})$$

$$Q = 122759,68 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right)$$

$$Q = \left(122759,68 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right) \right) / 859,85$$

$$Q = 142,743 \text{ kW}$$

4.9. Motor Egzoz Atık Isısı Geri Kazanımı (Sıcak Su Kazanı)

- Motordan çıkan egzoz gazının ısısının geri kazanımı için atık ısı (sıcak su) kazanı kullanılmıştır.
- Motor egzoz ısısından faydalanılarak 17,7 t/sa debide sıcak su üretimi gerçekleştirilmektedir.

- Sıcak su üretimi için Barış marka paslanmaz AISI304 kalite malzemeden imal atık ısı kazanı takım halinde (klape, egzoz damper klapesi, pnömatrik aktüatör, paslanmaz üç yollu, ...) kullanılmıştır. Firmadan alınan kazan örnek resmi Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Atık ısı kazanı (Barış Mühendislik).

Atık ısı kazanı teknik verileri şu şekilde verilmiştir.

- Marka: Barış Mühendislik
- Sıcak akışkan: Egzoz Gazı
- Soğuk akışkan: Su
- Sıcak akışkan Giriş/Çıkış Sıcaklıkları: 442 / 170 °C
- Soğutucu akışkan Giriş/Çıkış Sıcaklıkları: 77 / 100 °C
- Sıcak/Soğuk akışkan debileri: 5.665 kg/sa / 17,7 t/sa

Termal güç hesabı Denklem 4.11'de verilmiştir.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (4.11)$$

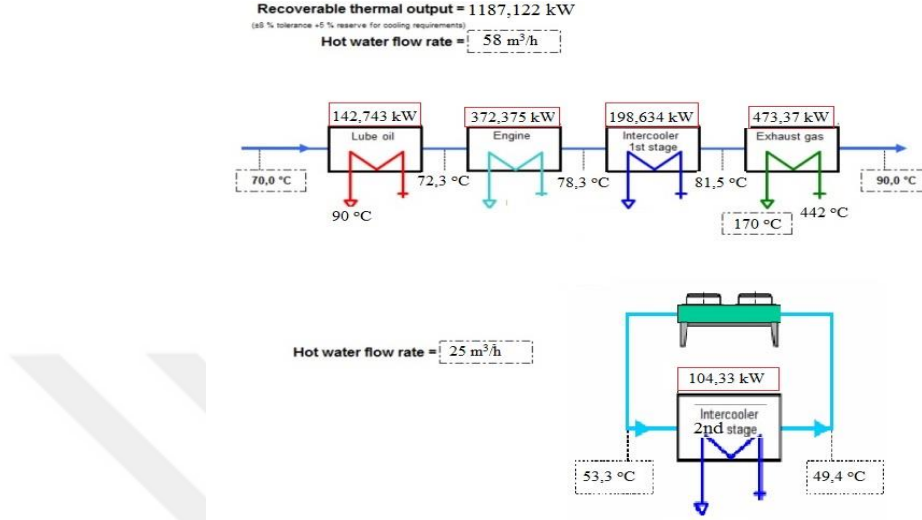
$$Q = 17,7 \left(\frac{t}{h} \right) * 1000 \left(\frac{kg}{ht} \right) * 1,0 \left(\frac{kcal}{kg * ^\circ C} \right) * \Delta(100 - 77)(^\circ C)$$

$$Q = 407100 \left(\frac{kcal}{h} \right)$$

$$Q = \left(407100 \left(\frac{kcal}{h} \right) \right) / 859,85$$

$$Q = 473,37 \text{ kW}$$

Kojenerasyon tesisi hem elektrik hem de ısı enerjisi üretir. Üretilen 1067 kW elektrik enerjisinin yanında 1187,122 kW ısı enerjisi üretilmiştir. Genel olarak termal enerji dağılımı Şekil 4.5'te verilmiştir. Tasarladığımız sistemde debi 58 m³/sa debide elde edilen ısı miktarı 1187,122 kW olarak hesaplanmış ve tasarlanmıştır.



Şekil 4.5. Gaz motorundan kazanılan hesaplanmış ısı enerjisi değerleri.

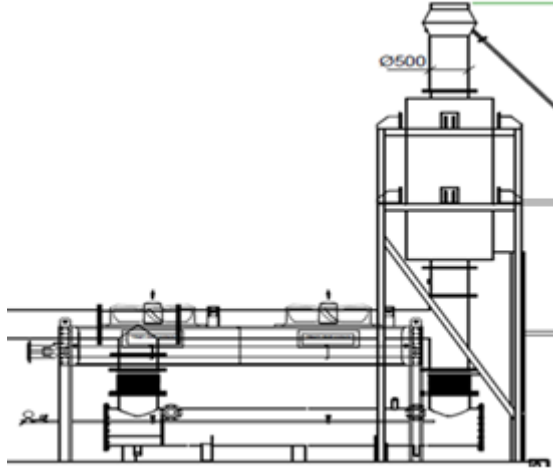
4.10. Baca Seçimi

- Açığa çıkan zararlı gazların sistemden atmosfere güvenli biçimde atılması için baca kullanılması gerekir.
- Baca seçimi ve hesaplamaların yapılabilmesi için tesisin yakınlarında yerleşim yeri veya bina olup olmadığı önemlidir.
- Barış Mühendislik firmasından alınan baca veriler şu şekildedir.

Bacanın seçilebilmesi için gerekli veriler aşağıda verilmiştir. Firmadan alınan örnek baca resmi Şekil 4.6'da görülmektedir.

- Baca yüksekliği: 500 cm
- Egzoz gazı baca giriş sıcaklığı (T_w): 170 °C = 443 K
- Tam yükte termal verim (η_m): % 47
- Tam yükte yakıt gücü: 2606 kW
- Deniz seviyesi dış hava basıncı (P_{LO}): 101320 Pa
- Yerçekimi ivmesi (g): 9,81 m/s²
- Hava gaz sabiti (R_L): 287 J/kg*K
- Dış hava sıcaklığı (T_L): 248 K (-25 °C Kırşehir ortalama kış sıcaklığı)

- Kırşehir'in jeodezik yüksekliği (Z): 985 m



Şekil 4.6. Barış Mühendislik baca tasarım resmi (Barış Mühendislik).

4.11. Pompa Seçimi

Biyogaz tesisinde toplanan hammaddelerin reaktöre gönderilmesi için pompa seçilmesi gerekmektedir. Uygun pompanın seçilmesi debi ve basma yüksekliğine bağlıdır. Hesaplamalar sonucunda debinin değişimi Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Debiler en az 11,5 t/sa, en fazla 16,5 t/sa değerlerindedir. Atıkları basabilmek için uygun olan pompa türü lobe (loblu) pompalardır. Firmadan alınan örnek pompa resmi Şekil 4.7'de verilmiştir. Bu pompalar kendinden emişli olup valf bulundurmazlar ve pozitif deplasmana sahiptirler. İdeal Makine firmadan patlayıcı riski olan ortamlarda çalışan ekipmanlarda exprofluk istendiğinden dolayı pompa kapasitesi 11-20 t/sa aralığında olan Börger marka uygun pompa seçilmiştir.



Şekil 4.7. Börger marka lobe pompa (İdeal Makine Katalog).

Çizelge 4.10. Atık türüne göre debinin değişimi.

Atık Türü / Miktar	Günlük Debi (ton/gün)	Saatlik Debi (ton/saat)
%100 Hayvansal	350	14,583 $\approx$ 15
%50 Hayvan %50 Mısır	320	13,33 $\approx$ 13,5
%50 Hayvan %50 Patates	390	16,25 $\approx$ 16,5
%50 Hayvan %50 Şeker Pancarı	320	13,33 $\approx$ 13,5
%40 Hayvan %60 Mısır	300	12,5
%40 Hayvan %60 Patates	380	15,8 $\approx$ 16
%40 Hayvan %60 Şeker Pancarı	290	12,08 $\approx$ 12,5
%30 Hayvan %70 Mısır	270	11,25 $\approx$ 11,5
%30 Hayvan %70 Patates	370	15,41 $\approx$ 15,5
%30 Hayvan %70 Şeker Pancarı	270	11,25 $\approx$ 11,5

4.12.Maliyet Hesaplaması

Enerji üretmen amacıyla kurulan bir tesisin kurulabilmesi için ekonomik olarak uygulanabilirliğinin belirlenmesi gerekir. Biyogaz projeleri bölgeye ve yakılacak yakıta bağlı olan projelerdir. Biyogaz tesisinin kurulması için maliyet oluşturan tüm etmenler tesisin toplam maliyeti içerisinde yer alır.

Biyogaz tesisinde kullanılan hayvan ve bitkilerin fiyatı Kırşehir Ticaret Borsa'sından alınmış ve Çizelge 4.11'de verilmiştir. Bu fiyatlardan yola çıkarak toplam atık maliyetleri hesaplanabilir ve hesaplamaları Çizelge 4.12'da verilmiştir.

Çizelge 4.11. Hayvan ve bitki fiyatları.

Atık türü	Adet	Fiyat Aralığı ve Birimi	Seçilen Fiyat
Hayvansal atık Büyükbaş Hayvan Holstein(12-24 ay)	1tane	6500 – 11000 (TL)	8500 TL
Mısır Silajı	1 ton	300 – 350 (TL)	325 TL
Pancar Küspesi	1 ton	150 – 200 (TL)	175 TL
Atık Patates	1 ton	700 – 1500 (TL)	1100 TL

Çizelge 4.12. Hayvanların ve bitkisel atıkların yıllık toplam fiyatları.

Atık Türü / Miktar	Hayvan Sayısı (adet)	Hayvan Fiyatı (TL)	Bitki Miktarı (ton)	Yıllık Bitki Miktarı (ton)	Yıllık Bitki Fiyatı (TL)
%100 Hayvansal	4420	37.570.000	-		
%50 Hayvan %50 Mısır	2210	18.785.000	30	10.950	3.558.750
%50 Hayvan %50 Patates	2210	18.785.000	120	43.800	48.180.000
%50 Hayvan %50 Şeker Pancarı	2210	18.785.000	39	14.235	2.491.125
%40 Hayvan %60 Mısır	1768	15.028.000	36	13.140	4.270.500
%40 Hayvan %60 Patates	1768	15.028.000	144	52.560	57.816.000
%40 Hayvan %60 Şeker Pancarı	1768	15.028.000	46	16.790	2.938.250
%30 Hayvan %70 Mısır	1326	11.271.000	42	15.330	4.982.250
%30 Hayvan %70 Patates	1326	11.271.000	168	61.320	67.452.000
%30 Hayvan %70 Şeker Pancarı	1326	11.271.000	54	19.710	3.449.250

Biyogaz tesisinde kullanılan hayvansal atıkların maliyeti incelendiğinde tamamı hayvansal atık kullanılması durumunda atık elde edebilmek için gereken hayvan sayısı çok fazladır ve bu durumda maliyet artmaktadır. Hayvansal ve bitkisel atıkların oransal olarak karıştırılması durumunda hayvan maliyetinde azalma görülmektedir.

Biyogaz tesisinde hayvansal atık üretmek için kurulan tesiste çalışacak ortalama işçi sayısı, bir hayvanın yiyeceği ortalama günlük yem miktarı ile bu çiftlikte süt sağım sistemli ahır imalatının ortalama maliyetleri Çizelge 4.13'te verilmiştir. Bir büyükbaş süt sığırının verimli şekilde süt verebilmesi için günlük ortalama 20 TL'lik kesif ve kaba yem yer. Çiftlikte çalışan bir işçiye ise ayda 2500 TL net maaş verilmektedir ve bunun şirkete gideri aylık 4300 TL'dir. Bir hayvan için otomatik makineli süt sağımı olan bir ahır gideri ise 5000 TL'dir.

Çizelge 4.13. Çiftlik tasarım maliyeti ile yem ve işçilik ücretleri.

	4420 Hayvan	2210 Hayvan	1768 Hayvan	1326 Hayvan
İşçi Sayısı	66	33	27	20
Toplam İşçi Giderleri (Yıllık)	3.405.600	1.702.800	1.393.200	1.032.000
Toplam Yem Giderleri (Yıllık)	32.266.000	16.133.000	12.906.400	9.679.800
Toplam İşçi ve Yem Giderleri (Yıllık)	35.671.600	17.835.800	14.299.600	10.711.800
Toplam Ahır Yatırımı	22.100.000	11.050.000	8.840.000	6.630.000
Toplam Ahır ve Hayvan Yatırımı (TL)	73.241.600	36.620.800	29.327.600	21.982.800

Biyogaz tesisinde maliyet oluşturan bir diğer unsur ise organik atıklardan elektrik ve ısı enerjisi üretebilmek için gerek ekipmanların maliyetleridir. Kullanılan ekipmanların isimleri, markaları ve tane fiyatları Çizelge 4.14’te verilmiştir. Tesisin tasarımı için reaktör sayısı değişmektedir. Reaktörlere göre karıştırıcı sayısı ve membran sayısı da değişiklik göstermektedir. Reaktör sayıları kadar membran sayısı ve her bir reaktör için tedarikçi firmanın hesaplarıyla 4 adet karıştırıcı kullanılmıştır. Reaktörlerde kullanılan toplam membran ve karıştırıcı maliyetleri Çizelge 4.15’te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Ekipman maliyetleri.

Ekipman İsmi	Marka - Model –Tedarikçi Firma	Ortalama Fiyatı
Gaz Motoru	GE J320 GS – Topkapı Endüstri	500.000 €
Membran	Enermak – Enermak Mühendislik	60.000 € + KDV
Karıştırıcı	Stallkamp - Eko Denge	15.000 € + KDV
Besleme Pompası	Börger Lobe Pompa – İdeal Makina	6.000 € + KDV
1. Eşanjör	MIT – Ekin Endüstriyel	2900 € + KDV
2. Eşanjör	MIT - Ekin Endüstriyel	1920 € + KDV
1. Kuru Soğutucu	Karyer- BC/BD-2X180HB1-B01	1853 € + KDV
2. Kuru Soğutucu	Karyer- BC/BD-2X180HC1-B01	1980 € + KDV
Atık Isı Kazanı	Barış Mühendislik	15000 € + KDV
Baca	Barış Mühendislik	9000 € + KDV

Çizelge 4.15. Reaktör ekipman maliyetleri.

Atık Türü / Miktar	Reaktör ve Membran Sayısı	Toplam Membran Fiyatları	Karıştırıcı sayıları	Toplam Karıştırıcı Fiyatları	Reaktör Ekipmanları Maliyetleri
%100 Hayvansal	3	180.000 €	12	180.000 €	360.000 €
%50 Hayvan %50 Mısır	4	240.000 €	16	240.000 €	480.000 €
%50 Hayvan %50 Patates	4	240.000 €	16	240.000 €	480.000 €
%50 Hayvan %50 Şeker Pancarı	4	240.000 €	16	240.000 €	480.000 €
%40 Hayvan %60 Mısır	4	240.000 €	16	240.000 €	480.000 €
%40 Hayvan %60 Patates	4	240.000 €	16	240.000 €	480.000 €
%40 Hayvan %60 Şeker Pancarı	4	240.000 €	16	240.000 €	480.000 €
%30 Hayvan %70 Mısır	4	240.000 €	16	240.000 €	480.000 €
%30 Hayvan %70 Patates	4	240.000 €	16	240.000 €	480.000 €
%30 Hayvan %70 Şeker Pancarı	4	240.000 €	16	240.000 €	480.000 €

Yapılan tasarımın sonucunda işletmede kullanılan ekipmanların toplam maliyetleri Euro kuru 7,00 alınmış, % 18 KDV eklenmiş fiyatlar Türk Lirası cinsinden hesaplamalar Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Ekipmanların Türk Lirası cinsinden toplam maliyetleri.

Ekipman İsmi	Ortalama Fiyatı (€)	Fiyat (TL)
Gaz Motoru	500.000 €	4.130.000
Reaktör (% 100 Hayvansal)	360.000 € + KDV	2.973.600
Reaktör (Hayvan-Bitki)	480.000 € + KDV	3.964.800
Besleme Pompası	6.000 € + KDV	49.560
1. Eşanjör	2900 € + KDV	23.954
2. Eşanjör	1920 € + KDV	15.859
1. Kuru Soğutucu	1853 € + KDV	15.306
2. Kuru Soğutucu	1980 € + KDV	16.355
Atık Isı Kazanı	15000 € + KDV	123.900
Baca	9000 € + KDV	74.340
Diğer Ekipmanlar		5.000.000
Toplam Ekipman Giderleri (%100 Hayvansal)		12.422.874
Toplam Ekipman Giderleri (Hayvan-Bitki)		13.414.074

Biyogaz tesislerinin tasarımından kurulmasına ve çalıştırılmaya başlanmasına kadar atık giderlerinin ve ekipman giderlerinin yanında oluşan diğer harcamalar aşağıda verilmiştir:

- Tasarım/Proje ve Mühendislik Giderleri
- Arazi giderleri
- İnşaat giderleri
- İşçilik giderleri
- İşletme giderleri
- Bakım ve onarım giderleri
- Olası nakliyat giderleri
- Beklenmeyen maliyetler

Yapılan maliyet hesaplamaları sonucunda Çizelge 4.17’de tesis yatırım harcamaları toplamı Türk Lirası cinsinden verilmiştir.

Çizelge 4.17. Tesis yatırım harcamaları.

Yatırım İsmi	Fiyat (TL)
Toplam Ekipman Giderleri (%100 Hayvansal)	12.422.874
Toplam Ekipman Giderleri (Hayvan-Bitki)	13.414.074
Tasarım & Proje & Mühendislik	1.000.000
İzin & Onaylar	150.000
Bina & İnşaat	700.000
Diğer Yatırım Kalemleri (Şebeke, Trafo,...)	600.000
Beklenmeyen Giderler	100.000
Toplam Yatırım (%100 Hayvansal)	14.972.874
Toplam Yatırım (Hayvan-Bitki)	15.964.074

Büyükbaş hayvan çiftliğinin ve kurulan biyogaz tesisinin toplam yatırım giderleri Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Çiftliğin toplam giderleri.

Çiftlik Ve Tesisin Toplam Yatırımları	Fiyat (TL)
Tesis Toplam Yatırım (%100 Hayvansal)	14.972.874
Tesis Toplam Yatırım (Hayvan-Bitki)	15.964.074
Toplam Çiftlik Yatırımı (%100 Hayvan)	73.241.600
Toplam Çiftlik Yatırımı (%50 Hayvan)	36.620.800
Toplam Çiftlik Yatırımı (%40 Hayvan)	29.327.600
Toplam Çiftlik Yatırımı (%30 Hayvan)	21.982.800
Toplam Yatırım (%100 Hayvan)	88.214.474
Toplam Yatırım (%50 Hayvan)	52.584.874
Toplam Yatırım (%40 Hayvan)	45.291.674
Toplam Yatırım (%30 Hayvan)	37.946.874

Tesisin toplam yıllık giderleri Çizelge 4.19’da ve atık türüne göre çiftlik ve tesisin yıllık giderleri ise Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.19. Tesisin toplam giderleri.

Toplam Yıllık Giderleri	Fiyat (TL)
Çiftlik ve tesislerin yıllık elektrik giderleri	720.000
Tesisteki personellerin yıllık giderleri	720.000
Çiftlikteki personel ve yem yıllık gider (%100 Hayvan)	35.671.600
Çiftlikteki personel ve yem yıllık gider (%50 Hayvan)	17.835.800
Çiftlikteki personel ve yem yıllık gider (%40 Hayvan)	14.299.600
Çiftlikteki personel ve yem yıllık gider (%30 Hayvan)	10.711.800
Yıllık yakıt miktarı	200.000
Beklenmeyen giderler	250.000
Bakım & Onarım giderleri	500.000
Genel Giderler	500.000
Toplam Yıllık Giderler (%100 Hayvan)	38.561.600
Toplam Yıllık Giderler (%50 Hayvan)	20.725.800
Toplam Yıllık Giderler (%40 Hayvan)	17.189.600
Toplam Yıllık Giderler (%30 Hayvan)	13.601.800

Çizelge 4.20. Toplam yıllık giderler.

Atık Türü / Miktar	Bitki Sayısı (ton)	Yıllık Bitki Miktarı (ton)	Yıllık Bitki Maliyeti (TL)	Toplam Yıllık Giderler (TL)
%100 Hayvansal	-	-	-	38.561.600
%50 Hayvan %50 Mısır	30	10.950	3.558.750	24.284.550
%50 Hayvan %50 Patates	120	43.800	48.180.000	68.905.800
%50 Hayvan %50 Şeker Pancarı	39	14.235	2.491.125	23.216.925
%40 Hayvan %60 Mısır	36	13.140	4.270.500	21.460.100
%40 Hayvan %60 Patates	144	52.560	57.816.000	75.005.600
%40 Hayvan %60 Şeker Pancarı	46	16.790	2.938.250	20.127.850
%30 Hayvan %70 Mısır	42	15.330	4.982.250	18.584.050
%30 Hayvan %70 Patates	168	61.320	67.452.000	81.053.800
%30 Hayvan %70 Şeker Pancarı	54	19.710	3.449.250	17.051.050

4.13. Gelir Hesaplaması Ve Amortisman Süresi

Biyogaz tesisinde üretilen elektrik ve ısı enerjisi ihtiyaca göre çeşitli yerlerde kullanılabilir. Üretilen elektrik şebekeye satılabilir. Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu ihtiyaca göre elektrik enerjisini antlaşmalar ile alır. Ortalama 12-15 ¢ (cent) arasında alım fiyatları mevcuttur. Ortalama 13,5 ¢ civarında elektriğin satıldığı ve 1\$ (Dolar) 6 TL varsayılmaktadır. Fermantasyon sonucu çıkan organik gübrenin ise piyasada ortalama fiyatı 400 TL/ton'dur. Fermantasyon sonucu çıkan şıralı suyun ortalama fiyatı 20 TL/ton'dur. Çiftlikteki büyükbaş hayvanların sütünden elde edilecek gelir ise yaklaşık 1,70 TL/lt'dir.

Tesisin yıllık çalışma süresi yılda 8000 saat çalışmaktadır.

Toplam yıllık elektrik enerjisi geliri: $0,135 * 1067 \text{ kwsa} * 8000 \text{ h} = 1.152.360 \$$

Yıllık elektrik enerjisi geliri; $1.152.360 \$ * 6 \text{ (TL/\$)} = 6.914.160 \text{ TL}$

Fermantasyon sonunda çıkan gübre ve şıralı su miktarları karışım türüne göre değişmektedir. Günlük atıklardan çıkan gübre miktarları sırasıyla 35, 30, 39, 32, 30, 38, 29, 27, 37, 27 tondur. Ortalama satılacak gübre miktarı günlük 35 ton ve şıralı su miktarı ise bir tanker hacmi olan 25 ton alınmıştır. Çiftlikteki Holstein türü büyükbaş bir hayvan ortalama bir yılda yaklaşık 6500 litre süt vermektedir.

Yıllık gübre satışından elde edilecek gelir: $35 * 365 * 400 \text{ TL} = 5.110.000 \text{ TL}$

Yıllık su satışından elde edilecek gelir: $25 * 365 * 20 \text{ TL} = 182.500 \text{ TL}$

Yıllık bir hayvanın süt satışından elde edilecek gelir: $6500 * 1,70 \text{ TL} = 11.050 \text{ TL}$

Toplam gelir = $6.914.160 + 5.110.000 + 182.500 + 11.050 = 12.217.710 \text{ TL}$

Biyogaz tesisi ve çiftliğin yıllık gelirleri Çizelge 4.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.21. Yıllık toplam gelirler.

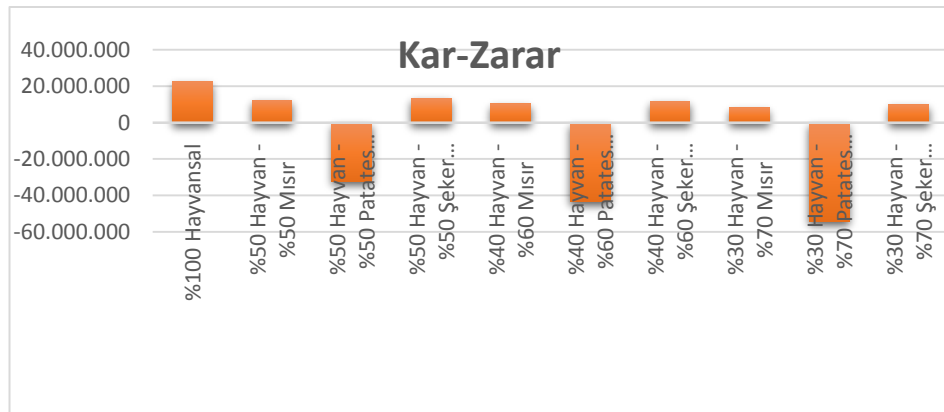
Tesisin Yıllık Gelirleri	Fiyat (TL)
Yıllık elektrik geliri	6.914.160
Satılan fermente gübre geliri	5.110.000
Satılan şıralı su geliri	182.500
Yıllık toplam satılan süt geliri (%100 Hayvan)	48.841.000
Yıllık toplam satılan süt geliri (%50 Hayvan)	24.420.500
Yıllık toplam satılan süt geliri (%40 Hayvan)	19.536.400
Yıllık toplam satılan süt geliri (%30 Hayvan)	14.652.300
Toplam Yıllık Gelirler (%100 Hayvan)	61.047.660
Toplam Yıllık Gelirler (%50 Hayvan)	36.627.160
Toplam Yıllık Gelirler (%40 Hayvan)	31.743.060
Toplam Yıllık Gelirler (%30 Hayvan)	26.858.960

Tasarlanan büyükbaş hayvan çiftliği ve biyogaz tesisini yıllık net kar-zarar ve geri ödeme süresi Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Geri dönüş süresinin belirlenmesi.

Atık Türleri	Toplam Yıllık Gelirler (TL)	Toplam Yıllık Giderler (TL)	Kar – zarar (TL)	Yatırım Maliyetleri (TL)	Geri Dönüş süresi (YIL)
%100 Hayvansal	61.047.660	38.561.600	22.486.060	88.214.474	3,92307385
%50 Hayvan %50 Mısır	36.627.160	24.284.550	12.342.610	52.584.874	4,2604339
%50 Hayvan %50 Patates	36.627.160	68.905.800	-32.278.640	52.584.874	
%50 Hayvan %50 Şeker Pancarı	36.627.160	23.216.925	13.410.235	52.584.874	3,9212493
%40 Hayvan %60 Mısır	31.743.060	21.460.100	10.282.960	45.291.674	4,4045366
%40 Hayvan %60 Patates	31.743.060	75.005.600	-43.262.540	45.291.674	
%40 Hayvan %60 Şeker Pancarı	31.743.060	20.127.850	11.615.210	45.291.674	3,8993418
%30 Hayvan %70 Mısır	26.858.960	18.584.050	8.274.910	37.946.874	4,5857748
%30 Hayvan %70 Patates	26.858.960	81.053.800	-54.194.840	37.946.874	
%30 Hayvan %70 Şeker Pancarı	26.858.960	17.051.050	9.807.910	37.946.874	3,8690072

Tasarlanan büyükbaş hayvan çiftliği ve biyogaz tesisini yıllık net kar-zarar grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Atık karışımına göre yıllık kar zarar grafiği.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyogaz, kojenerasyon sistemleri ve gaz motorları üzerinde durulmuştur. Bu bilgiler ışığında Kırşehir ili bünyesinde kolaylıkla bulunan organik atıklardan üretilen biyogaz ile gaz motorlu kojenerasyon tesisi için temel ekipmanlar kullanılarak 1 MW elektrik üreten bir tesis tasarımı yapılmıştır. Tesis tasarımında yıllık olarak sadece hayvansal atık ve sırasıyla mısır, patates ve pancar küspesi sırasıyla oransal olarak karıştırılmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir. Karıştırma sonucunda hayvansal atık ile patates kullanılması durumunda zarar edildiği gözlemlenmiştir.

Biyogazın özellikleri, üretilmesinde kullanılan atıklar, tarihsel gelişimi, oluşum aşamaları, değerlendirilmesi, üretilmesini etkileyen faktörler ve biyogaz üretim yöntemleri incelenmiştir.

Biyogaz tesislerinin temel ekipmanları, tesis türleri ve biyogaz tesisi için fizibilite çalışmalarının nasıl yapılacağı araştırılmıştır.

Birlikte ısı ve güç üreten sistemler olan kojenerasyon sistemlerinin seçilmesi ve gaz motorlu kojenerasyon sistemleri incelenmiştir. Kojenerasyon yöntemi ile elektrik enerjisinin yanında üretilen ısı enerjisi konutların ve seraların ısıtılmasında kullanılabilir.

Biyogaz üretmek için sadece hayvansal atıklar kullanmak yerine çeşitli atıklar oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. Karışım yapılarak tasarlanan gaz motorlu kojenerasyon sisteminin tamamı hayvansal atıkların kullanılması durumunda maliyetin çok yüksek olduğu görülmüştür. Aynı güç hayvansal atıklara belirli oranlarda bitkisel atıklar karıştırılarak düşük maliyetle üretilebilir.

Yapılan çalışmalar ve incelemelerin sonucunda, fosil kaynakların hızla tükenmekte olduğu ve gelecekte enerji ihtiyacının daha da artacağı gözlemlenmiştir. Enerji üretiminin gelişmişlik seviyesini gösterdiği düşünülmektedir. Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengindir. Ülkemizde ve dünyanın çoğu yerinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik sürekli çalışmalar yapılmaktadır.

Biyogaz üretimi sayesinde atık maddelerden enerji üretiminin yanında atıkların tekrar toprağa kazandırılması sağlanmaktadır. Biyogazın üretilmesiyle hava kirliliği azaltılabilir. Tarım ve hayvancılık bakımından zengin olan ülkemizin fermantasyon sonucu çıkan gübre çok daha kaliteli gübre olarak tarım alanlarında kullanılabilir.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında çıkarılan sonuçlar aşağıdaki maddeler ile özetlenebilir:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarına dünya genelinde ilgi her geçen gün artmaktadır.
- Biyogazdan hem ısı hem de elektrik enerjisi üretilebilir.
- Biyogaz elde edebilmek için sadece tek bir yakıt kullanmak yerine yakıtlar karıştırılarak da elde edilebilir.
- Biyogaz üretebilmek için hayvansal atıklara sadece tek çeşit bitkisel atıklar kullanılması durumunda zarar edilebilir.
- Biyogaz tesisi için reçetenin çok önemli olduğuna dikkat edilmelidir.
- Biyogaz üretiminde maliyeti düşürmek ve üretilen gücü arttırmak için hayvansal atıkların yanında diğer atık türleri de kullanılabilir.
- Biyogaz tesisi tasarlamak için ilk belirlenmesi gereken uygun atık türleri ve tesis reçetesidir. Tesisin bulunduğu yere bölgeye göre atık türleri ve maliyetleri değişebilir.
- Kojenerasyon sistemlerinin seçilmesinde en önemli parametre üretilmek istenen elektrik ve ısı miktarıdır.
- Amortisman süresine bakıldığı zaman ilk kurulum maliyeti yüksek olan biyogaz enerjisinin iyi tasarlanma ve planlama yapılırsa çok iyi bir zamanda kendisini amorti edebildiği görülmektedir.
- Sadece hayvan çiftliğine ve giderlere bakıldığında hayvan sayısını düşürüp diğer atıkları karıştırmak hem maliyeti azaltmakta hem de tesisin geri ödeme süresini azaltmaktadır.
- Biyogaz tesisi kurmak için hayvan çiftliği kurmak yerine doğrudan atıklar satın alınarak tesis işletilebilir.

KAYNAKLAR

- Akbulut, A., 2011. Biyogazın ısı ve elektrik üretiminde kullanılmasının irdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Angın, D., 2005. Aspir (Charthamus Tinctorius L.) tohumu pres küspesinin alternatif enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Çakır, D., 2006. Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinde yakıt olarak doğalgaz kullanımının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gonç, O., 2014. Ev tipi biyogaz üretimi tasarımı ve prototipi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.
- Kaya, D. ve Öztürk, H.H., 2012. Biyogaz teknolojisi, 1. Baskı, Umuttepe Yayınları, Kocaeli, ISBN 978-605-5936-74-7.
- Kaya, K. ve Koç, E., 2015. Enerji üretim santralleri maliyet analizi, Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 660, s. 61-68.
- Öçal, F., 2013. Biyogaz enerjisi üretimi ve Eskişehir ili için uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Öztürk, H.H. ve Kaya, D., 2014. Kojenerasyon ve trijenerasyon tekniği. 1. Baskı, Umuttepe Yayınları, Kocaeli, ISBN 978-605-5100-28-5.
- Toprakçioğlu, G., 2016. Siirt ve Batman illerinin biyogazdan elektrik enerjisi üretim potansiyellerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Siirt.
- Uzungöl, S., 2017. Mermer imalat sektöründe doğalgaz ile çalışacak kojenerasyon sisteminin ekonomik analizi. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla).
- Üçok, S., 2016. Sebze ve meyve Pazar atıklarının biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- URL-1<<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir.aspx>>, Erişim Tarihi: 05.04.2018.
- URL-2<<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx>>, Erişim Tarihi: 05.04.2018.
- URL-3<<http://www.mtmakina.com.tr/biyogaz/biyogaz-tesisi.html>>, Erişim Tarihi: 10.10.2018.
- URL-4<<http://www.alternatifenerji.com/gallery/biyogaz-dosyasi-foto-galeri/>>, Erişim Tarihi: 05.04.2018.

URL-5<<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KIRSEHIR>>, Erişim Tarihi: 10.10.2018.

URL-6<<https://www.topkapigroup.com.tr/default.asp?LanguageID=1>>
Erişim Tarihi: 10.10.2018.

URL-7<<http://www.enermak.com/urunler/biyogaz-membran-sistemleri#>>,
Erişim Tarihi: 10.10.2018.

URL-8<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/turkiyede_jeo.aspx>,
Erişim Tarihi: 10.10.2018.

URL-9<<http://www.eko-denge.com/urunler/>> Erişim Tarihi: 10.10.2018.

URL-10<<http://www.idealmakina.com/>> Erişim Tarihi: 10.10.2018.

URL-11<<http://www.barismuhendislik.com.tr/>> Erişim Tarihi: 10.10.2018

URL-12<<https://www.ekinendustriyel.com/>> Erişim Tarihi: 10.10.2018.

URL-13<<https://karyergroup.com/>> Erişim Tarihi: 10.10.2018.

EKLER

EK.A Kırşehir Ticaret Borsası Verileri Dilekçesi



KIRŞEHİR TİCARET BORSASI

Sayı : 217
Konu : fiyat hk

Kırşehir
09.10.2018

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

İlgi: 09/10/2018 tarihli dilekçeniz.

İlgi dilekçenizde Yüksek Lisans Tezinde kullanılmak üzere güncel Slaj,Küspe ,Patates ve Canlı Hayvan Fiyatları sorulmaktadır

1 Ton Slaj Fiyatı takriben 300.00TL-350.00 TL dir.
1 Ton Küspe Fiyatı takriben 150.00 TL-200.00TL dir.
1 Kg Patates Fiyatı takriben 0,70 krş-1.50 TL dir
Canlı Hayvan Fiyatları Ek-1 de sunulmuştur.

Konu hakkında gereğini bilgilerinize arz ederim.


Saygılarımla

Battal ÇELİK
Genel Sekreter

Ekler : 1Sayfa

Merkez : Canlı Hayvan Pazar Yeri Organize Sanayi Yolu Üzeri
Tel : 0 386 252 82 50 - 49 Faks : 0 386 252 82 51
Tarım Ticaret Merkezi Kompleksi : Organize Sanayi Yolu Üzeri
Tescil Tel : 0 386 252 82 61 - Faks : 0 386 252 82 51
web: www.kirsehirtb.org.tr. - e-posta: kirsehirtb@tobb.org.tr.

40100 / KIRŞEHİR

40100 / KIRŞEHİR

Şekil A.1. Kırşehir Ticaret Borsası dilekçe cevabı.

TAZMINAT ÖDENECEK HAYVANLARIN KIYMET TAKDİRLERİNİN BELİRLENMESİ



KIRŞEHİR TİCARET BORSASI

2018 Eylül Ayı Canlı Hayvan Fiyat Tablosu

Büyükbaş Hayvan	Fiyat	0-6 aylık Erkek	6-12 aylık Erkek	12-24 aylık Erkek	24 ay üzeri Erkek	0-6 aylık Dişi	6-12 aylık Dişi	12-24 aylık Dişi	24 ay üzeri Dişi
Montofon	Kesim	3.000-4.500	4.500-7.500	6.500-8.500	8.000-12.000	3.200-4.500	4.000-6.000	6.000-9.000	8.000-10.000
	Damızlık	3.000-4.500	4.500-7.500	6.500-8.500	8.000-12.000	3.200-4.500	4.000-6.000	6.000-9.000	8.000-10.000
Simental	Kesim	4.500-6.500	6.000-10.000	8.500-13.000	9.000-15.000	4.500-6.000	6.000-9.000	8.500-14.000	11.000-17.000
	Damızlık	4.500-6.500	6.000-10.000	8.500-13.000	9.000-15.000	4.500-6.000	6.000-9.000	8.500-14.000	11.000-17.000
Holstein	Kesim	2.500-3.800	3.800-7.500	6.000-8.000	7.500-11.500	3.200-4.000	3.800-6.500	6.500-11.000	8.000-13.000
	Damızlık	2.500-3.800	3.800-7.500	6.000-8.000	7.500-11.500	3.200-4.000	3.800-6.500	6.500-11.000	8.000-13.000
Şarole	Kesim	4.500-6.500	6.000-10.000	8.500-13.000	9.000-15.000	4.500-6.000	6.000-9.000	8.500-14.000	11.000-17.000
	Damızlık	4.500-6.500	6.000-10.000	8.500-13.000	9.000-15.000	4.500-6.000	6.000-9.000	8.500-14.000	11.000-17.000
Angus	Kesim	4.000-5.500	4.500-8.500	7.500-10.500	9.000-13.000	4.000-5.500	5.000-8.000	7.000-10.000	9.500-14.000
	Damızlık	4.000-5.500	4.500-8.500	7.500-10.500	9.000-13.000	4.000-5.500	5.000-8.000	7.000-10.000	9.500-14.000
Hereford	Kesim	4.500-6.500	6.000-10.000	8.500-13.000	9.000-15.000	4.500-6.000	6.000-9.000	8.500-14.000	11.000-17.000
	Damızlık	4.500-6.500	6.000-10.000	8.500-13.000	9.000-15.000	4.500-6.000	6.000-9.000	8.500-14.000	11.000-17.000
Limousin	Kesim	4.500-6.500	6.000-10.000	8.500-13.000	9.000-15.000	4.500-6.000	6.000-9.000	8.500-14.000	11.000-17.000
	Damızlık	4.500-6.500	6.000-10.000	8.500-13.000	9.000-15.000	4.500-6.000	6.000-9.000	8.500-14.000	11.000-17.000
Yerli	Kesim	2.300-3.500	3.500-7.000	6.600-9.500	8.500-11.000	2.200-3.500	3.300-6.000	6.000-9.000	7.000-11.500
	Damızlık	2.300-3.500	3.500-7.000	6.600-9.500	8.500-11.000	2.200-3.500	3.300-6.000	6.000-9.000	7.000-11.500

VETERİNER HEKİM
Süleyman ÖZÇİÇEK

Dip. No: 14149/0097

Şekil A.2. 2018 Eylül ayı borsa hayvan fiyatları.

EK.B GE Jenbacher 3 Serisi Kataloğu



Topkapı Mah. Turgut Özal Millet Cad. No:180-182 34093 Fatih/İSTANBUL
Tel: (0212) 534 04 10 Fax: (0212) 524 58 46
www.topkapiigroup.com.tr info@topkapiigroup.com.tr

GE Jenbacher 3 Serisi



Verimli, Dayanıklı, Güvenilir

Uzun servis aralıkları, bakım dostu motor tasarımı ve 3 serisi motorlarımızda yüksek verim, düşük yakıt tüketimli çalışma. Çöpgazı gibi boru hattı ile taşınmayan gazlarda bile bakım ömrünü uzatan uygun şekilde optimize edilmiş parçalar. Teknik geçmiş, tecrübesi ve yüksek dayanıklılık derecesi ile 3 Serisi gaz motorları 500-1100 kW güç aralığında öne çıkmaktadır.

Örnek Tesisler

Tesis, Model

Temel Teknik Veriler

Firma Bilgileri

J312 GS
Radisson Şişli, Otel;
İstanbul, Türkiye

Yakıt Doğal Gaz
Motor Tipi 1 x JMS 312 GS-N.L
Elektriksel Güç 527 kW
Isıl Güç 634 kW
Devreye Alma 2012

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat.



J312 GS
Adana Sheraton, Otel;
Adana, Türkiye

Yakıt Doğal Gaz
Motor Tipi 1 x JGS 312 GS-N.L
Elektriksel Güç 637 kW
Isıl Güç 710 kW
Devreye Alma 2013

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat.



J316 GS
Medicana, Hastane;
İstanbul, Türkiye

Yakıt Doğal Gaz
Motor Tipi 1 x JMS 316 GS-N.L
Elektriksel Güç 851 kW
Isıl Güç 945 kW
Devreye Alma 2014

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat.



J320 GS
Gönen Enerji, Enerji;
Balıkesir, Türkiye

Yakıt Biyogaz
Motor Tipi 2 x JMS 320 GS-B.L
Elektriksel Güç 2.134 kW
Isıl Güç 1.146 kW
Devreye Alma 2012

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat.



J320 GS
Sütaş Aksaray, Gıda,
Aksaray, Türkiye

Yakıt Biyogaz
Motor Tipi 6 x JMS 320 GS-B.L
Elektriksel Güç 6.402 kW
Isıl Güç 4.038 kW
Devreye Alma 2013

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat.



GE Jenbacher

Şekil B.1. Ge j320 katalog.

GE Jenbacher 3 Serisi



Modül Özellikleri

	Birim	JMS 312 - D205	JMS 312 - D05	JMS 316	JMS 320
Elektriksel Güç	kW	527	635	847	1.067
Geri Kazanılabilir Termal Güç*	kW	621	729	976	1.226
Enerji Girişi	kW	1.312	1.558	2.092	2.606
Gaz Tüketimi (9,6 kWh/Nm3)	Nm3/h	137	162	218	271
Elektriksel Verim	%	40,2	40,8	40,5	40,9
Isıl Verim	%	47,3	46,5	46,6	47,0
Toplam Verim	%	87,5	87,6	87,1	88,0

Motor Değerleri

	Birim	JMS 312 - D205	JMS 312 - D05	JMS 316	JMS 320
Silindir Sayısı		12	12	16	20
Silindir Çapı	mm	135	135	135	135
Deplasman	mm	170	170	170	170
Silindir Hacmi	lt	29,20	29,20	38,93	48,67
Devir Sayısı	1/min	1500	1500	1500	1500
Ortalama Piston Hızı	m/s	8,5	8,5	8,5	8,5
Silindir Sıkıştırma Basıncı	Bar	15	15	18	18
Basınç Oranı	Epsilon	12,5	12,5	12,5	12,5
Motorun Yakıt Sarfıyatı	kWh/kWh	2,41	2,37	2,37	2,38
Ağırlık	kg	3.530	3.530	4.690	5.700

Sistem Bilgileri

	Birim	JMS 312 - D205	JMS 312 - D05	JMS 316	JMS 320
Motor Ses Seviyesi	dB(A)	95	95	95	96
Egzoz Gazı Ses Seviyesi	dB(A)	115	115	117	122
Egzoz Gazı Kütlesi (Nemli)	kg/h	2.836	3.387	4.575	5.665
Egzoz Gazı Geri Dönüş Basıncı	mbar	60	60	60	60
Egzoz Gazı Sıcaklığı	°C	471	454	458	442
Yanma Hava Debisi	kg/h	2.124	2.537	3.428	5.260
Ceket Suyu Dönüş Sıcaklığı	°C	70	70	70	70
Ceket Suyu Gidiş Sıcaklığı	°C	90	90	90	90
Sıcak Su Debisi	kg/h	29,20	35,10	47,0	59,0

Jeneratör Özellikleri

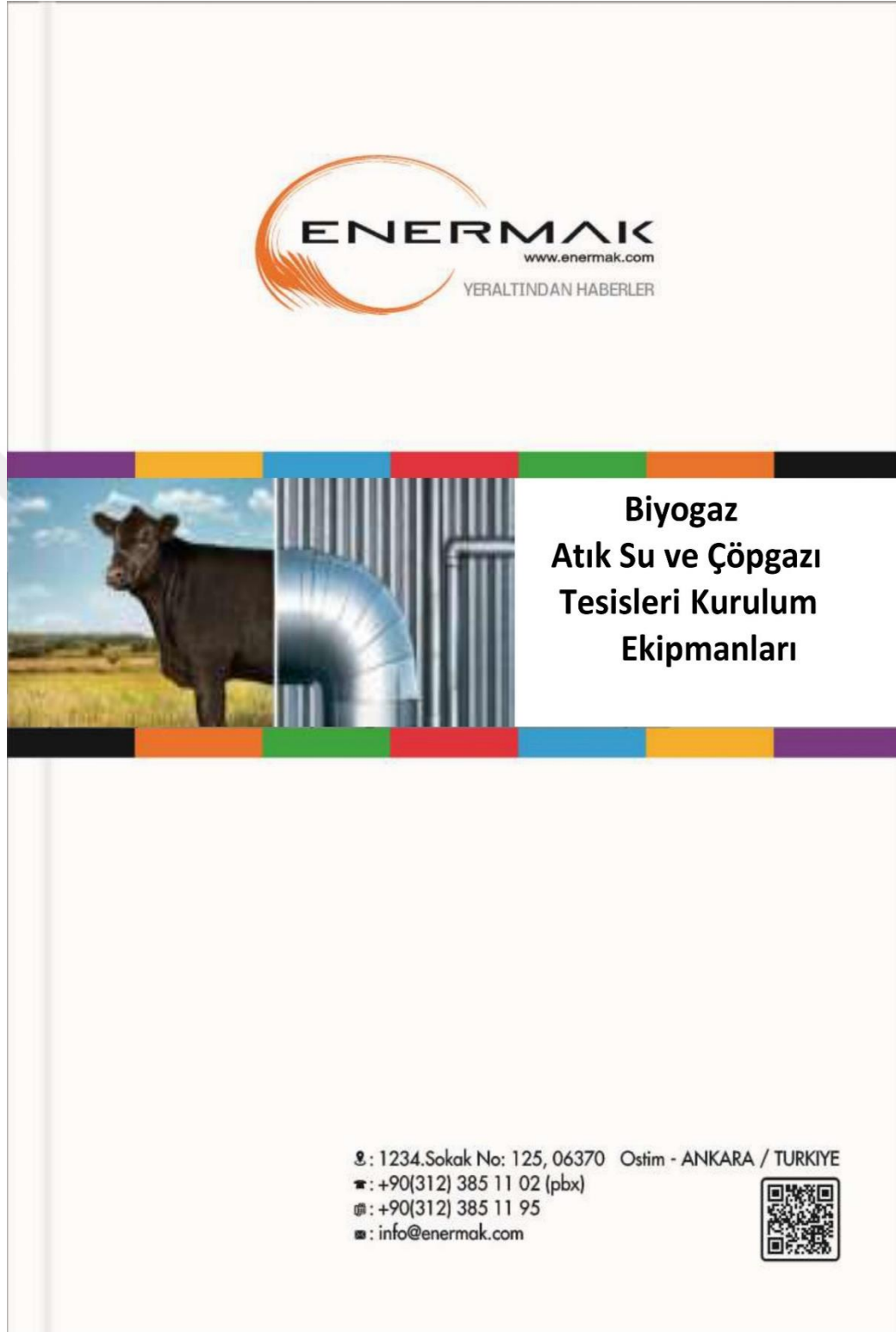
	Birim	JMS 312 - D205	JMS 312 - D05	JMS 316	JMS 320
Üretici		Leroy Somer	Stamford	Stamford	Stamford
Gerçek Gücü	kVA	785	788	1.268	1.625
Elektriksel Verimi (cosφ=1,0)	%	96,9	96,7	96,7	97,4
Elektriksel Gücü (cosφ=1,0)	kW	527	635	847	1.067
Frekans	Hz	50	50	50	50
Voltaj	V	400	400	400	400
Yalıtım Sınıfı		H	H	H	H
Ağırlık	kg	1.870	2.300	2.710	3.506

Teknik Parametreler

- 1) Standart güç koşulları ISO 3046 ölçüsüne ve gaz kalitesi GE T1 100-0300 talimatnamesine uygun olarak verilmiştir.
- 2) Min. Metan Sayısı MZ(*): 94170
- 3) (*JAVL 3.1 hesaplama programına göre belirlenmiştir.(N₂ ve CO₂ olmadan hesaplanmıştır.)
- 4) Emisyon Değeri: NO_x < 500mg/Nm³ (5% O₂)
- 5) Egzoz sıcaklığının 120 °C'ye düşürüldüğü doğrulanmıştır.
- 6) Teknik verilerde değişiklik hakkı saklıdır.

Ver.2016.Jan

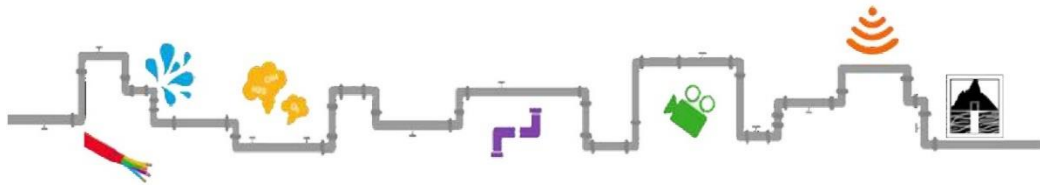
Şekil B.2. Ge j320 teknik özellikler.



Şekil C.1. Membran firması katalog – 1.



BİYOĞAZ ve ATIK SU TESİSLERİ KURULUM EKİPMANLARI



Şekil C.2. Membran firması katalog – 2.

116



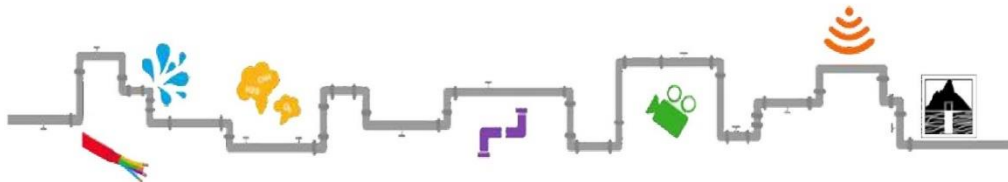
Membrane Europe yüksekfrekanslı kaynak üretimi yapandünyadaki3 firmadan bir tanesidir.2018 yılında yeni geliştirmiş olduğu teknoloji ile beraber düşük emisyonlu reflektif membran teknolojisinide üreticilerine sunmaktadır. Membrane Europe’u diğer üreticilerden ayıran en büyük özellik paralel membrane üretimi yapan tek firmadır.

Paralel membrane zor hava şartları ve ağır iklimlerde rüzgar/fırtına/dolu/kar yağışının olduğu bölgelerde havanın uyguladığı basıncı üretmiş olduğu paralel membrane teknolojisi ile minimize ederek daha az alan kaplayarak daha sağlam ve dayanıklı bir çözüm sağlamaktadır.



Yüksek Kaynak ile Sıkıştırılmış Membran (High Frequency Welded) ve Sıcak Hava ile üretilen (Hot Air) Membranların Dayanıklılık Test Sonuçları

STATISTICS				STATISTICS			
Material: Classic 800				Material: Classic 800			
Seam: HF 40mm				Seam: Hot air 40mm			
Temperature: 70°				Temperature: 70°			
Statistical Analysis of 5 trial seams				Statistical Analysis of 5 trial seams			
i	Si	Si-1	Si-2	i	Si	Si-1	Si-2
1	83.3	0.0	31.26	1	83.3	0.0	31.26
2	79.1	1.4	1.94	2	79.1	1.4	1.94
3	77.6	6.1	0.01	3	77.6	6.1	0.01
4	75.6	0.0	0.01	4	75.6	0.0	0.01
5	80.7	-3.0	84	5	80.7	-3.0	84
6	0	0	0	6	0	0	0
7	0	0	0	7	0	0	0
8	0	0	0	8	0	0	0
9	0	0	0	9	0	0	0
10	0	0	0	10	0	0	0
Sum	388.8	98.14	21.79	Sum	388.8	98.14	21.79
Sample number	n	5.00		Sample number	n	5.00	
Average	sm	77.76 kN/m		Average	sm	77.76 kN/m	
Average logarithmic	gm	4.39		Average logarithmic	gm	4.39	
Standard deviation	s	4.95 kN/m		Standard deviation	s	4.95 kN/m	
Standard deviation logs	sy	0.08658		Standard deviation logs	sy	0.08658	
Statistical minimum strength	sm-2s	67.79 kN/m		Statistical minimum strength	sm-2s	67.79 kN/m	
5% Fractiles after RSt		66.05 kN/m		5% Fractiles after RSt		66.05 kN/m	



Şekil C.4. Membran firması katalog – 4.

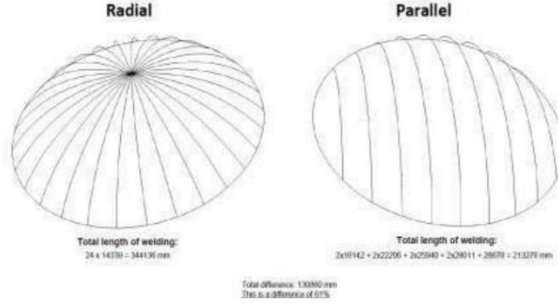


Membranlardaki önemli özelliklerden bir tanesi membranların hangi yapıda dizayn edildiğidir.

Yandaki statik hesaplamada membranın toplam yüzeyi ve yapıları karşılaştırılmıştır.

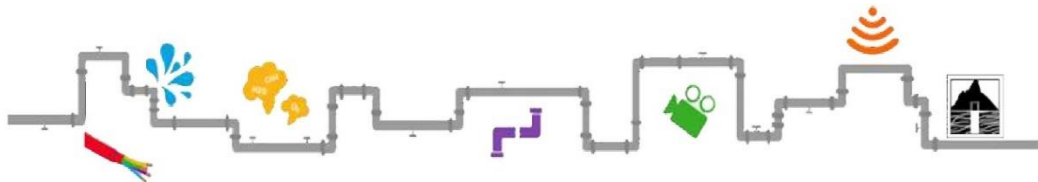
Membranların daha gergin ve sağlam olması için yüzeyin daha gergin ve yapısı gereği sağlam olması gerekmektedir.

Paralel membranda daha az yüzey kaplayarak daha gergin bir yüzey sunmakla beraber radial dizayna göre daha az bölgeden kaynak yapılmaktadır. Bu da membranın zor hava şartları ve ağır iklimlerde rüzgar/fırtına/dolu/kar yoğunluğu olan bölgelerde daha az kaynak bölgesi olmasından dolayı daha az basınçla ve güçle karşılaşması ve daha sağlam durması anlamına gelmektedir.



TEKNİK ÖZELLİKLER

- 100% en üst düzeyde kaynakla sıkıştırılmış membranlar (High Frequency Welded) Sıcak hava ile üretilen membranlara göre 2,5 kat daha dayanıklı teknoloji
- 40 metre çapa kadar uygun seçenekler
- 20 mBar'a kadar çalışma basıncı
- En düşük düzeyde gaz geçirgenliği
- Statik hesaplamalar yapılarak kurulum seçenekleri
- Paralel dizayn
- Farklı iklim yapılarına göre 4 farklı kalınlık ve dayanım gücünde membran seçenekleri



Şekil C.5. Membran firması katalog – 5.



Gübre Yönetim Sistemleri



Şekil D.1. Karıştırıcı firması katalog – 1.



Şekil D.2. Karıştırıcı firması katalog – 2.

EK E MIT Marka Isı Değiştiricilerinin Firma Hesapları



Endüstriyel Ürünler

EKİN ENDÜSTRİYEL İSİT. SOĞ. SAN. TIC. LTD. STİ.

DES Sanayi Sitesi 107. Sokak B14 Blok No:2 Ümraniye İstanbul

Tel.: +90 (216) 660 13 05 - Fax: +90 (216) 660 13 08

<http://www.ekinendustriyel.com>

info@ekinendustriyel.com

Müşteri	-	Tarih	8.10.2018
Dikkat	-	Proje numarası	
Açıklama			

Eşanjör Özellikleri

Kapasite	374,49	kW
Model	MIT 521	
Toplam Plaka Sayısı	85	
Plaka Dizilimi	72H + 13L	
Isı Tranfer Alanı	19,92	m²
Eşanjör marjini	0,24	%
Gerçek k değeri / Görev k değeri	8174 / 8193	W/(m² K)
LMTD	2,30	°C

Primer devre		Sekonder devre	
Akışkan cinsi	E GLYCOL / WATER 35 %		SU
Geçiş Sayısı	1		1
Akışkan debisi	58,0 m³/h		54,9 m³/h
Akışkan giriş sıcaklığı	78,30 °C		70,00 °C
Akışkan çıkış sıcaklığı	72,30 °C		76,00 °C
Toplam basınç kaybı	47,99 kPa		37,74 kPa
Plakalardaki basınç kaybı	45,21 kPa		35,35 kPa
Bağlantılardaki basınç kaybı	2,79 kPa		2,4 kPa
Kanal Akışkan Hızı	0,39 m/s		0,38 m/s
Bağlantı Akışkan Hızı	2,0513 m/s		1,9424 m/s
Kirillik katsayısı	0,0000001 (m² K)/W		0,0000001 (m² K)/W

Akışkan Özellikler		Primer devre		Sekonder devre	
Yoğunluk	1014,29 kg/m³			976,03 kg/m³	
Özgül Isı	3820 J/(kg K)			4192 J/(kg K)	
Termal İletkenlik	0,484 W/(m K)			0,665 W/(m K)	
Viskozite	0,9172 cP			0,3878 cP	

Malzeme

Plaka Malzemesi	0,5 mm - AISI 316L
Conta Malzemesi	EPDM
Gövde Malzemesi	Carbon Steel

Bağlantılar

Primer Devre	M1 => M2 NW100 FLANGE (STUDED) CS
Sekonder Devre	M3 => M4 NW100 FLANGE (STUDED) CS
Ağırlık Boş / Dolu	349,94/405,11 kg
İç Hacim Primer / Sekonder	27,7 / 27,7 l
Maksimum Diferansiyel Basınç Farkı	5 bar
Dizayn / Test Basıncı	10 / 15 bar
Min/Max Çalışma Sıcaklığı	-25 / 150 °C
Fiyat	313004,07 MPB

UNILAB PHE - 180625

Şekil E.1. 1. Isı değiştiricisinin firma hesapları.



Endüstriyel Ürünler

EKİN ENDÜSTRİYEL İSİT. SOĞ. SAN. TIC. LTD. STİ.
DES Sanayi Sitesi 107. Sokak B14 Blok No:2 Ümraniye İstanbul
Tel.: +90 (216) 660 13 05 - Fax: +90 (216) 660 13 08
<http://www.ekinendustriyel.com>
info@ekinendustriyel.com

Müşteri	-	Tarih	12.10.2018
Dikkat	-	Proje numarası	
Açıklama			

Eşanjör Özellikleri

Kapasite	143,42	KW
Model	MIT 521	
Toplam Plaka Sayısı	39	
Plaka Dizilimi	39L	
Isı Tranfer Alanı	8,88	m²
Eşanjör marjini	40,81	%
Gerçek k değeri / Görev k değeri	454 / 639	W/(m² K)
LMTD	35,58	°C

	Primer devre	Sekonder devre
Akışkan cinsi	OIL ISO VG46 - NEW	E GLYCOL / WATER 35 %
Geçiş Sayısı	1	1
Akışkan debisi	7,1 m³/h	58,0 m³/h
Akışkan giriş sıcaklığı	130,00 °C	70,00 °C
Akışkan çıkış sıcaklığı	90,00 °C	72,30 °C
Toplam basınç kaybı	1,83 kPa	47,09 kPa
Plakalardaki basınç kaybı	1,80 kPa	44,31 kPa
Bağlantılardaki basınç kaybı	0,04 kPa	2,79 kPa
Kanal Akışkan Hızı	0,11 m/s	0,89 m/s
Bağlantı Akışkan Hızı	0,24945 m/s	2,0513 m/s
Kirillik katsayısı	0,0003193 (m² K)/W	0,0003193 (m² K)/W

Akışkan Özellikler	Primer devre	Sekonder devre
Yoğunluk	833,37 kg/m³	1016,94 kg/m³
Özgül Isı	2196 J/(kg K)	3806 J/(kg K)
Termal İletkenlik	0,125 W/(m K)	0,481 W/(m K)
Viskozite	4,9913 cP	0,9505 cP

Malzeme

Plaka Malzemesi	0,5 mm - AISI 316L
Conta Malzemesi	EPDM
Gövde Malzemesi	Carbon Steel

Bağlantılar

Primer Devre	M1 ==> M2 NW100 FLANGE (STUDDER) CS
Sekonder Devre	M3 ==> M4 NW100 FLANGE (STUDDER) CS
Ağırlık Boş / Dolu	277,74/300,94 kg
İç Hacim Primer / Sekonder	12,5 / 12,5 l
Maksimum Diferansiyel Basınç Farkı	5 bar
Dizayn / Test Basıncı	10 / 15 bar
Min/Max Çalışma Sıcaklığı	-25 / 150 °C
Fiyat	193921,39 MPB

UNILAB PHE - 180625

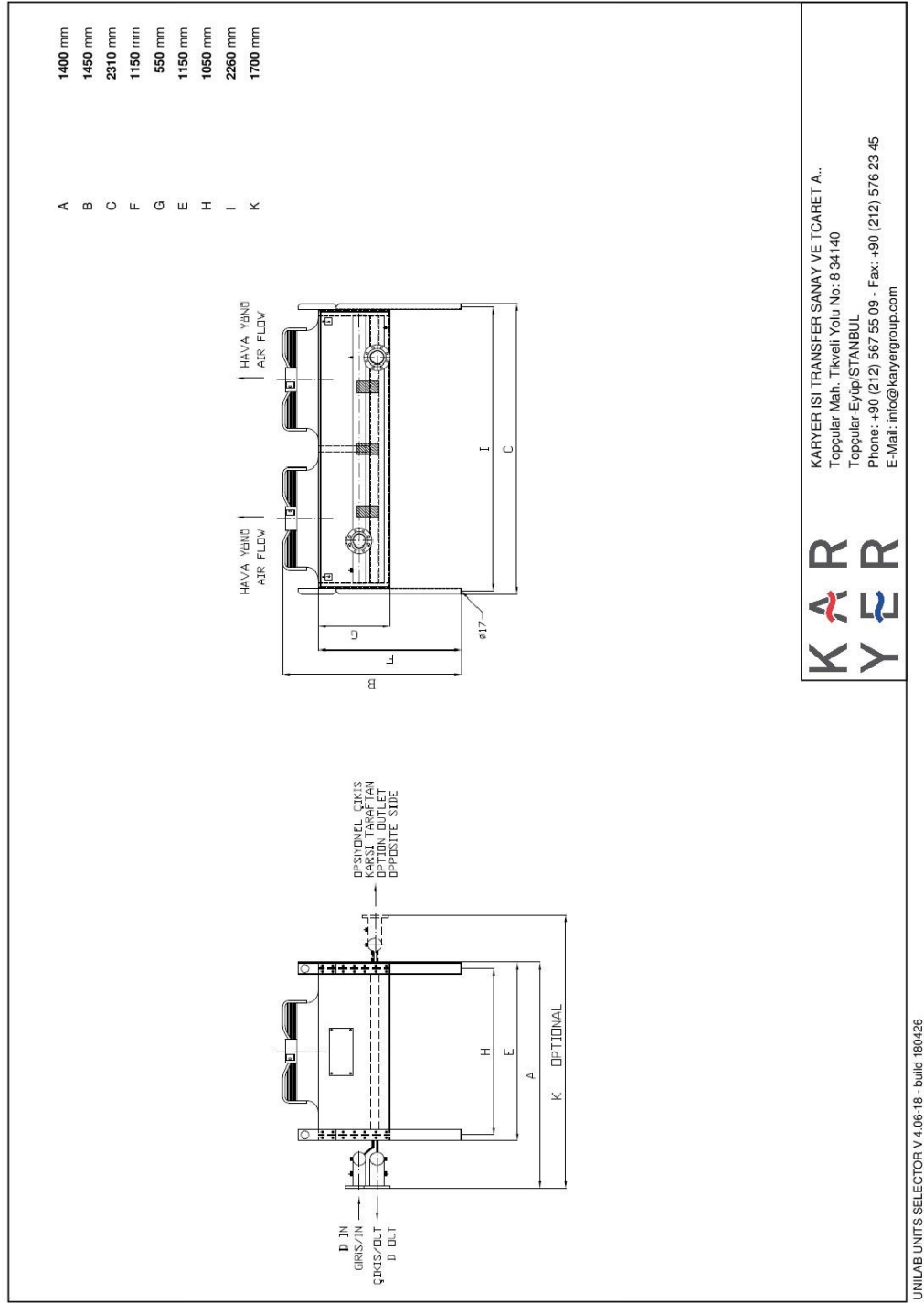
Şekil E.2. 2. Isı değiştiricisinin firma hesapları.

EK F Karyer Marka Kuru Soğutucu Firma Hesapları

		KARYER ISI TRANSFER SANAY VE TCARET A.. Topçular Mah. Tikveli Yolu No: 8 34140 Topçular-Eyüp/STANBUL Phone: +90 (212) 567 55 09 - Fax: +90 (212) 576 23 45 E-Mail: info@karyergroup.com	
Date	9/10/2018		
Customer			
Reference			
Offer			
DRY COOLER			
BC/BD-2X180HB1-B01 C2/1			
Required Capacity	196,00 kW	Fluid Inlet Temperature	81,5 °C
Real Capacity	196,10 kW	Fluid Outlet Temp. Required	-
Air Flow	25000,00 m³/h	Fluid Outlet Temp. Real	78,3 °C
Air Velocity	3,01 m/s	Fluid	ETHYLENE GLYCOL 35%
Altitude	0 m	Total Pressure Drops	67,6 kPa
Air Inlet Temperature	40,0 °C	Fluid Flow	58,00 m³/h
Outlet Air Temperature	64,3 °C		
Surface Reserve	0,1 %	ESP	0,0 Pa
Fan Piece(s)	2 (400V/3Ph/50Hz)	Operating Data per Fan	
Blade Diameter	800 mm	Op. Mode	Star
Range Of Temp.	-40 up to 65°C	Speed	710 rpm
Sound Power	78 dB(A)	Capacity	1126 W
Lpa at 10 m	46 dB(A)	Current	2,15 A
		Motor Plate per Fan	
		Op. Mode	Star
		Speed	690 rpm
		Capacity	1150 W
		Current	2,20 A
ErP	Yes	Energy Efficiency Class	C
Protection Class	IP54		
Construction			
Casing	Galvanized Sheet Painted RAL 9016	Surface	160,8 m²
Dry Weight	311,00 kg	Internal Volume	15,5 dm³
Max Working Pressure	10 bar	Fin Spacing	2,1 mm
Length	1400 mm	Fins material	Aluminium
Width	2310 mm	Tubes Material	Copper
Height	1450 mm	Headers Material	Steel
Gross Weight	373,00 kg	Inlet Header	1 x 2 1/2"
Ship Volume	5,63 m³	Outlet Header	1 x 2 1/2"
		Connections position	Same side
		PED Classification	Art 3.3
Accessories			
Before the order, Karyer has the right to review the selection.			

UNLAB UNITS SELECTOR V 4.06-18 - build 180426

Şekil F.1. 1. Kuru soğutucunun firma hesapları.



Şekil F.2. 1. Kuru soğutucunun teknik resmi.



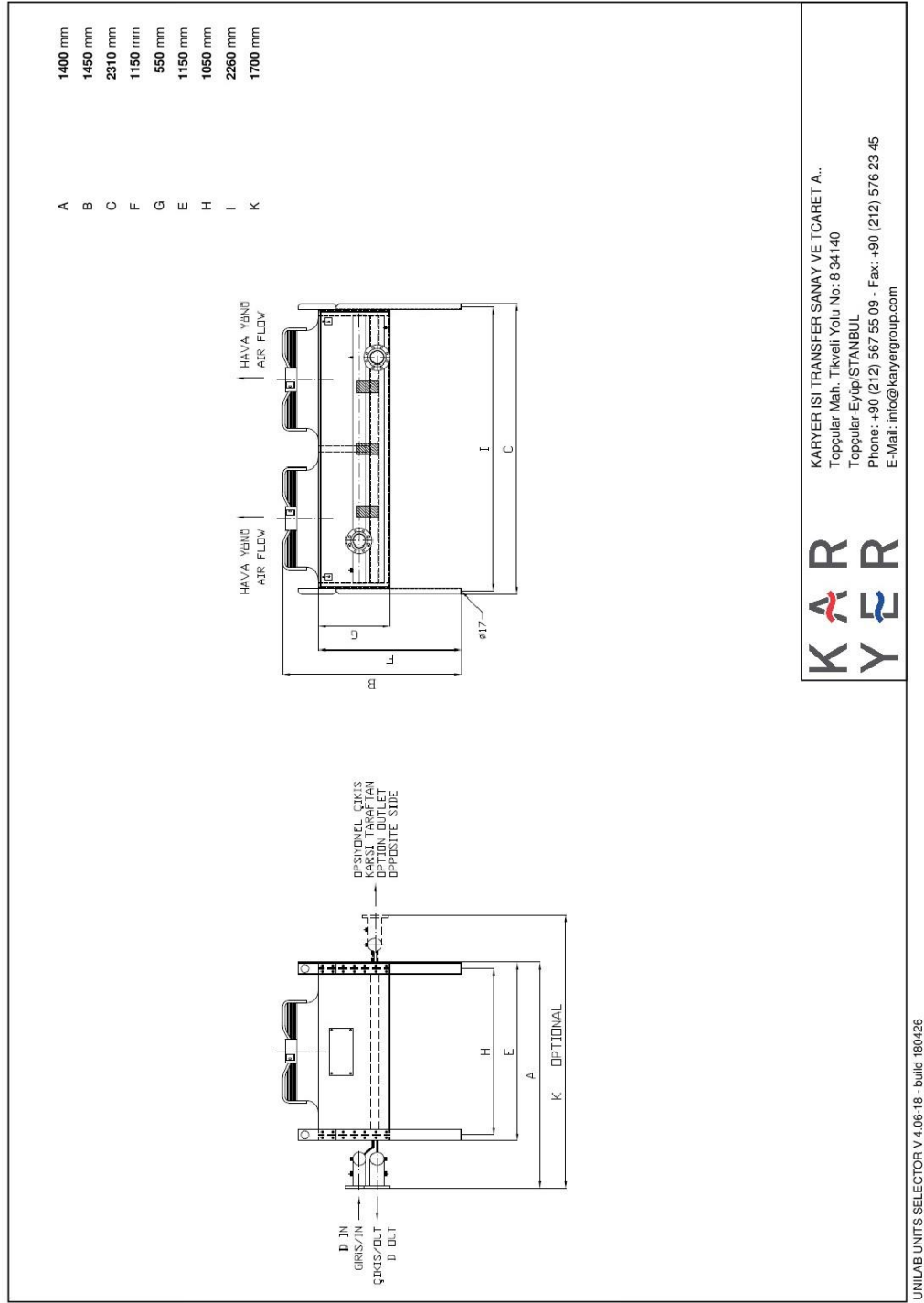
KARYER ISI TRANSFER SANAY VE TCARET A..
Topçular Mah. Tikveli Yolu No: 8 34140
Topçular-Eyüp/STANBUL
Phone: +90 (212) 567 55 09 - Fax: +90 (212) 576 23 45
E-Mail: info@karyergroup.com

Date 9/10/2018
Customer
Reference
Offer

DRY COOLER BC/BD-2X180HC1-B01 C4			
Required Capacity	100,00 kW	Fluid Inlet Temperature	53,3 °C
Real Capacity	104,40 kW	Fluid Outlet Temp. Required	-
Air Flow	31900,00 m³/h	Fluid Outlet Temp. Real	49,4 °C
Air Velocity	3,84 m/s	Fluid	ETHYLENE GLYCOL 35%
Altitude	0 m	Total Pressure Drops	36,3 kPa
Air Inlet Temperature	35,0 °C	Fluid Flow	25,00 m³/h
Outlet Air Temperature	45,1 °C		
Surface Reserve	4,4 %	ESP	0,0 Pa
Fan Piece(s)	2 (400V/3Ph/50Hz)	Operating Data per Fan	Motor Plate per Fan
Blade Diameter	800 mm	Op. Mode Delta	Op. Mode Delta
Range Of Temp.	-40 up to 65°C	Speed 902 rpm	Speed 900 rpm
Sound Power	85 dB(A)	Capacity 1774 W	Capacity 1800 W
Lpa at 10 m	53 dB(A)	Current 3,87 A	Current 3,90 A
ErP	Yes	Energy Efficiency Class	E
Protection Class	IP54		
Construction			
Casing	Galvanized Sheet Painted RAL 9016	Surface	214,5 m²
Dry Weight	327,00 kg	Internal Volume	20,8 dm³
Max Working Pressure	10 bar	Fin Spacing	2,1 mm
Length	1400 mm	Fins material	Aluminium
Width	2310 mm	Tubes Material	Copper
Height	1450 mm	Headers Material	Steel
Gross Weight	388,00 kg	Inlet Header	1 x 2 1/2"
Ship Volume	5,63 m³	Outlet Header	1 x 2 1/2"
		Connections position	Same side
		PED Classification	Art 3.3
Accessories			
Before the order, Karyer has the right to review the selection.			

UNILAB UNITS SELECTOR V 4.06-18 - build 180426

Şekil F.3. 2. Kuru soğutucunun firma hesapları.



Şekil F.4. 2. Kuru soğutucunun teknik resmi.

FERHAT AKKUŞ

Sn. : Ferhat Bey'in dikkatine;
E-mail : ferhatakkus_40@hotmail.com
Ref. : 08.10.2018 tarihli e-mail.
Konu : Fiyat teklifi
Sayfa : 1

09.10.2018
Teklif No : 18-D958 Rev0
1/1

Sn. Ferhat Bey,

İstedığınız kuru soğutucular için birim fiyatımız aşağıda bilgimize sunulmuştur.

<u>Ürün Adı</u>	<u>Birim Fiyat (Euro/adet)</u>
KURU SOĞUTUCU BC/BD-2X180HB1-B01	1853,00.-
KURU SOĞUTUCU BC/BD-2X180HC1-B01	1980,00.-

Notlar :

- Ürünlere ait data sheetler ekte bilgimize sunulmuştur.
- Ürün fiyatına pano, pompalama ve otomasyon bedelleri dahil değildir.
- Ürün fiyatına KDV bedeli dahil değildir.
- Ürün fiyatına nakliye bedeli dahil değildir.
- Ürün fiyatına fan ve pako şalter bedelleri dahildir.

Ödeme : Siparişte peşin
Teslim Yeri : Karyer – Manisa / Akhisar Fabrikamız.
Teslim Süresi : Siparişinize müteakip 4 hafta.

Saygılarımızla,

Gamze Müldür
Satış Mühendisi
Karyer Group
Tel: +90.212.567.55.09 ext. 131

***Not: Elektronik ortamda oluşturulmuş olup, gönderen kişinin imzası olmadan geçerlidir.

Şekil F.5. Kuru soğutucuların fiyat teklifi.



Şekil G.1. Atık ısı kazanı firma katalog – 1.

ATIK ISI KAZANLARI / WASTE HEAT RECOVERY BOILERS



UYGULAMA ALANLARI

- Kojenerasyon Tesisleri
- Fırın Bacaları
- Gemi Bacaları
- Çimento Tesisleri
- Çelik Üretimi
- Petrokimya Tesisleri
- Biyogaz Tesisleri

APPLICATION FIELDS

- Cogeneration and Trigeneration
- Oven Stacks
- Marine Engine Stacks
- Cement Mills
- Steel Industry
- Petrochemical Industry
- Biogas Plants

- Sıcak Su, Buhar, Kızgın Buhar, Kızgın Yağ ve Sıcak Hava Üretimi İçin Atık Isı Kazanları
- Duman Borulu ve Su Borulu Konstrüksiyonlar
- Atık Enerji ve Saha Koşullarına Göre Özel Tasarımlar
- İlave yanma ile Yüksek Verimli Isı Üretimi
- Hem Atık Gazlarla Hem de Brülör Takviyesi ile Çalışan Kombine Sistemler
- Konteyner İçerisinde Paket Kojenerasyon Sistemleri
- Waste Heat Boilers for Hot Water, Steam, Superheated Steam, Thermal Oil and Hot Air Production
- Smoketube and Watertube Constructions
- Custom Designed Solutions According to Waste Heat and Site Conditions
- High Efficient Heat Production with Supplementary Firing
- Combined Systems Operating with Exhaust Gases and Register Burner
- Packaged Cogeneration Systems in Container



Şekil G.2. Atık ısı kazanı firma katalog – 2.

ATIK ISI KAZANLARI / WASTE HEAT RECOVERY BOILERS

Atık Isı ile Neler Üretilir?

- ORC çevirimi ile Elektrik Üretimi
- Proses Buharı
- Sıcak Su
- Kızgın Yağ
- Sıcak Hava
- Absorbsiyon Çiller ile soğutma

What Is Produced With Waste Heat?

- Electric With Orc Cycle
- Proses Steam
- Hot Water
- Thermal Oil
- Hot Air
- Cooling With Absorbtion

Dizayn ve İmalat

- Katı / Sıvı / Gaz ve Biyogaz yakıtlarına uygun dizayn
- Yüksek verim, düşük ısı kayıpları
- Isı transferi ve duman gazı basınç düşümüne göre optimum tasarım
- Tek ve çok geçişli dizayn
- Doğal ve cebri sirkülasyon
- Kızgın buhar üretimi için kızdırıcı ilavesi
- Tahribatsız muayene (NDT) ve hidrostatik testler

Desing and Fabrication

- Solid / liquid / gas and biogas fuel options
- High efficiency, low thermal losses
- Perfect design for optimal heat transfer and flue gas pressure drop
- Single and Multi Pass Design
- Natural or Forced Circulation
- Superheated Steam Production Possible
- NDT controls and hydrostatic testings

Malzeme

Kazan gövde, drum ve aynaları:

EN 10028 / 2 P265 GH, P295 GH, P355 GH Kazan çeliği

Duman ve su boruları:

EN 10216 / 2 P235 GH Dikişsiz kazan borusu

İzolasyon

100 mm kaya yünü üzeri AISI430 paslanmaz veya alüminyum

Material

Body shell, drum and tube plates:

EN 10028 / 2 P265 GH, P295 GH, P355 GH Boiler steel

Smoketubes and watertubes:

EN 10216 / 2 P235 GH Seamless boiler tube

Insulation:

100 mm rockwool covered by AISI430 or aluminium plate



Şekil G.3. Atık ısı kazanı firma katalog – 3.



Şekil H.1. Baca firma katalog – 1.

ENDÜSTRİYEL BACALAR / INDUSTRIAL STACK



- KATI, SIVI VE GAZ YAKITLARA UYGUN ENDÜSTRİYEL BACALAR
- TS EN 13084 STANDARDINA UYGUN TASARIM VE ÜRETİM
- ATIK GAZ VE SAHA KOŞULLARINA GÖRE TASARIM VE MALZEME SEÇİMİ
- MODÜLER TASARIM İLE MONTAJ KOLAYLIĞI
- GENİŞ YAKIT, SICAKLIK VE ÖLÇÜ ARALIĞINDA ÜRETİM
- INDUSTRIAL STACKS SUITABLE FOR SOLID, LIQUID AND GASEOUS FUELS
- DESIGN AND MANUFACTURING IN ACCORDANCE WITH TS EN 13084
- CUSTOM DESIGNED SOLUTIONS FOR SPECIAL SITE AND FLUE CONDITIONS
- EASY ERECTION THANKS TO MODULAR DESIGN
- WIDE PRODUCTION RANGE IN ACCORDANCE WITH FUEL, TEMPERATURE AND DIMENSION

Uygulama Alanları

- Kojenerasyon ve Trijenerasyon Tesisleri
- Kazanlar (Isı santralleri)
- Fırın Bacaları
- Çimento Tesisleri
- Çelik Üretimi
- Petrokimya Tesisleri
- Biyogaz Tesisleri

Application Fields

- Cogeneration and Trigeneration
- Boiler Stacks
- Furnace Stacks
- Cement Mills
- Steel Industry
- Petrochemical Industry
- Biogas Plants



Şekil H.2. Baca firma katalog – 2.

ENDÜSTRİYEL BACALAR / INDUSTRIAL STACK

Dizayn ve İmalat

- Katı / Sıvı / Gaz ve Biyogaz yakıtlarına uygun dizayn
- Standartta uygun kesit hesapları
- Isı kaybı ve duman gazı basınç düşümüne göre optimum tasarım
- Modüler dizayn
- 800 oC sıcaklığa kadar uygulama
- Entegre susturucu ile düşük ses seviyesi sağlayabilme
- Paslanmaz iç cidar ile yüksek korozyon dayanımı

Desing and Fabrication

- Solid / liquid / gas and biogas fuel options
- Calculations in accordance with Standards
- Perfect design for low heat loss and flue gas pressure drop
- Modular Design
- Exhaust temperatures up to 800 oC
- Low sound emission with integrated silencer possible
- High-corrosion strength with stainless steel liner

Malzeme

İç Cidar : 1.404 veya 1.4301 paslanmaz çelik
Taşıyıcı Dış Cidar (Gerekliyse) : EN 10025 – S 235 JRG2
Karbon çeliği
İzolasyon : Kaya yünü veya cam yünü
Dış Kaplama : AISI 430 paslanmaz veya alüminyum sac

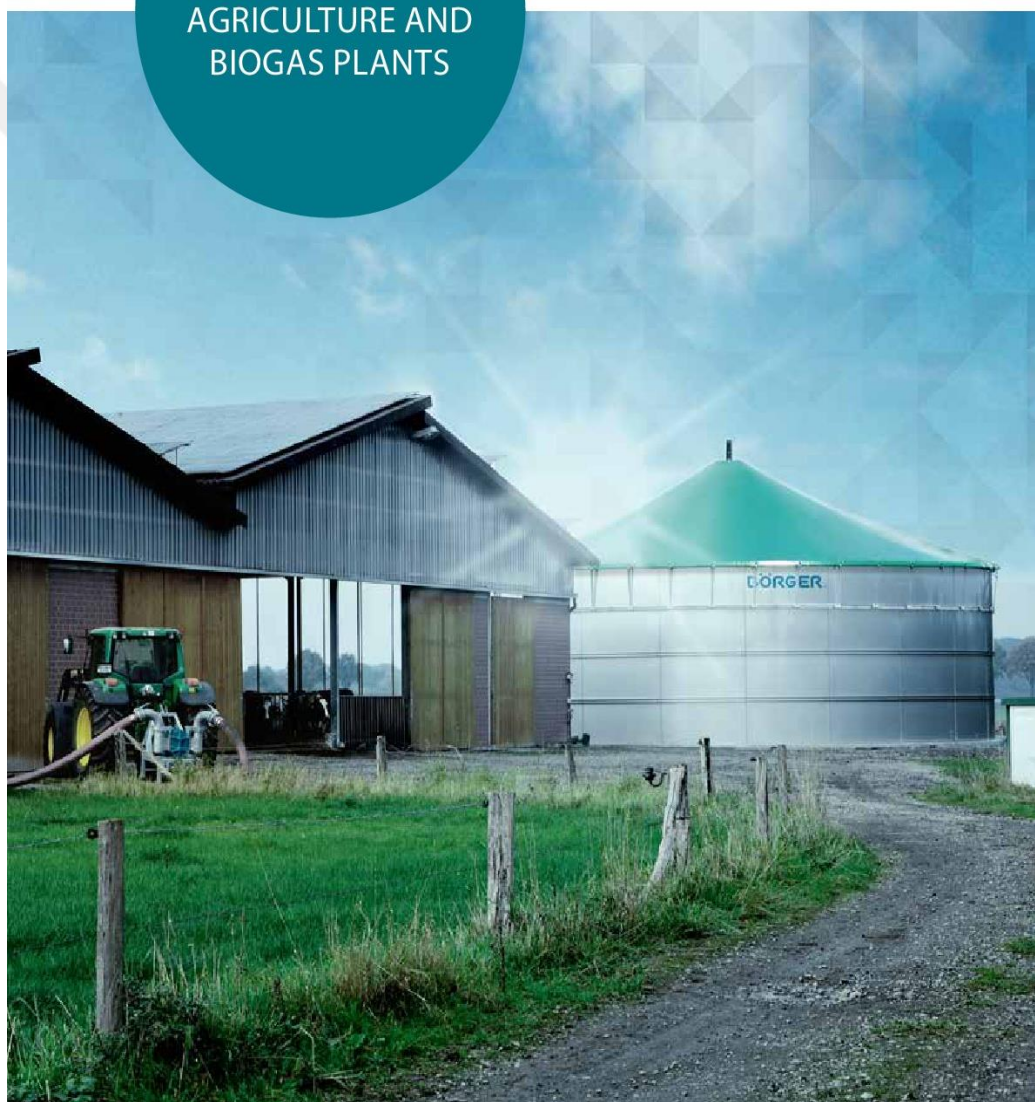
Material

Inner Shell : 1.404 or 1.4301 Stainless steel
Outer Shell (If applied) : EN 10025 – S 235 JRG2
Mild steel
Insulation : Rockwool or glasswool
Outer Casing : AISI430 Stainless steel or aluminium plate



Şekil H.3. Baca firma katalog – 3.

TECHNOLOGY FOR
AGRICULTURE AND
BIOGAS PLANTS

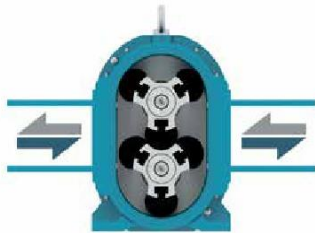


Şekil I.1. Pompa firma katalog – 1.

BÖRGER ROTARY LOBE PUMPS

ROBUST, RELIABLE AND CUSTOMIZED

Börger rotary lobe pumps have made our company well-known worldwide. The solids handling pumps are powerful, reliable and efficient. Börger pumps convey dirty, sludgy and abrasive media without problems.



OPERATING PRINCIPLE

Börger rotary lobe pumps are self-priming, valveless, positive displacement pumps. The synchronized rotation of the rotor pair creates a vacuum on the priming side of the pump. This vacuum draws the liquid into the pump chamber. The medium is pumped into the pressure area due to the rotation of the rotors. If the direction of rotation is changed, the flow is reversed.

CONSTRUCTION

- 1 **The quick-release cover**
Access to all wetted parts by simply loosening four ring nuts.
- 2 **The rotors**
Large selection of high-quality rotors for almost pulsation-free pumping of the medium.
- 3 **The casing protection**
The casing liners and casing protection plates protect the pump casing from wear and can be replaced in a matter of minutes.
- 4 **The intermediate chamber and shaft seal**
The large-volume quench chamber is oil-filled and ensures the highest degree of safety. The ideal mechanical seal is selected depending on the medium.
- 5 **The carrier and timing gear**
The high-quality and maintenance-free carrier and timing gear guarantees a smooth and even operation of the rotors. The result is a long service life of the pump.



Şekil I.2. Pompa firma katalog – 2.

MAINTENANCE IN PLACE (MIP)

SIMPLE. EASE OF MAINTENANCE.



Börger products are designed for trouble-free, continuous operation and incorporate unbeatable ease of maintenance features. All components are extremely resilient and durable. Instead of expensive maintenance contracts, Börger offers MIP (Maintenance in Place). Control maintenance and repair procedures yourself. Product wetted parts can be replaced at the installation site without the need to remove piping and the drive system. Easily and quickly.



ROTOR AND CASING PROTECTION

Just the removable lobe tips of the patented rotor "Unique" have to be replaced in case of wear. Our Premium profile rotor has been especially designed for the biogas sector and offers long service life in case of pumped media containing fibers.

The casing liners and casing protection plates protect the pump casing and can be replaced through the quick-release cover in case of wear just as the single-acting mechanical seal. This way, the pump is like in a new condition within a few minutes.



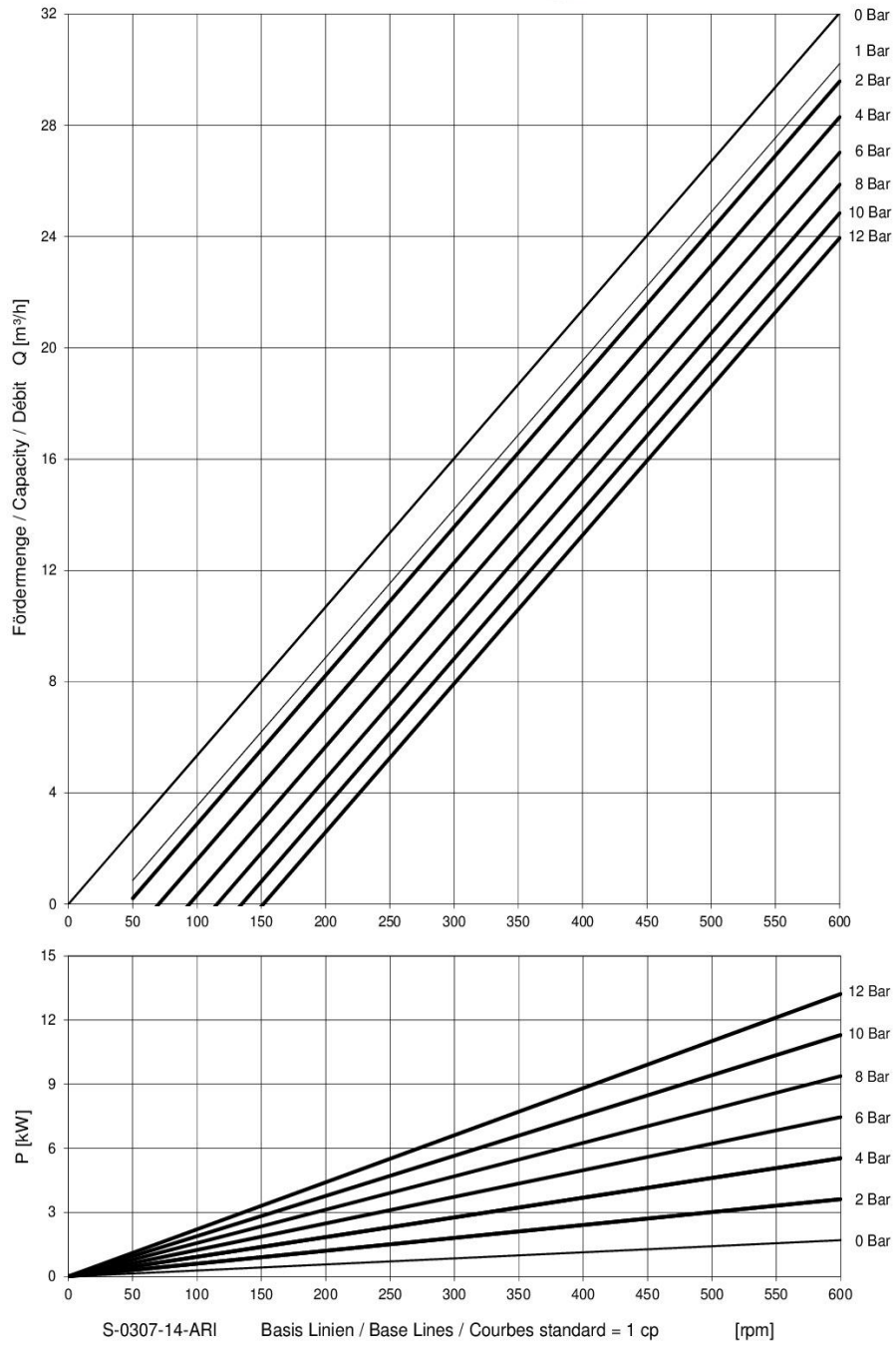
SEVERAL PUMP SIZES

With the wide spectrum of eight series with 25 pump sizes (flow rates of 1 – 25,000 l/min), a large selection of equipment and additional parts, Börger is able to build rotary lobe pumps which are perfectly suited to every single application.

Börger rotary lobe pump overview

Series	Flow rate in l/min		Max. pressure in bar
	Min.	Max.	
BLUEline AL	13	500	12
ONIXline BJ	45	1,100	16
BLUEline PL	45	2,170	12
ONIXline BL	95	2,200	16
BLUEline CL	130	2,170	12
BLUEline FL	285	6,800	12
BLUEline EL	515	18,000	10
BLUEline XL	880	25,000	10

Şekil I.3. Pompa firma katalog – 3.



gedruckt am / printed in / imprimé de: 27.06.2016

Şekil I.4. Pompa firma katalog – 4.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı : Ferhat AKKUŞ

Doğum Tarihi ve Yeri: 10.03.1993 - Kırşehir

E-posta adresi : ferhatakkus_40@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Sakarya Üniversitesi - Makine Mühendisliği Bölümü – 2016

MESLEKİ DENEYİMLERİ

TSE Kırşehir İl Temsilciliği Asansör Muayene Uzmanı (2017-2018)