



T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KOJENERASYON SİSTEMLERİ VE BİR İŞLETMENİN
İHTİYACINI KARŞILAYACAK KOJENERASYON
SİSTEMİNİN TEKNİK VE EKONOMİK
UYGULANABİLİRLİĞİ**

M. ÜMİT ÇALIŞICI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANTAKYA

TEMMUZ 2005

Mustafa Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Yrd. Doç. Dr. Yıldız KOÇ danışmanlığında, M.Ümit ÇALIŞICI tarafından hazırlanan bu çalışma 22/07/2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :Yrd. Doç. Dr. Yıldız KOÇ

İmza :

Üye : Prof. Dr. Ertuğrul BALTACIOĞLU

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa ORAL

İmza :

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Kod No:

İmza

22/072005

Prof. Dr. Abdurrahman YİĞİT

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

KOJENERASYON SİSTEMLERİ VE BİR İŞLETMENİN İHTİYACINI KARŞILAYACAK KOJENERASYON SİSTEMİNİN TEKNİK VE EKONOMİK UYGULANABİLİRLİĞİ

Gelecekte insanları büyük bir enerji sorunu beklemektedir. Kojenerasyon sistemleri bu problem için çok önemli bir çözümdür. Bu çalışmada kojenerasyon sistemleri ve kojenerasyon sistemlerinin avantajları detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

Basit bir tanıma göre kojenerasyon, elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretilmesi anlamına gelir. Bu sistemlerin iki farklı uygulaması mevcuttur.

Bunların ilki gaz türbinli kojenerasyon sistemleridir. Eğer ısı enerjisine elektrik enerjisinden daha fazla ihtiyaç duyuluyorsa bu sistemler kullanılır. Bu tip sistemler 4,5-20 MW arasında çalışırlar.

İkinci uygulama gaz motoru kojenerasyon sistemleridir. Bu sistemler 100 kW-3 MW'lık güç aralığında çalışırlar ve elektrik enerjisine daha fazla ihtiyaç duyulduğu zaman bu sistemler seçilirler.

Her iki uygulamanın da bazı farklı avantajları vardır. Bu nedenle sistem seçimi dikkatli bir şekilde yapılmalı ve seçimi etkileyen faktörlerin tümü detaylı bir şekilde incelenmelidir.

Kojenerasyon sistemleri, geleneksel sistemlerden (elektrik ve ısı enerjisinin ayrı yerlerde üretildiği sistemler) daha verimlidirler. Kojenerasyon sistemlerinin verimliliği %80-90 civarındadır. Diğer yandan gelişmiş termik santrallerin bile verimliliği sadece %55'tir.

2005, 109 Sayfa

Anahtar Kelimeler : Kojenerasyon Sistemleri; gaz türbini ve gaz motoru uygulamaları

ABSTRACT

COGENERATION SYSTEMS AND TECHNICAL AND ECONOMICAL APPLICATION OF A COGENERATION SYSTEM IN AN INDUSTRIAL APPLICATION

A big energy problem is waiting people in the future. Cogeneration systems is a very important solution for this problem. In this work cogeneration systems and their advantages will be explained detailedly.

According to a simple description cogeneration means electric and heat energies are produced together. These systems have two different applications.

First of these is cogeneration systems with gas turbine. If people needs the heat energy much than electric energy these systems are used. These work between 4,5-20 MW.

Second application is cogeneration systems with gas motor. These systems work between 100 kW-3 MW and when the electric energy was needed much than these systems are chosen.

Both of application have some different advantages. So selection of system must be done carefully and all of factors effected selection must be examined in detail.

Cogeneration sytems are much productive than classical systems (Electric and heat energies are produced in different place in these systems). Cogeneration systems' productivity are about %80-90. On the other hand new termic central's productivity is only %55.

2005, 109 Pages

Key Words : Cogeneration systems; application of gas türbine and gas motor

ÖNSÖZ

Kojenerasyon santralleri geleceğin enerji üretim sistemleri olarak görülen ancak henüz enerji sektöründe yeni yeni tanınan sistemlerdir. Bu sistemler sağladıkları yüksek verimli ve temiz enerji ile hem ülkemizin hem de tüm dünyanın gelecekteki enerji politikasını belirlemesinde etkin rol oynayacaktır. Ancak bu tür sistemlerin yapımının ve kullanımının teşvik edilmesi gerekmektedir. Bu konuda bu güne kadar birçok olumlu adım atılmıştır ama hala katedilecek uzun bir mesafe vardır.

Kojenerasyon sistemlerinin geniş bir tanıtımının yapıldığı ve sistemin ekonomik verimliliğinin ele alındığı bu çalışmada, sık sık kojenerasyon sistemleriyle geleneksel sistemler arasında karşılaştırmalar yapılmış ve kojenerasyon sistemlerinin üstünlükleri tüm yönleriyle ortaya konmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmanın her aşamasında yardımlarını ve değerli görüşlerini benden esirgemeyen danışman hocam, Sayın **Yrd. Doç. Dr. Yıldız Koç**'a (Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü) ve Sayın **Yrd. Doç. Dr. Ali Koç**'a (Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü) teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışmanın özellikle araştırma safhasında yardımlarını esirgemeyen Hasan Yağcı'ya, Salih Aslan'a, Hamit Öztürkmen'e ve Beşule Köçe'ye de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1.GİRİŞ	1
1.1. Kojenerasyon Nedir.....	2
1.2. Kojenerasyon Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi.....	7
1.3. Kojenerasyon Sistemlerinin Tanıtımı.....	8
1.4. Kojenerasyon Sistemleri Hangi Modüllerden Oluşur.....	14
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	16
3.MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1.Yöntem.....	19
3.1.1. Kojenerasyon Sistemleri Nasıl Çalışır.....	19
3.1.2.Kojenerasyon Sistemlerinin Kurulabildiği Yerler.....	20
3.1.3.Kojenerasyon Sistem Teknikleri.....	22
3.1.3.a. Gaz Türbinli Kojenerasyon Tekniği.....	25
3.1.3.b. Gaz Motorlu Kojenerasyon Tekniği.....	30
3.1.3.c.Gaz Motoru Ve Gaz Türbini Uygulamaları Arasındaki Farklılıklar.....	33
a) Kapasite Aralıkları.....	33
b) Toplam Verim.....	34
c) Ekonomik Ömür.....	34
d) Elektrik Isı Oranları.....	34
3.1.4. Kojenerasyon Sistem ve Kapasite Seçimi.....	37
3.1.4.a. Yakıt.....	38
3.1.4.b. Elektrik Isı Oranı.....	39
3.1.4.c. Yük Eğrisi.....	39
3.1.4.d. Start Sayısı.....	40
3.1.4.e. Ortam Sıcaklığı.....	40
3.1.4.f. Toplam Sistem Kapasitesi.....	40
3.1.4.g. Elektriğin Kalitesi.....	40
3.1.5. Kojenerasyon Uygulama Şekilleri.....	46
3.1.5.a.Back Pressure Tipi Kojenerasyon Santrali.....	46
3.1.5.b. Motorlu Tip Kojenerasyon Santralleri.....	46
3.2.Materyal.....	50
3.2.1.Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanılan Yakıtlar.....	50

3.2.1.a. Doğalgaz.....	53
3.2.1.b. LPG (Likid Petrol Gaz).....	59
3.2.1.c. Propan.....	61
3.2.1.d. Dizel (Motorin).....	63
3.2.1.e. Nafta.....	63
3.2.1.f. Biyogaz.....	64
3.2.1.g. Odun Gazı.....	67
3.2.1.h. Fuel Oil No:4.....	70
3.2.1.i. Fuel Oil No:6.....	70
3.2.2. Kojenerasyon Santrallerinde Suyun Önemi.....	72
3.2.3. Kojenerasyon Sistemlerinde Atık Isının Kullanım Çeşitleri.....	75
4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	77
4.1.Kojenerasyon Sistemlerinin Klasik Sistemlerle Karşılaştırılması.....	77
4.2 Kojenerasyon Tekniklerinde Kullanılan Çevrimlerin Karşılaştırılması.....	82
4.3. Kojenerasyon Sistemleri Ve Bölgesel Isıtma.....	85
4.3.1. Bölge Isıtması.....	86
4.4. Kojenerasyon Sistemlerinin Ekonomik Uygulanabilirliği	87
4.5. Kojenerasyon Sistemlerinin Gerekliliği.....	91
4.6. Otoprodüktörlük Nedir.....	93
4.7. Yirmibirinci Yüzyılda Kojenerasyonun Yeri.....	96
4.8. Kojenerasyon Ve Türkiye.....	98
4.8.1. Kojenerasyon Sistemlerinin Ülkemize Sağladığı Faydalar.....	101
4.9. Trijenerasyon Sistemleri.....	102
5. SONUÇ	104
KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ	109

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1:Kojenerasyon Şeması	2
Şekil 1.2:Kojenerasyon Akış Şeması	5
Şekil 1.3:Kojenerasyon Şeması	6
Şekil 1.4: Kojenerasyon ve Diğer Üretim Sistemleri Arasındaki Isıl Bilanço.....	8
Şekil 1.5: Basit Bir Proses Isı Santrali.....	10
Şekil 1.6: Kojenerasyon ve konvansiyonel sistemlerle enerji üretimlerinin Sankey diyagramı karşılaştırılması.....	11
Şekil 1.7: Isı makinesi.....	12
Şekil 1.8: Kojenerasyon modülleri.....	15
Şekil 3.1: Kojenerasyon Sistemlerini Çalışma Şeması.....	20
Şekil 3.2: Gaz Türbini.....	23
Şekil 3.3: Gaz Motoru ya da Dizel Motor	23
Şekil 3.4: Soğutma Devreleri.....	24
Şekil 3.5: Gaz türbinli basit çevrim kojenerasyon tesisi prensip şeması.....	25
Şekil 3.6: Gaz ve buhar türbininden oluşan kombine çevrim kojenerasyon tesisi prensip şeması.....	26
Şekil 3.7: Gaz türbinli basit çevrimli kojenerasyon sisteminde enerji Dağılımı.....	27
Şekil 3.8: Gaz türbinli, kombine çevrimli kojenerasyon sisteminde enerji Dağılımı.....	27
Şekil 3.9: Yüksek Basınç Türbini.....	29
Şekil 3.10 : Gaz motorundaki enerji dağılımı grafiği.....	30
Şekil 3.11: Gaz motorlu kojenerasyon sistemi prensip şeması.....	31
Şekil 3.12: Tipik Yıllık Yük Eğrisi.....	37
Şekil 3.13: Bir motor santralına ait prensip şeması.....	43
Şekil 3.14: Bir Santralin Yıllık Elektrik İhtiyaç Eğrisi.....	44
Sekil 3.15 : Bir Santralin Günlük Üretim ve Tüketim Eğrisi.....	45
Şekil 3.16 : Back Pressure Tipi Kojenerasyon Santrali.....	47
Şekil 3.17 : Motorlu Tip Kojenerasyon Santralleri.....	48
Şekil 3.18 : Çeşitli Kojenerasyon Uygulamaları.....	49
Şekil 3.19 : Çeşitli birincil yakıtların ısıl değerleri.....	51
Şekil 3.20 : Odun gazı üreten aygıt şeması.....	69
Şekil 3.21 : Odun gazı ile çalışan bir kamyonet.....	69
Şekil 4.1 : Kojenerasyon Sistemleri İle Klasik Sistemlerin Enerji Kaybı Yönünden Karşılaştırılması.....	78
Şekil 4.2 : Klasik sistemlerde verim şeması.....	80
Şekil 4.3 : Kojenerasyon sistemlerinde verim şeması.....	80
Şekil 4.4 : Geleneksel Yöntemlerde Verim ve Kayıp Enerji.....	81
Şekil 4.5 : Kojenerasyon Santralındaki Verim Ve Kayıplar.....	81

Şekil 4.6 : Karşı basınçlı buhar türbini çevrimi.....	82
Şekil 4.7 : Ara buhar almalı yoğuşturuculu buhar türbini çevrimi.....	83
Şekil 4.8 : Gaz türbinli bileşik ısı-güç sistemi.....	84
Şekil 4.9 : Diesel motorlu bileşik ısı-güç sistemi.....	85
Şekil 4.10 : 1991-2003 Birim Yakıt Fiyat Değişimleri.....	89
Şekil 4.11 : Yük-Süre Eğrisi.....	90
Şekil 4.12 : Otoprodüktör Kombine çevrim- Kojenerasyon Kurulu Gücünün Gelişim Trendi.....	101
Şekil 4.13 : Trijenerasyon Akış Şeması.....	102
Şekil 5.1 : Bir Kojenerasyon Santralı Görüntüsü.....	105
Şekil 5.2 : Isı Geri Dönüşüm Ünitesi.....	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 : Doğalgazın bileşenleri.....	54
Çizelge 3.2 : Dünyadaki doğalgaz rezervleri.....	56
Çizelge 3.3 : Propanın Özellikleri.....	61
Çizelge 3.4 : Bazı Yakıtlar ve Bu Yakıtların Çeşitli Değerleri.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	=	Amortisman Faktörü
C	=	Bileşik Isı-Güç Santralının Yatırım Bedeli
CHP	=	Birleşik Isı-Güç Üretim Sistemleri
E	=	Santralin Elektrik Üretim Gücü
EYO	=	Enerjiden Yararlanma Oranı
EIO	=	Elektrik-Isı Oranı
f_e	=	Elektriğin Fiyatı
f_q	=	Isının Fiyatı
f_y	=	Yakıt Fiyatı
Qç	=	Yoğuşturcudan Çevreye Aktarılan Isı Enerjisi
Q_g	=	Konvansiyonel Sistemlerde Çevreye Aktarılan Isı Enerjisi
Q_H	=	Isı Makinesinden Alınan Isı Enerjisi
Q_L	=	Konvansiyonel Sistemlerde Çevreye Aktarılan Isı Enerjisi
s	=	Santralin Yıllık Çalışma Süresi
W	=	Bir Isı Makinesinde Üretilen İş
TEP	=	Ton Eşdeğeri Petrol
η	=	Isıl Verim

1. GİRİŞ

Teknolojik açıdan gelişmemiş ülkeler henüz kendi yapılarına uygun enerji politikalarını belirleyememişlerdir ve bu da bu ülkelerin en önemli dezavantajları olmaktadır. Bugün hala gelişmekte olan ülkemiz de ne yazık ki sağlıklı bir enerji politikasına sahip değildir. Ülkemiz aynı zamanda kısıtlı enerji kaynaklarına sahip bir ülkedir. Bu nedenle son yıllarda enerjinin üretim ve kullanım aşamasında verimliliğin artırılması, kayıpların en az düzeyde tutulması daha fazla önem kazanmaya başlamıştır.

Kojenerasyon yani bileşik ısı-güç üretim sistemleri (CHP), en kısa anlamıyla enerjinin hem ısı hem de elektrik şeklinde birlikte üretildiği sistemleridir. Enerjinin bu yöntemle üretilmesi, ısı ve elektriğin ayrı ayrı farklı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik sonuçlar doğurmaktadır. Ayrıca enerji üretim işleminin, tüketimin olduğu merkezlerin yakınlarında gerçekleştirilmesi kullanılabilirlik ve ekonomik açılarından daha uygun olacaktır (İNALLI ve ark., 2002).

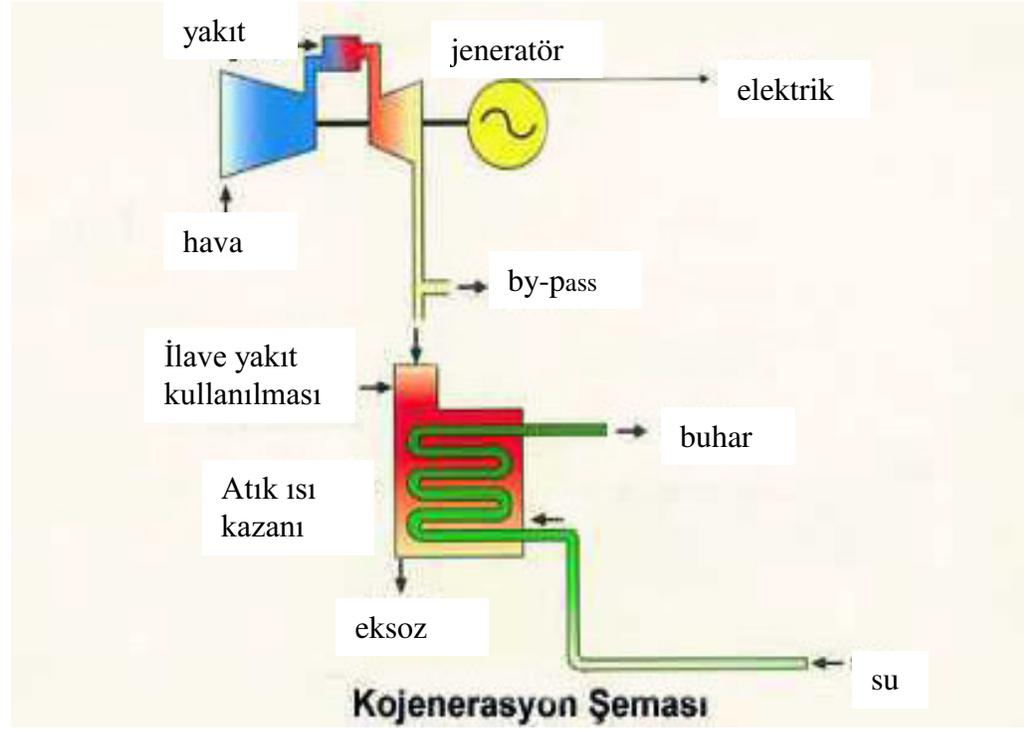
Kojenerasyon sistemleri gaz türbini kojenerasyon tekniği ve gaz motoru kojenerasyon tekniği olmak üzere iki şekilde uygulanır. Her iki tekniğin birbirine oranla bazı üstünlükleri vardır. Bu yüzden sistem seçimi sırasında tüm kriterler gözden geçirildikten sonra sistem seçimi yapılmalıdır.

Kojenerasyon sistemleri konvansiyel sistemlerle karşılaştırıldığında sistem verimi yaklaşık %30-35 daha yüksek olmaktadır. Elektrik ve ısının ayrı yerlerde üretildiği konvansiyel sistemlerde elektrik üretim verimi yaklaşık %35-40, ısı üretim verimi ise yaklaşık %80-90 olmaktadır. Bu rakamlarla toplam verim %50-55 civarında gerçekleşmektedir. Diğer taraftan kojenerasyon sistemlerinin verimleri %90'lara ulaşmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle kojenerasyon sistemlerinin tanıtımı geniş bir şekilde yapılacak sonrada sistemin teknik ve ekonomik açılarından olabilirliği üzerinde durulacaktır. Sistemde kullanılan yakıtlar, çevrim türleri, kojenerasyon teknikleri vs. konular geniş bir şekilde ele alınacaktır.

1.1. Kojenerasyon Nedir

Kojenerasyon, aynı sistemden elektrik ve ısı enerjisini birlikte üretmek demektir. Kojenerasyon sistemleri aynı sistemde ısı ve elektriği üreterek, birincil enerji kaynaklarını %90'lara varabilen yüksek verimlerle, ikincil enerji kaynaklarına dönüştürmektedirler.



Şekil 1.1. Kojenerasyon Şeması

Primer yakıt rezervlerinin azaldığı ve global rekabetin arttığı günümüz ortamında enerji girdilerinde süreklilik, kalite ve asgari maliyetleri sağlamak, kaçınılmaz olmuştur. Bu anlamda kojenerasyon günümüz çağdaş "enerji yönetimi" teknikleri içinde ön sıralarda yer almaktadır (ANONİM, 2005k).

Dünya petrol rezervinin 2050, doğal gaz rezervinin 2070 ve kömür rezervinin de 2150 yılında tükenmiş olması beklenmektedir. Bu durum gözönüne alınarak alternatif enerji kaynakları üzerinde yapılan araştırmalar yoğunlaşmış ve bu kaynaklara dayanan projelerin

önemi artmıştır. Ayrıca insanlığın enerji israfından vazgeçmesi ve enerjiyi en yüksek verimle kullanabilecek teknolojik yenilikleri de gerçekleştirmek için özel çaba sarf etmesi gereklidir. Ülkemiz enerji kaynakları, teknoloji ve finansman açısından dışa bağımlı bir ülkedir. Bu durum enerji sektöründe uzun vadeli ve etkin planlamaların önemini arttırmaktadır.

Enerji uygulamalarında kojenerasyon, yani bileşik ısı-güç üretim sistemleriyle (CHP, Combined Heat and Power), elektrik üretirken kaybedilen çürük buharın yoğunlaşma ısısı değerlendirilerek enerji verimliliği artırılır. Kojenerasyon, oluşan çürük buharın değerlendirilmesiyle, konvansiyonel sisteme göre enerjiden daha fazla yararlanılmasına dayanır.

Elektrik üretimi sırasında oluşan çürük buhar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Tüketiciler enerjiye elektrik, buhar vs. şekillerde ihtiyaç duyabilirler. Bu nedenle tek bir sistemden ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri onlara birçok yarar sağlamaktadır. (ANONİM, 1998b)

Bileşik Isı ve Güç Üretimi tekniğinde ana kaynak; kullanılan gaz türbini veya gaz motorunun jeneratör gücü ile motor soğutma ısısı, yağlama yağı ve egsoz gazının ısısıdır.

Konvansiyonel yani klasik enerji üretim sistemleri (Termik santrallerde elektrik üretimi, kazanlarda ısı üretimi) çevreyi kirletmektedir. Ayrıca bu sistemlerde primer enerjinin yaklaşık %55-65'i atık ısı olarak ziyan olmaktadır. Bu dezavantajları göz önüne alındığında konvansiyonel sistemlerdeki enerji üretim maliyeti kojenerasyon sistemlerine oranla çok yüksek olmaktadır. Günümüzde ileri teknoloji kullanan termik santraller bu verimi %55'lere kadar çıkarmış ancak bu verim enerji iletim ve dağıtım sistemlerindeki kayıplar hesaba katılmadan hesaplanmıştır. Klasik şekilde elektrik üretimi yapıldığında enerjinin %5-10'u iletim ve dağıtım bölümlerinde kayba uğramaktadır. Üretimin yapıldığı yerden ihtiyaç duyulan yere kadar olan bu kayıplar son kullanıcıya kadar inildiğinde belirgin bir artış gösterir.

Buna karşılık bir kojenerasyon sisteminde elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan ısı, eşanjörler yardımıyla çeşitli ısı ihtiyaçları için (Sıcak su, buhar, absorpsiyonlu soğutma vb.) değerlendirilebilmektedir. Gaz ile çalışan CHP (Combined Heat and Power-Bileşik Isı

ve Güç) sistemlerinde elektrik ve ısının eş zamanlı üretilmesi ile %80-90 oranında verim elde edilebilmektedir. Kojenerasyon santralinde üretilen elektrik enerjisi yerel kullanım amaçlı olduğu için iletim ve dağıtım kayıpları göz ardı edilir ve santral veriminde %15-40 artış sağlanmış olur. Böylece primer enerjinin atılan kısmı minimize edilmektedir. Bu yüksek sistem verimi sayesinde kojenerasyon sistemi, ilk yatırım tesis giderini 1.5-3 sene gibi çok kısa bir sürede geri öder (ANONİM, 2005i).

Uzun mesafelerde elektriğin iletimi ısı enerjisinin iletimine göre daha ucuz ve efektiftir. Bu sebepten dolayı kojenerasyon santralleri ısı enerjisinin ihtiyaç duyulduğu bölgenin olabildiğince yakınında olmalı ve ihtiyacı karşılayabilecek boyutlarda kurulmalıdır. Bu koşul sağlanmadığı takdirde bir ara ısıtıcıya gerek duyulacaktır. Kojenerasyonun en önemli noktası bu sözü edilen konumlandırmasıdır.

Elektrik enerjisinin az üretilmesi sonucunda ihtiyacı karşılamak için ekstra bir alım gerekli olmaktadır. Proje ısı enerjisi ihtiyacını karşılamak için planlandığında normalde gerekenden daha çok elektrik üretilecektir ve bu fazla enerji dağıtım hattından başka tüketicilere sunulabilir (DOĞAN, 2003).

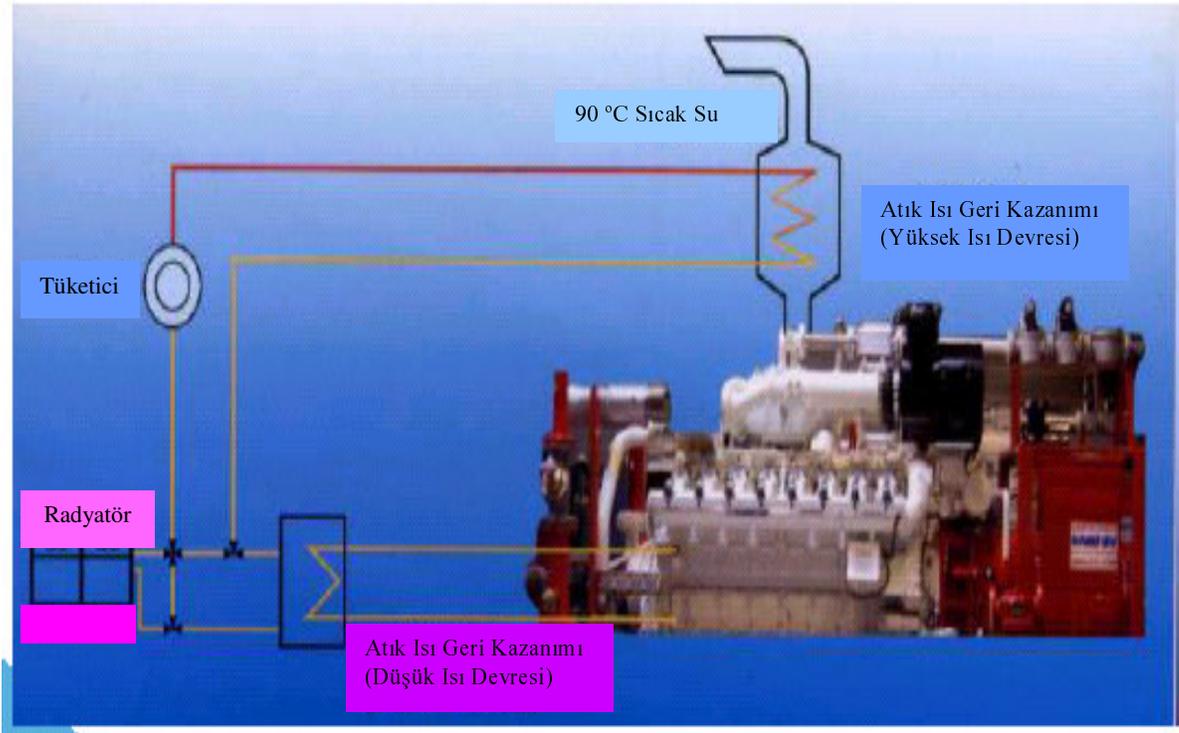
Günümüzde tüketim merkezlerine, enerji hatlarıyla enerjinin nakli yerine, tüketim merkezlerine yakın üreticilerin bir rekabet ortamı içinde (iki ya da üç üreticinin ürettiği enerji arzı ile), üretimlerini arz edecekleri bir piyasanın oluşturulması yoluna gidilmelidir. Kojenerasyon tesislerinin, tüketim merkezlerinin yakınında kurulmasıyla, yüksek randımanlı ve temiz enerji üretim teknolojisi ortaya çıkacaktır.

Kojenerasyon sistemleri, çok farklı proje uygulamaları ile tüm gelişmiş ülkelerin, elektrik enerjisi politikalarında önemli bir rol oynamaktadır. Kojenerasyon sisteminin önemi, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemiz elektrik enerjisi sektöründe de hızla anlaşılmakta ve her geçen gün sistemlerin sayısı artmaktadır. Kojenerasyon sistemleri ülkemizde, yaklaşık on sene içerisinde, 20. yüz yıl boyunca ülke genelinde ulaştığımız toplam kurulu üretim kapasitenin %14'üne ulaşmıştır.

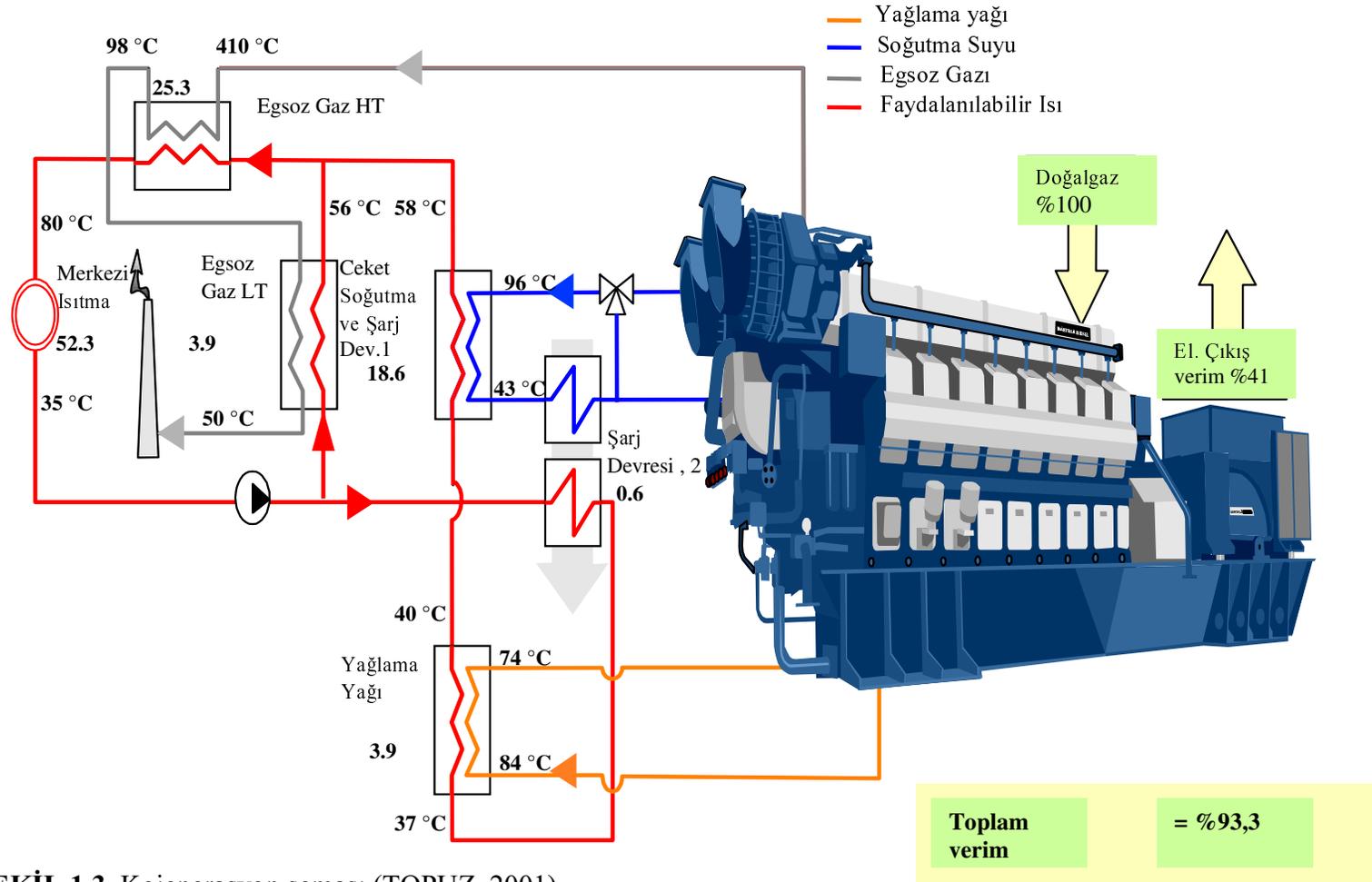
Hem sanayide, hem de konut ısıtmasında gerekli olan elektrik enerjisinin ve ısı enerjisinin aynı kaynaktan karşılanması ile yapılacak olan enerji tasarrufu çevre kirliliğini ve dışa bağımlılığımızı azaltırken, kaynaklarımızın hızlı tükenmesini de önleyecektir.

Kojenerasyon konusu, özellikle enerji sektörünün çok hassasiyetle üzerinde durmaları gereken bir konudur. Kojenerasyon sistemlerinin ekonomik ömürleri 100.000 - 150.000 saat mertebesinde. Bu da yaklaşık 12-20 yıla tekabül etmektedir . Enerjiyi akilci ve verimli kullanan kurum ve kuruluşlar daha fazla rekabet etme imkanına kavuşacaklardır (GÜLŞEN ve KOÇAK, 1998).

Kojenerasyon, dünyada yıllardır üzerinde çalışma yapılan ve uygulamaları olan bir konudur. Ülkemizde ise, özellikle son yıllarda bu konu, pratik ve teorik manada gelişmeye başlamıştır. Bu konuda çalışan firma sayısı artmıştır. Özellikle yeni yeni sanayileşme sürecine girmiş olan GAP bölgesinde, firmalarımızın bu konuda çalışmaları kendilerine açılım ve enerjiyi verimli kullanma fırsatı vermiş olacaktır (ANONİM, 2005e).



Şekil 1.2. Kojenerasyon akış şeması (ANONİM, 2005e)



ŞEKİL 1.3. Kojenerasyon şeması (TOPUZ, 2001)

1.2. Kojenerasyon Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

Elektrik üretimine yönelik olan ve ülkemizde de yaygınlaştırılarak kullanılmak istenilen bu yeni teknoloji, ısı ve elektriği birlikte üretecek bileşik ısı - güç sistemleri (CHP) yani kojenerasyon teknolojisidir. Bu teknolojinin, ilk basit örnekleri 20. yüzyılın ilk yarısında görülmüştür. Ancak ucuz yakıt döneminde terk edilmiştir. 1973-1979 petrol krizlerinin ardından geliştirilerek yeniden uygulanmaya konulmuştur.

Kojenerasyon, 20. yüzyılın başlarından itibaren, güç santrallerinin yerleşim birimlerinde kurulması ve bölge ısıtması yapılmasıyla başlamıştır. Bölge ısıtması konutların ve işyerlerinin ısıtma, sıcak su ve proses ısılarının bir veya birkaç merkezden sağlanmasıdır. Bölge ısıtması, 1940' lı yıllarda yakıt fiyatlarının düşmesiyle çekiciliğini yitirmiştir. Ama 1970' li yıllarda yakıt fiyatlarının hızla yükselmesiyle bölge ısıtmasına ilgi dünya çapında yeniden uyanmıştır. Kojenerasyon ekonomik açıdan kazançlı olmuştur. Bunun sonucu olarak son yıllarda bu tür santrallerin kurulması hızlanmıştır (DERBENTLİ, 1999).

Kojenerasyon, merkezi ısıtma uygulamalarının yaygın olarak kullanıldığı ülkelerde daha erken gelişme ve kullanılma olanağı bulmuştur. Çünkü ABD' de binalar çok yüksek olduğundan sıcak su ile ısıtma yapılamamakta, bunun yerine alçak basınçlı buhar kullanılarak ısıtma yapılmaktadır. Bu yüzden merkezle kullanma yeri arasında yüksek basınçlı buhar tercih edilmiştir. Bu sistemin kullanılmasının bir sebebi ise yaz aylarında büyük klima tesisleri için buhara olan ihtiyaçtır. Bu nedenle bileşik ısı - güç üreten merkezlerin yıllık verimi yüksek olmaktadır. Bu yüzyılın sonuna kadar ABD' de elektriğin % 15'inin bileşik- kojenerasyon tesislerinden sağlanması beklenmektedir.

İngiltere'de 1945 yılından itibaren gelişen bölge ısıtması özellikle son 25 yıllık dönem içinde kojenerasyon sistemlerinin gelişmesi ile oldukça hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır.

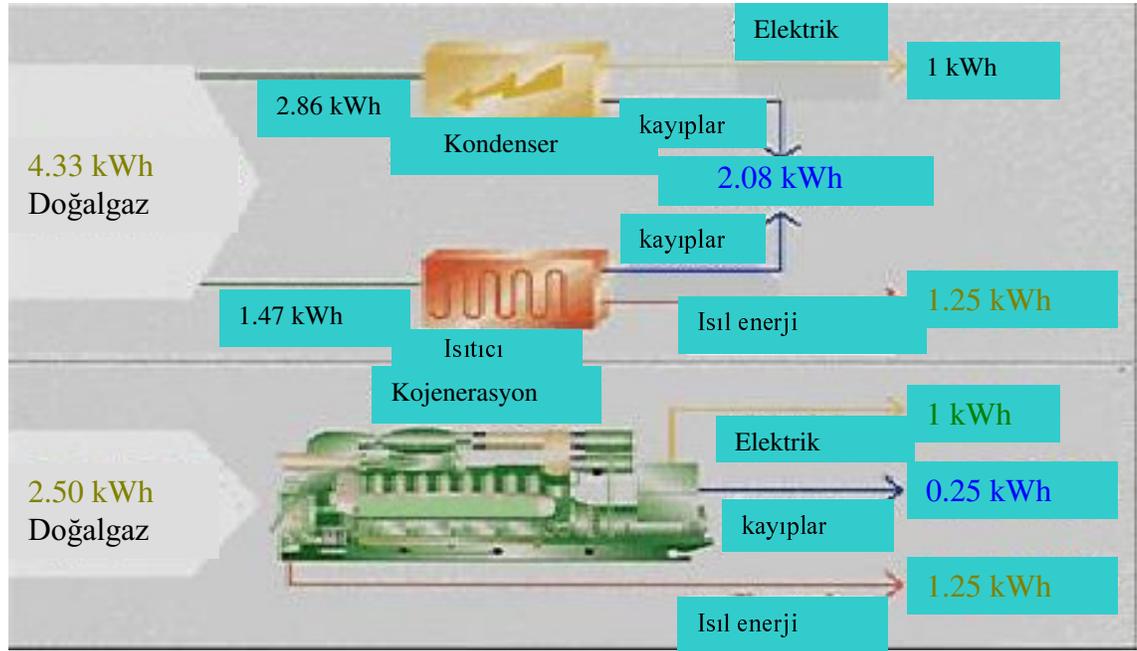
Fransa'da bölge ısıtması ile ilgili ilk büyük tesis Paris'te yapılmıştır ve buharlı olan bu sistem devamlı olarak gelişmekte olup, hem bileşik ısı-güç üreten merkezlerden hem de yalnız buhar üreten çöp yakma merkezleri tarafından beslenmektedir.

Almanya’da ise bölge ısıtma uygulamalarında 1930’lardan sonra kaynar suya ve özellikle bileşik ısı - güç üretimine geçilmiştir. Merkezde ayrıca çöp yakan büyük kapasitedeki buhar kazanları da bulunduğundan işletme rantabilitesi yüksek olmaktadır.

İskandinav ülkeleri bu tesisler açısından en önde gelmektedirler. Danimarka, İsveç, Finlandiya ve Norveç’te toplam binaların % 30-80’ i bu sistemle ısıtılmakta olup ısıtma merkezleri birleşik ısı - güç üretimi şeklinde düzenlenmiştir (NARTER ve ÖZTÜRK, 1996).

1.3. Kojenerasyon Sistemlerinin Tanıtımı

Kojenerasyon kısaca, enerjinin hem elektrik hem de ısı biçimlerinde aynı sistemden beraberce üretilmesi veya tüm ısı makinelerinin çevreye vermek zorunda oldukları atık ısıdan yararlanmak olarak tarif edilir.



Şekil 1.4. Kojenerasyon ve Diğer Üretim Sistemleri Arasındaki Isıl Bilanço (GÜLŞEN ve KOÇAK, 1998)

Bu birliktelik, iki enerji biçiminin kendi başlarına ayrı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik sonuçlar vermektedir. Basit çevrimde çalışan, yani sadece elektrik üreten bir gaz türbini ya da motoru kullandığı enerjinin % 30-40 kadarını elektriğe çevirebilir. Bu sistemin kojenerasyon şeklinde kullanılması halinde sistemden dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin büyük bir bölümü de kullanılabilir enerjiye dönüştürülerek toplam enerji girişinin % 70-90 arasında değerlendirilmesi sağlanabilir. Bu tekniğe 'bileşik ısı-güç sistemleri' (CHP) ya da kısaca 'kojenerasyon' denilmektedir. Her iki enerji biçiminin ayrı ayrı aynı miktarlarda üretilmesi için gerekli birincil enerji miktarının, bunların kojenerasyonla üretilmesi durumunda ne oranda azalacağı Şekil 1.4'de görülmektedir.

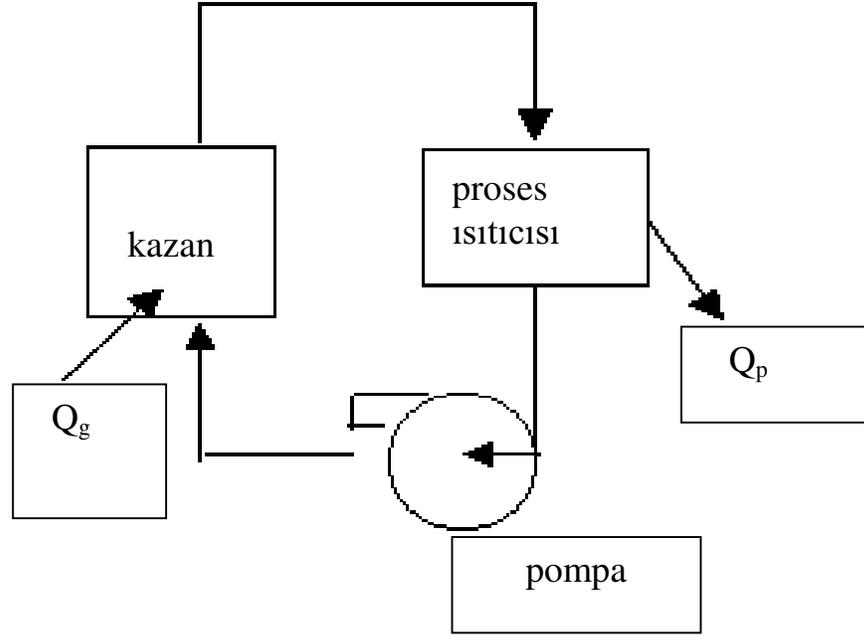
Şekil 1.4'e göre kojenerasyon tekniği ile kullanılan birincil enerjiden tasarruf %42 seviyesinde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla kojenerasyon sisteminin çevreye en önemli katkılarından biri de burada ortaya çıkmakta, büyük enerji tasarrufu yanında atık emisyonları da aynı oranda azalmaktadır. Ülkemizde henüz üzerinde çok durulmayan bu husus, sistemin özellikle Avrupa ülkelerinde yaygın teşvik görmesinin ana sebeplerinden biridir (GÜLŞEN ve KOÇAK, 1998).

Buharlı güç çevrimlerinde amaç aracı akışkana verilen ısının bir bölümünü, en değerli enerji biçimi olarak nitelenen işe dönüştürmektir. Isı enerjisinin geri kalan bölümü akarsular, göllere, denizlere veya atmosfere atık ısı olarak verilir. Bunun nedeni, çevreye verilen ısının başka bir amaçla kullanılamayacak kadar düşük sıcaklıkta olmasıdır. Büyük miktarlarda ısının çevreye verilmesi, iş üretmek için ödenmesi gereken zorunlu bir bedeldir. Çünkü birçok mühendislik sistemi, elektrik enerjisi veya mekanik enerji ile çalışır.

Fakat mühendislik sistemlerinin büyük bir bölümünde enerji gereksinimi ısı biçimindedir. Kimya, kağıt, petrol, çelik, gıda ve tekstil endüstrileri gibi bazı endüstrilerde ısı işlemler önemli bir yer tutar. Isıl işlemler için gerekli ısıya proses ısısı da denir. Bu endüstrilerde proses ısısı genellikle 5-7 atm basınçta ve 150-200 °C sıcaklıkları arasında su buharıyla sağlanır. Buharı oluşturmak için gerekli ısı ise kömür, sıvı yakıtlar, doğal gaz ve benzeri yakıtları bir kazanda yakarak elde edilir.

Isıl işlemlerin gerçekleştirildiği bir endüstri kuruluşu incelendiğinde dağıtım borularındaki ısı kayıpları ihmal edilirse, su buharına kazanda verilen tüm ısı, Şekil 1.5'de

gösterildiği gibi ısı değiştiricileri aracılığıyla ısı işlemlerde kullanılır. Kazanda üretilen tüm ısının ısı işlemlerde kullanılması, bir kaybın olmadığı izlenimini verebilir. Oysa, termodinamiğin ikinci yasası açısından bakıldığında, dönüşümün mükemmel olmadığı anlaşılır. Kazanların içinde yanma sırasında oluşan sıcaklıklar, 1370 °C gibi çok yüksek



Şekil 1.5. Basit Bir Proses Isı Santrali (ÇENGEL ve BOLES, 1996)

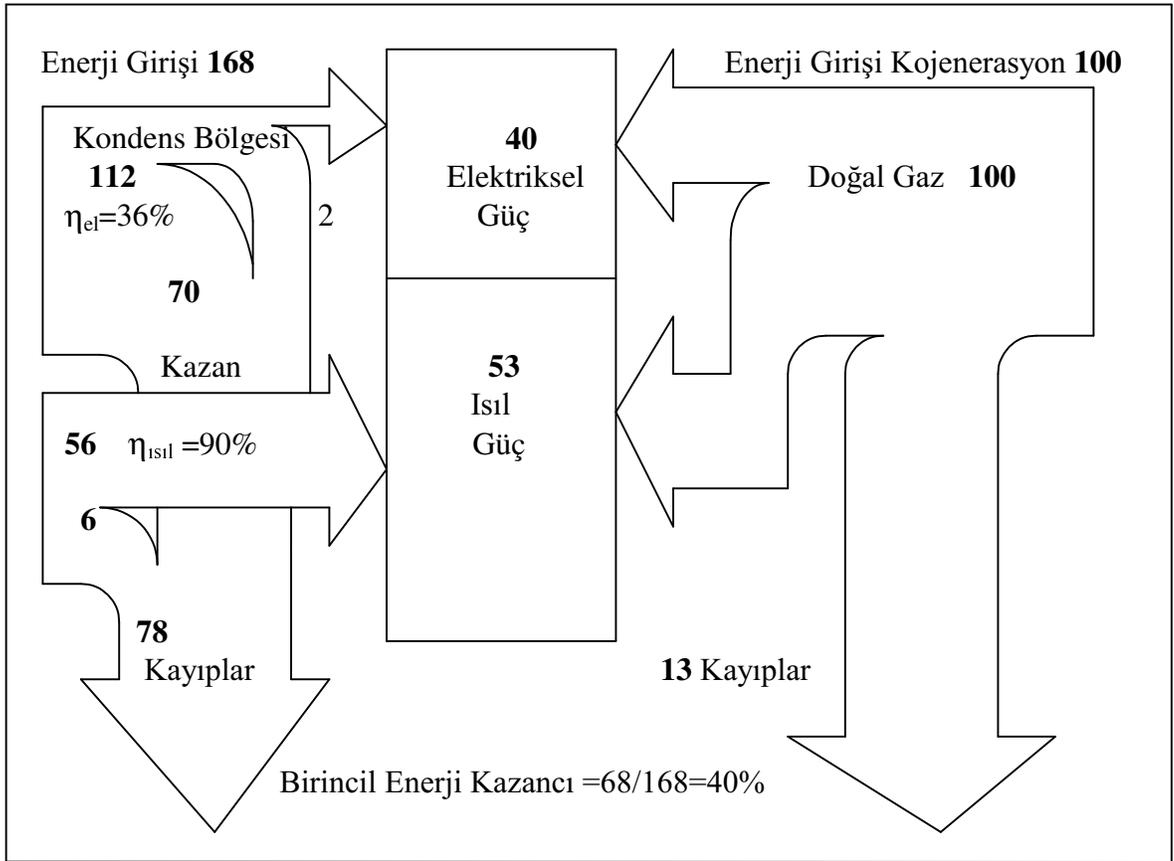
değerlere ulaşır. Bu nedenle kazanlarda üretilen enerjinin niteliği yüksektir. Bu yüksek nitelikli enerji daha sonra 200 °C veya daha düşük sıcaklıkta buhar oluşturmak için suya verilir. Buradaki tersinmezlik çok büyüktür. Bu tersinmezlikle ilişkili olarak, kullanılabilirlikte bir azalma veya iş potansiyelinde bir kayıp söz konusudur. Düşük nitelikli bir enerjiyle gerçekleştirilebilecek bir işlemi yüksek nitelikli bir enerjiyle gerçekleştirmek akıllıca değildir (ÇENGEL ve BOLES, 1996).

Şekil 1.6'da konvansiyonel sistemlerin ve kojenerasyon sistemlerin enerji üretimi bir Sankey diyagramı üzerinde karşılaştırılmıştır. Görüleceği üzere; 40 birim elektriksel, 50 birim ısı güce ihtiyacı olan bir tesisin bu ihtiyaçlarını karşılamak için; konvansiyonel

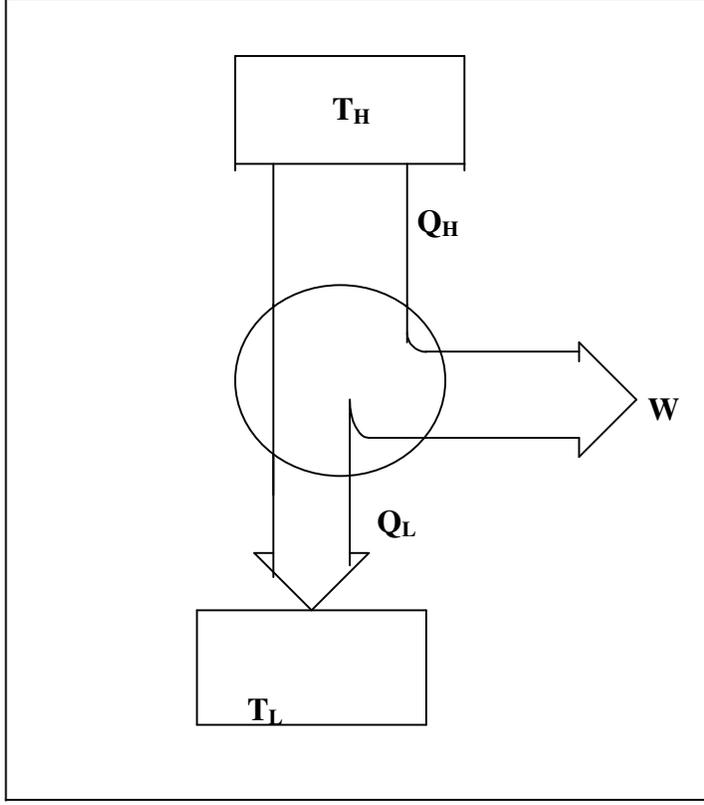
sistemde 168 birim enerji gerekirken, kojenerasyon sistemi ile 100 birim enerji yeterli olmaktadır.

Kısaca özetlersek kojenerasyon sistemi tüm ısı makinelerinin çevreye vermek zorunda oldukları atık ısıdan yararlanmayı amaçlar. Şekil 1.7'deki ısı makinesinden de görüleceği üzere, bir ısı makinesinde üretilen işin (W), alınan ısı enerjisine (Q_H) oranı, ısı verim, η 'dir.

$$\eta = W / Q_H \quad (1.1.)$$



Şekil 1.6. Kojenerasyon ve konvansiyonel sistemlerle enerji üretimlerinin Sankey diyagramı karşılaştırılması (NARTER ve ÖZTÜRK, 1996)



Şekil 1.7. Isı makinesi

Bu ısıl verime kojenerasyon uygulamalarında elektrik çevrim verimi de denilmektedir .

Konvansiyonel sistemlerde çevreye aktarılan ısıl enerji Q_L , kojenerasyon sisteminde kullanılan ısıdır. Böylece enerjiden yararlanma oranı (EYO) maksimum düzeye çıkartılmaktadır.

$$EYO = (W + Q_L) / Q_H \quad (1.2.)$$

EYO'ya kojenerasyon uygulamalarında toplam verim de denilmektedir. Her ne kadar EYO, termodinamiğin birinci yasasına göre "1" olsa da, uygulamada atık ısının tümünden yararlanılamadığından bu mümkün olmamaktadır. Bu atık ısıdan, doğrudan ısı olarak yararlanılamadığından, %35-55 aralığında uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bileşik

çevrimde dünyadaki en iyi örneklerinden biri olmasına rağmen, Ambarlı Çevrim Santralında bu verim değeri %50 civarında kalmaktadır. Oysa atık ısıdan, tekrar ısı olarak faydalanılan kojenerasyon sisteminde toplam sistem verimini yani Enerjiden Yararlanma Oranını (EYO) %80-90'lara dek çıkarmak mümkün olmuştur (DERBENTLİ, 1999). Alman Siemens firması tarafından 1988 yılında yapılan İstanbul Ambarlı'da kurulan bileşik çevrim güç santrali 1350 MW gücündedir. Bu santralin ısı verimi tasarlanan çalışma koşullarında % 52,5 gibi yüksek bir değere ulaşmıştır (GÜLŞEN ve KOÇAK, 1998).

Buhar türbinli bileşik ısı-güç santralının en önemli özelliği yoğuşturucunun olmamasıdır. Böylece çevreye verilen ısı, yani atık ısı yoktur. Yani kazanda buhara verilen tüm enerji, elektrik enerjisine veya proses ısına dönüşmektedir. Bir bileşik ısı-güç santrali için "enerjiden yararlanma oranı" Eşitlik 1.3'deki gibi tanımlanır:

$$EYO = \frac{\text{Üretilen Güç} + \text{Proses Isısı}}{\text{Girilen Toplam}} = \frac{W_{\text{net}} + Q_{\text{ç}}}{Q_{\text{g}}} \quad (1.3.)$$

$$EYO = 1 - \frac{Q_{\text{ç}}}{Q_{\text{g}}}$$

Bu formülde $Q_{\text{ç}}$, yoğuşturucudan çevreye verilen ısıdır. $Q_{\text{ç}}$ aynı zamanda borulardan ve diğer elemanlardan çevreye olan ısı geçişlerini de kapsamaktadır; fakat bu kayıplar ihmal edilebilir düzeydedir. Denklem 1.3.' de görüldüğü gibi, buhar türbinli sistemlerde enerjiden yararlanma oranı % 100'dür. Gerçek bileşik ısı-güç santrallerinde enerjiden yararlanma oranı % 70 dolaylarındadır (İNALLI ve ark, 2002).

Daha yüksek ısı verim sağlayabilmek için süregelen çalışmalar, alışılmış güç santrallerinde yeni düzenlemelerin yapılmasına yol açmıştır. Yukarıda bahsedilen ikili buhar çevriminin dışında gaz akışkanlı bir güç çevrimini buharlı bir güç çevriminin üst çevrimi olarak kullanmak bunlardan birisidir. Bu çevrime birleşik gaz-buhar güç çevrimi adı verilir. En çok ilgi duyulan birleşik çevrim, gaz türbini (Brayton) çevrimiyle buhar

türbini çevriminin (Rankine) oluşturduğu çevrimdir. Bu çevrimin ısı verimi her iki çevrimin ısı veriminden yüksektir.

Bileşik ısı-güç santrallerinde üretilen işin (elektriğin) faydalanılan ısıya oranı, elektrik-ısı oranı (power to heat ratio) “EIO” diye tanımlanır. Bu tanım ısı verimle de gösterilebilir:

$$\text{EIO} = \frac{W}{Q_L} = \frac{\eta}{1-\eta} \quad (1.4.)$$

“EIO”, kojenerasyon sisteminin önemli özelliklerinden biridir. Türbinlerde ise genellikle EIO'nin tersi (1/EIO) olan Isı Oranı temel parametrelerden birisi olarak verilir.

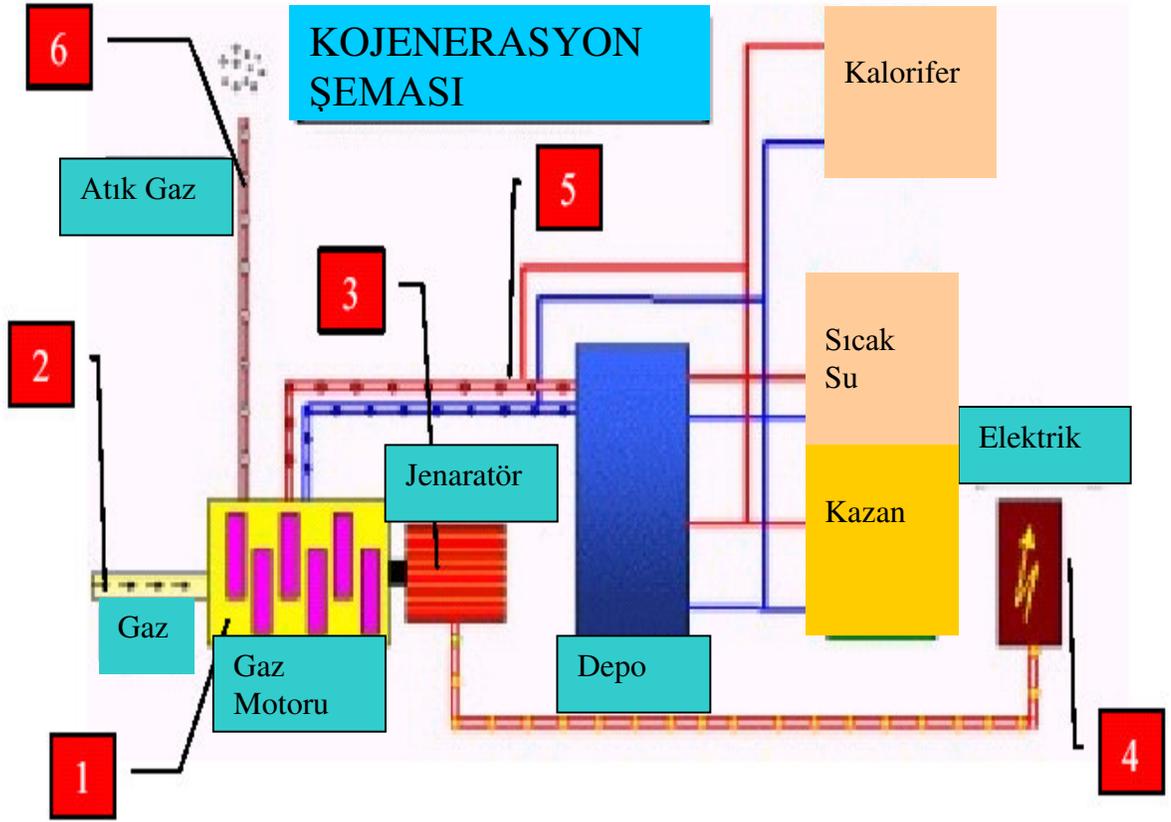
$$\text{Isı Oranı} = \frac{Q_{\text{ç}}}{W} = \frac{1-\eta}{\eta} \quad (1.5.)$$

(İNALLI ve ark, 2002).

1.4. Kojenerasyon Sistemleri Hangi Modüllerden Oluşur

Şekil 1.8’de bir kojenerasyon sisteminin temel modüllerini göstermektedir:

1. Gaz motoru (veya aşağıda belirtilen diğer primer enerji ile kullanımı için uygun bir motor)
2. Gaz şebekesinden motora bağlantı
3. Jeneratör
4. Elektrik şebekesine bağlantı
5. Sıcak su kazanına bağlantı
6. Egsoz
7. Soğutma sistemine bağlantı (opsiyon)



Şekil 1.8. Kojenerasyon modülleri (ANONİM, 2005a)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

“Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği”

Mustafa İNALLI, Halit L. YÜCEL, Erdem IŞIK, 2002

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden öğretim görevlileri Mustafa İnallı ve Halil Yücel ile Köy Hizmetleri İl Müdürlüğünde görevli olan Erdem Işık tarafından 2002 yılında yapılmış olan ‘Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği’ konulu çalışmada kojenerasyon sistemlerinin genel özellikleri üzerinde durulmuş ve sistemlerin geleneksel sistemlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Kojenerasyon yani bileşik ısı-güç üretim sistemleri (CHP), enerjinin hem ısı hem de elektrik şeklinde birlikte üretildiği sistemleridir. Bu yöntemle üretim şekli, ısı ve elektriğin ayrı ayrı farklı yerlerde üretilmesinden daha iyi ekonomik sonuçlar doğurmaktadır. Enerji üretiminin, tüketimin olduğu merkezlerin yakınlarında gerçekleştirilmesi kullanılabilirlik ve ekonomik açılarından daha uygun olacaktır.

Bu çalışmada özellikle kojenerasyon sistemlerinin teknik ve ekonomik açılarından olabilirliği tartışılmış ve GAP bölgesi için önemi vurgulanmıştır.

“Gaz Türbinli Motorların Kojenerasyon Tesislerinde Kullanımı”

Levent ÜSTÜNTEPE, 2002

Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu’ndan Levent Üstüntüntepe tarafından yapılmış olan bu çalışmada uçak türevi gaz türbinlerinin kojenerasyon sistemlerindeki kullanımları üzerinde durulmaktadır. Ülkemizde artan nüfusa ve sanayileşmeye bağlı olarak elektrik enerjisi ihtiyacımız giderek artmaktadır. Barajlarımızın yeteri kadar verimli olmaması nedeniyle Avrupa, Amerika ve Uzak Doğu Asya’da geniş ölçüde kullanım alanı bulan kojenerasyon, 1980’li yıllarda ülkemizde varolmaya başlamıştır. Bugün Türkiye’nin elektrik ihtiyacının yaklaşık %13’ü kojenerasyon tesisleri vasıtasıyla sağlanmaktadır. 2005 yılında bu oranın yaklaşık %25 olacağı sanılmaktadır.

Kojenerasyon, yakıtın sahip olduğu enerjinin gaz türbinli, pistonlu motor gibi ısı makinesi vasıtasıyla elektrik ve ısı enerjisine çevrilmesi olarak tanımlanır. Yakıtın gaz türbinli motorda yakılmasıyla elde edilen egzoz gazları, gaz türbinli motorun türbininden geçerek türbini çevirir. Türbine bağlı alternatörün çevrilmesiyle elektrik üretilir. İsteğe bağlı olarak yaklaşık %15 kadar oksijene sahip gazların, savaş uçaklarında kullanılan afterburner'a benzeyen bir sistemle tekrar yakılmasıyla, egzoz gazlarının sıcaklığı artırılır. Sıcaklığı artan egzoz gazlarının uçak gaz türbinlerinde lüleden geçirilmesiyle thrust elde edilirken, kojenerasyonda kullanılan gaz türbinlerinde ısı eşanjörü gibi çalışan atık ısı kazanından geçirilerek, yüksek basınçta buhar elde edilir. Elde edilen buharın türbinden geçirilmesiyle türbin çevrilir ve buna bağlı olan alternatör çevrilmesiyle elektrik enerjisi üretilir. Bu tip çalışan sistemlere kombine çevrim santrali denir.

“Kojenerasyon Uygulamaları”

Kenan Doğan, 2003

Bu çalışmada kojenerasyon sistemlerinin özellikleri anlatılmış, bu sistemlerin klasik sistemlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Her iki sistemdeki verim kayıpları ve maliyetler çeşitli diyagramlarla verilmiş ve kojenerasyon sistemlerinin üstünlükleri üzerinde durulmuştur. Çalışmanın ileriki bölümlerinde faaliyette olan bazı kojenerasyon santralleri üzerinde durulmuştur.

“Kojenerasyon Sistemlerindeki Yakıt Fiyatlarının ve Birim Yakıt Maliyetlerinin Analizi”

Hasan Hüseyin ERDEM, Süleyman Hakan SEVİLGİN, Burhanettin ÇETİN,

Ali Volkan AKKAYA, 2004

Bu çalışmada kojenerasyon sistemlerinde kullanılan yakıtların 1991-2003 yılları arasındaki fiyatları analiz edilerek yıllık fiyat eskalasyonları belirlenmiştir. Bu analiz sonuçları kullanılarak, 2003-2023 yılları arasındaki döneme ait her yıl için tahmini yakıt fiyatları hesaplanmıştır. Yakıt fiyatlarının değişimi ekonomik analizleri zorlaştırmaktadır.

Ekonomik analizlerin yapıldığı döneme ait fiyat değişimlerini içine alan sabit yakıt fiyatının belirlenmesi hesaplamaları kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, 2003-2023 yılları arasında yakıtların bir değere getirilmiş fiyatları elde edilmiştir. Daha sonra, kojenerasyon sistemlerinin birim elektrik üretimi için yakıt masrafları bulunmuştur. Bu sistemlerde aynı yakıttan elektrik ve ısı enerjisi ürün olarak elde edilir. Yakıt masrafının ürünlere dağıtılması satış fiyatlarının belirlenmesi için gereklidir. Bu amaçla, yakıt masraflarının ürünlere dağıtılmasında iki sınır koşul belirlenmiş ve sınır koşullar için hesaplamalar yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Yöntem

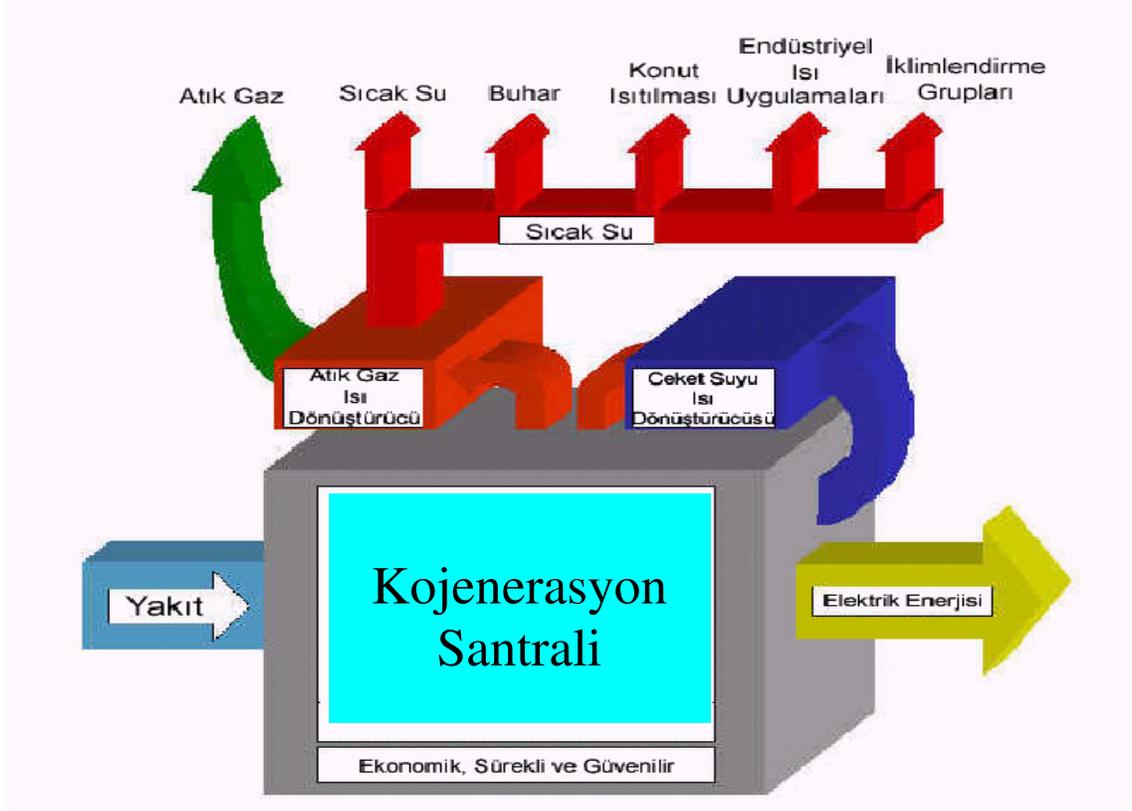
3.1.1. Kojenerasyon Sistemleri Nasıl Çalışır

Kojenerasyon santralleri tek bir işlemde hem elektrik hem de ısı enerjisini üretirler. Isı enerjisi gereksinimi her bölgede farklılık gösterir. Bu nedenle santralin kapasitesi bu bölgenin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde planlanmalıdır. Santral bölgenin bir kısmını ya da tamamını besleyecek şekilde düşünülmeli ve hatta enerji fazlasını iletim hattı üzerinden ihraç edebilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Kojenerasyon santrali temel olarak 4 bölümden oluşur:

- Esas hareketi sağlayan bölüm
- Bir elektrik jeneratörü
- Isı dönüşüm sistemi
- Kontrol sistemi (DOĞAN, 2003).

Bölgenin ihtiyaçlarına göre esas hareket sağlayıcı bölüm buhar türbini veya gaz türbini olabilir. İlerleyen teknoloji ile gelecekte mikro-türbin, karıştırma motorları veya yakıt hücreleri kullanımına başlanılacaktır. Türbin elektrik jeneratörüne hareket verir ve kullanılabilir ısı yeniden elde edilir. Temel elemanlar güvenilir ve yüksek performanslı olmalıdır. Özet olarak kojenerasyon santralleri bir tip yakıttan aynı anda hem ısı hem de elektrik enerjisi elde ederler; fakat ısı enerjisinin iletimindeki problemlerden dolayı tüketiciye yakın olmaları kurulumda gerekli bir şarttır. Kojenerasyon santralının çalışma şemasını şekil 3.1'de basitçe görebilirsiniz



Şekil 3.1. Kojenerasyon Sistemlerini Çalışma Şeması (DOĞAN, 2003)

3.1.2. Kojenerasyon Sistemlerinin Kurulabildiği Yerler

Kojenerasyonun endüstride kullanımının çok uzun bir geçmişi vardır. Kâğıt üretim sektörleri gibi büyük ısı ve enerji ihtiyacı olan sanayii dallarında kullanımı çok yaygındır. Son yıllarda yapılan çalışmalar ve ilerlemeler sonucu pratikte kojenerasyonun kullanım alanları genişlemiş ve kojenerasyona olan talep artmıştır. Bütün bunlara ek olarak konut ve işyeri ısıtılmasında kojenerasyon tercihler arasındaki yerini üst sıralara taşımaktadır (DOĞAN, 2003).

Daimi termal enerji gereksinimi ve elektrik baz yükü gereken durumlar kojenerasyon için en uygun durumlardır.

Kojenerasyon sistemlerinin çok çeşitli uygulama alanları mevcuttur. Bunları maddeler halinde sayarsak (TOPUZ, 2001):

- Endüstriyel Tesisler
- Katı ve Sıvı Atık Arıtma Tesisleri
- Oteller ve Eğlence Merkezleri
- Hastaneler
- Askeri Birlikler
- Alışveriş Merkezleri
- Havaalanları
- Kampüsler, Rekreasyon Alanları
- Toplu Yerleşim Birimleri
- Seralar

Kojenerasyonun endüstriyel uygulama alanları da şöyle sıralanabilir (DOĞAN, 2003):

- Ecza ve sağlık
- Kâğıt sanayii
- Bira, damıtma ve mayalama
- Seramik
- Tuğla
- Çimento
- Gıda
- Tekstil
- Mineral
- Yağ rafinerileri
- Demir- Çelik
- Motor endüstrisi

- Bahçecilik ve sera
- Kereste

Ayrıca şu alanlarda da kojenerasyon sistemleri oldukça faydalı olmaktadır:

- Lâğım temizleme üniteleri
- Kümesler, ağıl ve âhırlar gibi çiftçilik faaliyetleri
- Enerji gerektiren ekinler
- Gazların geri dönüştürülmesi

3.1.3. Kojenerasyon Sistem Teknikleri

Kojenerasyon iki çeşit ana tahrik ünitesi vasıtasıyla uygulanmaktadır:

- Gaz ve/veya buhar türbini
- Gaz motoru ya da dizel motor

Gaz türbinleri kojenerasyon uygulamaları için yaygın olarak 4,5-20 MW güç aralığında kullanılmaktadır. Buna karşılık gaz motorları da daha küçük güçlerde (ülkemizde özellikle 1 MW seviyelerinde) uygulanmaktadır. Ancak gaz motorlu kojenerasyon uygulamalarını bu boyutla sınırlamak doğru değildir. Tek modülde 100 KW seviyelerinden 3 MW seviyelerine kadar motorlar mevcut olup, bunların çoklu modülleri ile yapılan santrallerde 10 MW seviyelerine ulaşılabilir. Bu uygulama Avrupa'da yaygın olarak yapılmaktadır.

Sadece elektrik üreten bir sistemi kojenerasyon sistemi haline getirebilmek için dışarı atılan ısının kullanılabilir ısı haline dönüştürülmesi gerekir. Gaz türbinlerinde bu ısı eksoz gazı ısısı şeklindedir ve bir atık ısı kazanı yardımıyla bu eksoz gazı ısısı prosesin ihtiyacına göre buhar, sıcak su, kızgın su ya da kızgın yağ üretmek için kullanılabilir (ANONİM, 2005g).



Şekil 3.2. Gaz Türbini (ANONİM, 2005g)

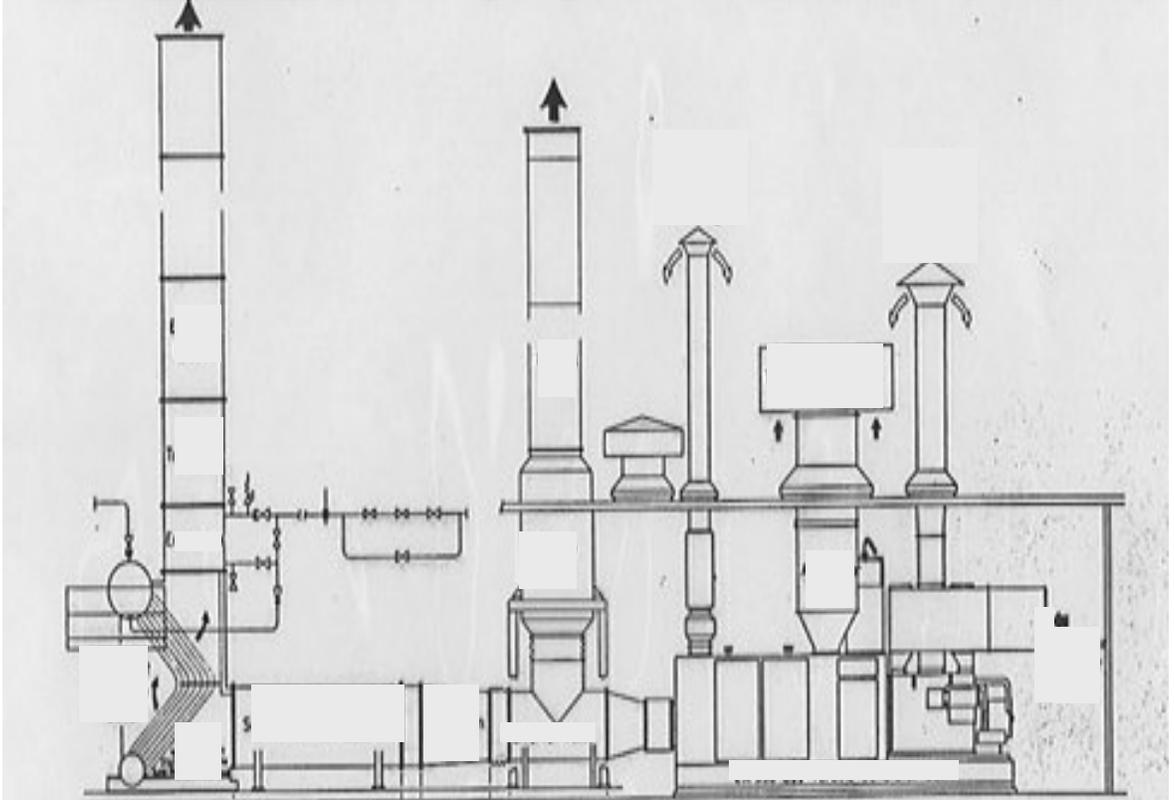


Şekil 3.3. Gaz Motoru ya da Dizel Motor (ANONİM, 2005g)

Diğer bir yaygın kullanım alanı da eksoz gazının hava ile karıştırılarak direkt kurutmada kullanılmasıdır. Bu işlemler sayesinde toplam çevrim verimi %80 seviyelerini yakalayabilmektedir.

Gaz motorlarında ise atık ısının yaklaşık 1/3 oranı egsoz gazından, 2/3'ü de soğutma sistemlerinden geri kazanılmaktadır. Şekil 3.4'de görüleceği üzere soğutma devreleri; silindir-gömlek soğutması, karterdeki yağın soğutulması ve turbocharger soğutmasından oluşmaktadır. Buna egsoz eşanjöründen elde edilen ısı eklenmektedir.

Motor kojenerasyon sistemlerinin bu soğutma gerekliliği özellikleriyle geri kazanılan ısı en verimli şekilde sıcak su olarak kullanılabilir. Böyle bir sistemde toplam sistem verimi %90 seviyesini geçebilmektedir. Proses ihtiyacına göre, toplam verimden feragat etmek suretiyle yine buhar üretimi ya da direkt kurutma suretiyle ısı kullanımı mümkündür (ANONİM, 2005g).



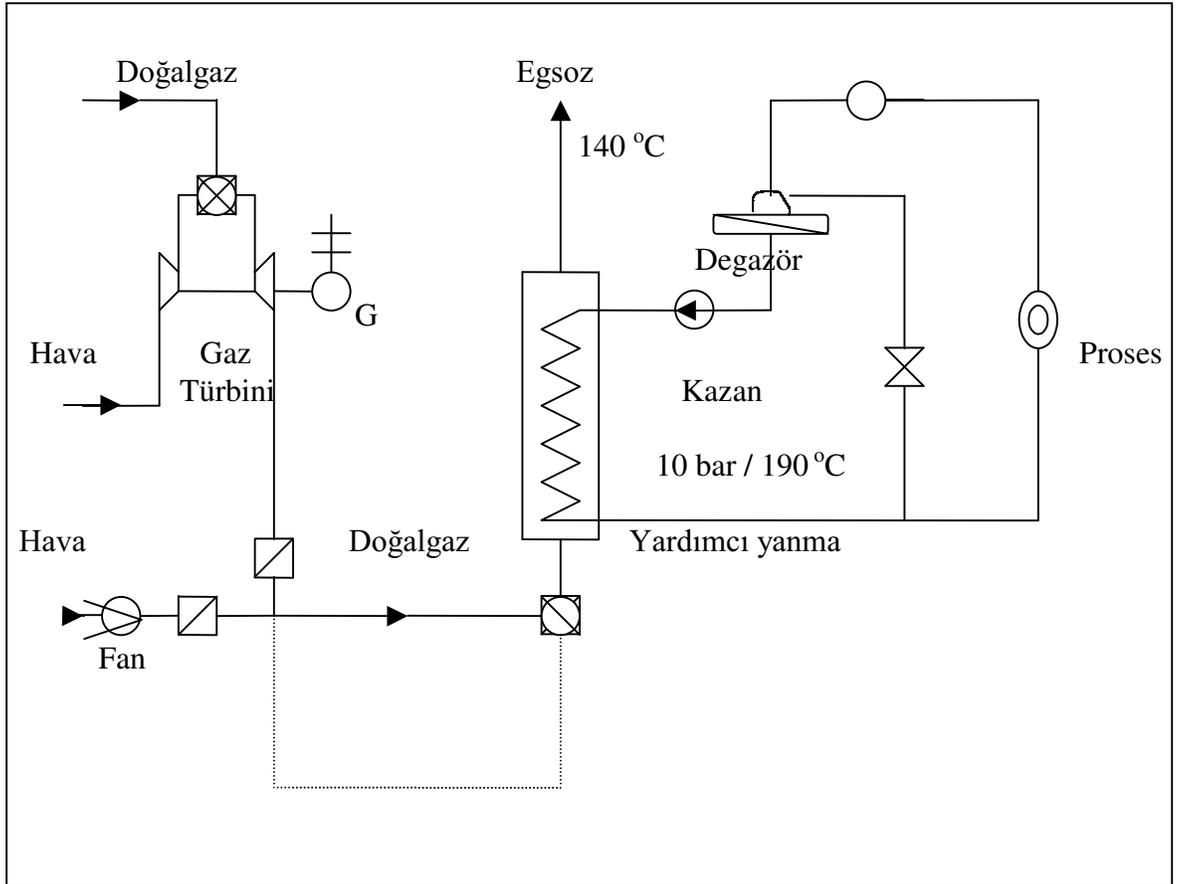
Şekil 3.4. Soğutma Devreleri (ANONİM, 2005g)

Şimdi kojenerasyon tekniklerini daha geniş bir şekilde ele alalım:

3.1.3.a. Gaz Türbinli Kojenerasyon Tekniği

Gaz türbinli sistemlerin çalışma prensipleri, termik açıdan değerlendirildiğinde aşağıda açıklanmaktadır:

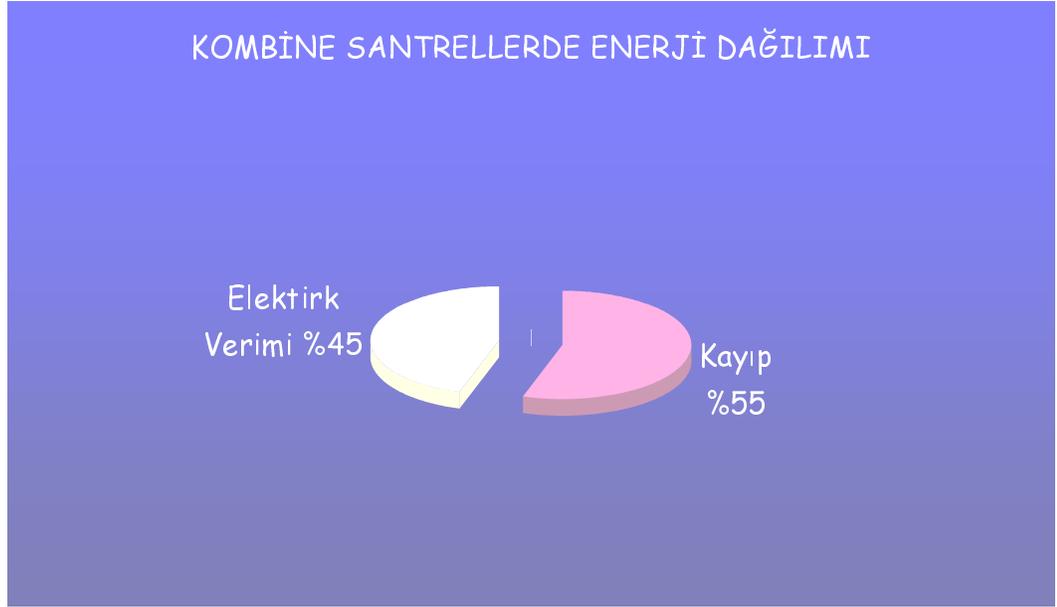
Yakıt ve hava karışımının (12-35 bar) yanma odasında yakılmasıyla oluşan kinetik enerji, türbin ve şanzıman aracılığıyla jeneratörü tahrik eder. Böylece jeneratörden elektrik enerjisi elde edilir (ANONİM, 2005i).



Şekil 3.5. Gaz türbinli basit çevrim kojenerasyon tesisi prensip şeması (ANONİM, 2005i)



Şekil 3.7. Gaz türbinli basit çevrimli kojenerasyon sisteminde enerji dağılımı (ANONİM, 2005i)



Şekil 3.8. Gaz türbinli, kombine çevrimli kojenerasyon sisteminde enerji dağılımı (ANONİM, 2005i)

Buhar ve/veya sıcak suyun doğrudan proseste kullanılması verimin maksimum olduğu en ekonomik çözümdür. Özellikle Avrupa’da elektrik sisteminin şebeke ile çalışabilmesi için gerekli yasal düzenlemeler tamamlanmış olduğundan, firmaların fazla elektriği şebekeye satması veya şebekeden elektrik takviyesi alabilmesi mümkün olmaktadır. Şebeke elektrik fiyatı da kaçakların az olmasından dolayı ucuz olduğundan sistem seçimi, atık ısının tamamı kullanılabilir şekilde yapılır. Fakat Türkiye şartlarında şebeke elektriği çok pahalı olduğu için sistem, elektrik gereksinmesine göre seçilmektedir. Dolayısıyla gaz türbini kojenerasyon sistemlerinin oranca yüksek olan ısıl çıkışından elde edilen buharın doğrudan bu proseste kullanılmasına ihtiyaç duyulmadığından, gaz türbini atık ısı sistemine bağlanan buhar türbini ile kojenerasyon sisteminden daha fazla elektrik üretilebilir. Bu prensipte çalışan sistemlere “**Kombine Çevrim Santralleri**” denilmektedir. Böyle bir tesisin prensip şeması Şekil 3.6’de görülmektedir (ANONİM, 2005i).

Gaz türbinlerinde basit çevrimli sistemlerin enerji dağılımı (primer enerjinin dönüştüğü şekiller) Şekil 3.7’de, kombine çevrimli sistemlerin enerji dağılımı ise Şekil 3.8’de görülmektedir.

Ağır sanayi tipi ve jet (uçak türevi) olmak üzere iki tip gaz türbini mevcuttur. Uçak türevi gaz türbinleri adından da anlaşılacağı üzere uçak motorundan türetilmiştir. Uçak türevi gaz türbinlerinin hafiflik, düşük yakıt tüketimi, yüksek güvenilirlik gibi uçak gaz türbinli motorların da sahip olduğu karakteristik özellikleri vardır ve yüksek verime, bakım için uygun dizayna sahip olması en önemli avantajlarından. Bununla birlikte teknik bilgisi olan personel gerekliliği, yüksek yatırım maliyeti, kaliteli yakıt gereksinimi, uzun çalışmalardan sonra gücün ve verimin düşmesi gibi dezavantajlara sahiptir.

Endüstriyel gaz türbini ise ağır hizmet veya ağır yapı türbinleri olarak bilinir. Sabit hizmet ve devamlı çalışmaya uygun olarak sağlam parçalardan üretilir. Uçak türevi gaz türbinlerinden daha düşük verime sahiptirler. Motorun devamlı olarak onarılmasından dolayı çalışma periyodu çok yüksektir. Bakımı çok kolay yapılır ve bakım maliyetleri düşüktür. İlk yatırım maliyetleri uçak türevi gaz türbinlerine göre daha düşüktür. Bunlara ilave olarak, düşük kalitede yakıt da kullanabilirler (ÜSTÜNTEPE, 2002).

Her iki gaz türbininde birincil yakıt olarak doğal gaz kullanılır. Doğal gazın şebekeden alınmasından dolayı depolama ve taşıma gereksinimlerinin olmaması, yakıtlar içerisinde çevreye en az zarar vermesi nedeniyle doğal gaz birincil yakıttır. Gaz türbinlerinin dual yakıt sistemine sahip olması doğal gazda oluşacak kesintilere karşı alternatif olarak nafta, LPG ve fuel oil gibi yakıtların kullanılmasına olanak sağlamıştır. Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinin son yıllarda büyük gelişme gösterdiği gözlenmiştir. Ülkemizde doğal gazın yaygın olarak kullanılması, bu teknolojinin hızlı ilerlemesi, kurulum maliyetinin düşük olması, sistemin 2-3 yıl içerisinde kendini yenilemesi ve çevreye minimum zarar vermesi gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinin yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur. Kurulum ve proje aşamasının çok kısa olması, tesis parçalarının modül halinde teslim edilmesi, gaz türbinin kısa sürede devreye alınması, sistemin aralıklı çalışması bu sistemlerin diğer avantajlarıdır (ÜSTÜNTEPE 2002).

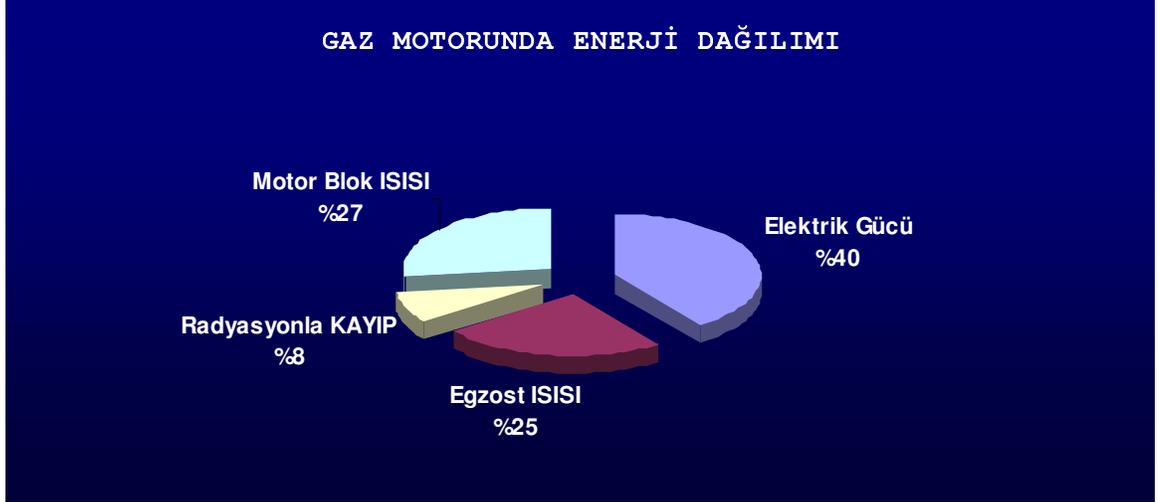


Şekil 3.9. Yüksek Basınç Türbini (DOĞAN, 2003)

3.1.3.b. Gaz Motorlu Kojenerasyon Tekniği

Bu sistemler daha düşük sıcaklıkta ve küttele atık ısı sağladıklarından ve çok çeşitli güçlerde üretebildiklerinden dolayı, özellikle elektrik ihtiyacı, ısı ihtiyacından daha fazla olan yani elektrik ısı oranı ($EIO=W/Q_L$, Bileşik ısı güç santaralında üretilen işin-elektriğın, kullanılan ısıya oranı) yüksek (%80 civarı) endüstriyel uygulamalarda, toplu konut, tatil köyleri, büyük oteller gibi sıcak su ve soğutma gereksinimi olan uygulamalarda, optimum çözümler olarak karşımıza çıkmaktadır.

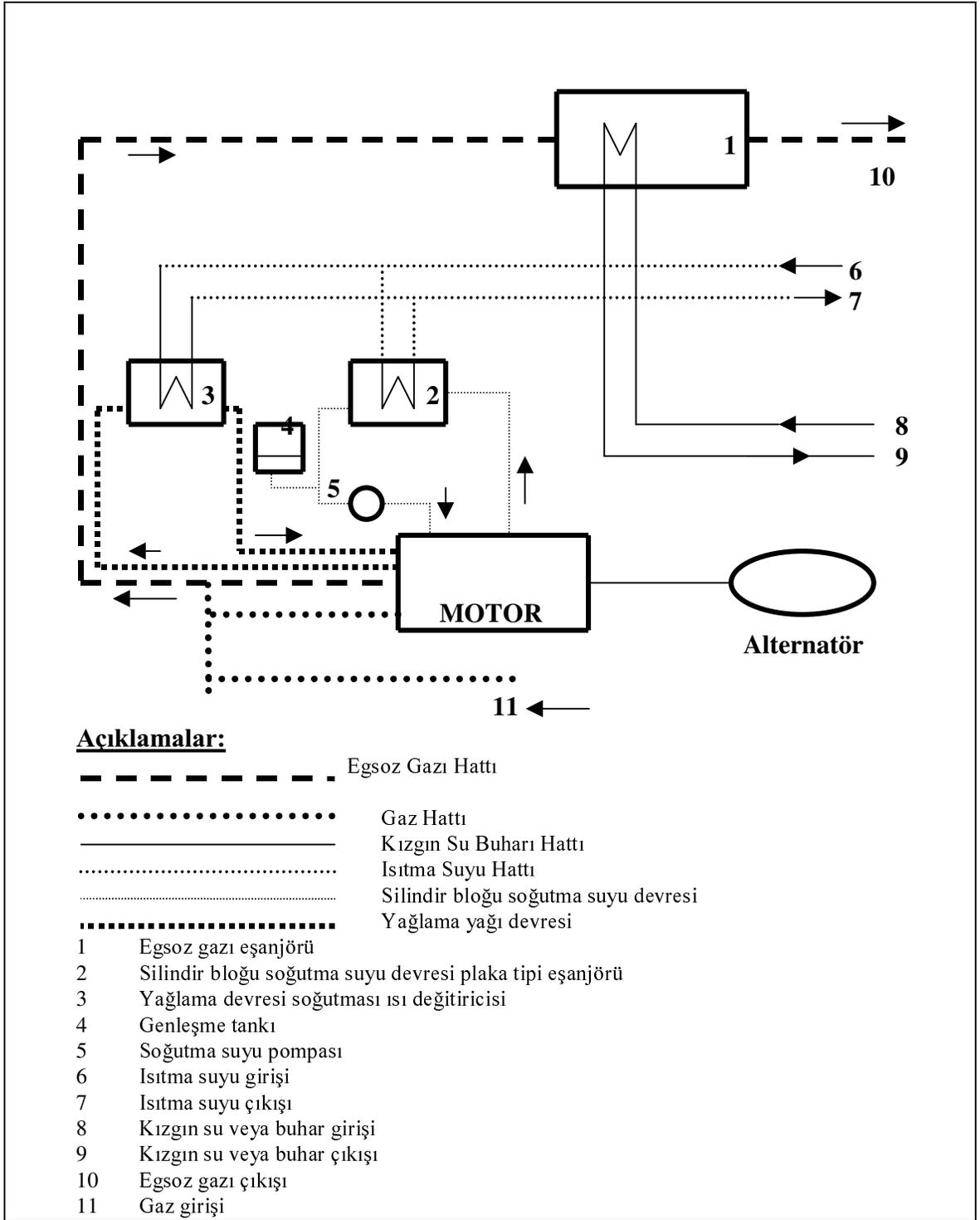
Gaz motorundaki enerji dağılımı grafiği Şekil 3.10'da gösterildiği gibidir (ANONİM, 2005i).



Şekil 3.10. Gaz motorundaki enerji dağılımı grafiği (ANONİM, 2005i)

Grafikten görüleceği üzere, pistonlu bir gaz motorunda yanan yakıtın enerjisinin (birincil enerjinin) dönüştüğü enerji türlerinin şöyle sıralayabiliriz:

- * %35-40'lık bir kısmı mekanik güce,
- * %30-35'lik bir kısmı motor gömlek ısısına,
- * %25-30 Egsoz ısısına ve
- * %7-10'luk bir kısmı radyasyon enerjisi şeklinde kayıp enerjiye dönüşmektedir .



Şekil 3.11. Gaz motorlu kojenerasyon sistemi prensip şeması (ANONİM, 2005i)

Yukarıda bahsedilen enerji dağılımından yola çıkarak, ortaya çıkan atık ısılardan gaz motorunun, kojenerasyon (Bileşik Isı ve Güç Üretimi) amaçlı kullanımında sisteme verilen ısı enerjisi üç unsurdan elde edilir. Bunlar; gaz motorunun yağlama devresi, egsoz gazları ve şarj havası, silindir bloğu soğutma devresidir.

Şekil 3.11’de gaz motorları kullanılan bir kojenerasyon tesisinin prensip şeması görülmektedir . Atık ısıları geri kazanım için kullanılan eşenjörler sistemini çeşitli modifikasyonlarda tasarlamak mümkündür (ANONİM, 2005i).

Gaz motoru uygulamalarının en önemli avantajı şunlardır;

- En yüksek miktarda elektriği üretebilecek (elektrik ısı oranı $\cong 0.8$) toplam %40’a varan elektrik çevrim verimi ile elektrik tüketiminin ısıl tüketimine oranla daha yüksek olduğu durumlarda seçilmesi uygun olan alternatif çözümlerdir. Bu özellikleri ile gaz motorları elektrik ihtiyacının yanı sıra, ısıtma ve/veya soğutma amaçlı ısı enerjisi gereksinimi duyan;toplu konut,tatil köyleri, oteller, yüzme havuzlu spor kompleksleri, üniversite kampüsleri gibi uygulama alanlarında çok uygun çözümler olarak karşımıza çıkmaktadır.
- %85 ile %91 arasında değişen toplam çevrim verimi türbinli sistemlerle karşılaştırıldığında, türbinli kojenerasyon (Combined Heat and Power – Bileşik ısı ve güç) sistemlerinde elektrik çevrim verimi artıçça toplam çevrim veriminin önemli miktarda düştüğü görülmektedir.
- Fakir karışım veya katalizörlü yakma sistemlerinin çevre dostu temiz doğalgazla kombinasyonu sayesinde, çok düşük zararlı emisyon seviyesi yakalanabilir. Modern fakir karışım yanma sistemlerine haiz motorlar NO_x emisyonlarını azaltmak için katalizöre ihtiyaç duymaksızın, binlerce saat izin verilen emisyon değerlerinin altında çalışabilmektedir.
- Kısmi yük verimlilikleri ve çok modüllü konfigürasyon, gaz motorlu kojenerasyon sistemlerini en esnek CHP sistemi yapmaktadır. Kısmi yükte çalışma durumunda verimin önemli miktarda etkilenmemesi ve modüllerin gerektiğinde sırayla devreye girip çıkma imkanları, sistemin elektrik ve ısı talebinde gün içinde olagelen talep

değişikliklerini ve EIO değişimlerini rahatça kompanse etmesine izin verir. Bu da gün bazında enerji maliyetlerinin minimize edilmesine yardımcı olur.

- Gaz motorunun kısa zamanda devreye alınıp, kısa zamanda devre dışı bırakılabilmesi, bir diğer kolaylıştır. Aynı zamanda, gaz motoru, tesisin daha az devre elemanı içermesinden dolayı, diğer sistemlere göre daha kısa zaman sürelerinde kurulabilir ve tesis iç tüketimlerinin az olması da gaz motoruna yıllar boyu %98'in üzerinde bir emre amadelik oranı sağlar.
- Gaz motorları denilince, yakıt olarak ilk önce doğalgaz akla gelmekte fakat atık arıtma tesislerinden kanalizasyon gazı (Sewage gas), çöp depolama tesislerinden çöplük gazı (Landfill gas) ve benzer şekilde biyogaz, kök gazı vb. yakıtlarda kullanılabilir. Üstelik atıklardan elde edilen bu gaz türleri elektrik ve ısı üretmek için direkt olarak kullanılabilir. Bunların direkt olarak motorlarda yakılmasıyla, değerlendirilmeleri için önce yakıp buhar üretmek, bununla da bir buhar türbini çevirmek gibi ara işlemler gerekmemektedir (ANONİM, 2005i).

3.1.3.c. Gaz Motoru ve Gaz Türbini Uygulamaları Arasındaki Farklılıklar

a) Kapasite Aralıkları

Gaz motorlarında kapasite, tek modül olarak, 20 kW_{el} ile 15 kW_{el} arasında değişmektedir. Gaz türbininde ise 1 MW_{el} ile 50 MW_{el} arasında değişen model ve markalar mevcuttur. Sistem birleşik buhar gaz türbini olarak işletilirse 10 MW_{el} ile 100 MW_{el} arası güçlerde sistemler yapılabilmektedir (ANONİM, 2005i).

b) Toplam Verim

Kojenerasyon sistemlerinde toplam verim %30 ile %90 arasında değişmektedir.

Gaz türbinlerinde :

Yalnız elektrik üretimi : \approx %30

Kombine çevrimle elektrik üretimi : \approx %45-50

Bileşik güç ve ısı santrali : \approx %85

Gaz motoru :

Elektrik çevrim verimi : \approx %40

Toplam sistem verimi : \approx %85-91

c) Ekonomik Ömür

Kojenerasyon sistemlerinin ekonomik ömürleri 100.000 ila 150.000 saat arasında değişmektedir. Bu da ortalama 12 – 20 yıllık bir süreye denk gelebilmektedir (ANONİM, 2005i). Ömrü 12-20 yıl olan bu sistemlerin kendi kendini 2-3 yılda amorti etmesi bu sistemlerin konvansiyel sistemlere oranla çok daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

d) Elektrik Isı Oranları

Elektrik ısı oranları, gaz motorlarında %80 civarındadır. Yani 100 kW elektrik enerjisi üreten bir gaz motoru, aynı zamanda ilave bir primer enerji (gaz-yakıt) kullanmaksızın 125 kW ısı enerjisi üretmektedir. Yada daha basit bir biçimde, 90-70 °C sıcak su ile çalışan bir sistemde yaklaşık 22.500 kg/h debisinde sıcak su üretir. 125 kW'lık bir ısı enerjisi de, İstanbul kış şartlarında orta büyüklükte 10-12 dairelik bir binanın ısıtmasını karşılayabilecek bir kapasitededir. Gaz türbinlerinde ise EIO, %40 civarındadır. Yani 1 MW'lık elektrik enerjisi üreten bir gaz türbini eş zamanlı olarak ilave bir primer

enerji (gaz-yakıt) kullanmaksızın 2.5 MW ısı enerjisi (sıcak su veya buhar) üretme kapasitesinde sahiptir. Daha fazla elektrik enerjisi üretebilmek için gaz türbini egsoz çıkışına bir de buhar türbini ilave edilirse (Kombine çevrim yada birleşik gaz – buhar türbini) EIO %67'ye çıkartılabilir. Son halde 1 MW elektrik enerjisi üreten bir kombine çevrimli gaz buhar türbini eş zamanlı olarak yaklaşık 1.50 MW ısı enerjisi üretecektir.

Görüldüğü üzere elektrik enerjisi ihtiyacının ısı enerjisi ihtiyacına göre daha fazla olduğu durumlarda gaz motoru kullanmak, bu oran azaldıkça da sırasıyla kombine çevrimli santral veya gaz türbini kullanmak daha ekonomik olacaktır.

EIO, sistem seçiminde önemli bir etkidir ancak diğer etkenleri göz önünde bulundurmaksızın kabul edilebilecek tek kriter de değildir.

Fakat kojenerasyonu asıl verimli kılan; çalışma saatinin maksimum çıkarılıp, elektrik ve atık ısısında sürekli kullanılmasını sağlamaktır. Bu yüzden elektrik ve ısı ihtiyaçları ile elektrik ısı oranı değiştikçe bu değişimi karşılayabilecek sistemlere ihtiyaç vardır. Bu sistemlerin başlıcaları şunlardır (ANONİM, 2005i):

i)Birden fazla modül kullanmak : Kojenerasyon sistem seçiminde Şekil 3.12'deki gibi bir yıllık yük eğrisini belirlemek çok önemlidir. Bu eğriden yola çıkarak özellikle gaz motoru kullanılacak sistemlerde birden fazla modül kullanmak daha ekonomik olabilmektedir. Bunu daha kaba ve basit anlatacak olursak; gece-gündüz, yaz-kış, hafta sonu-hafta içi elektrik ve ısı kullanımlarında büyük farklar olmasıdır. Fakat aşağıda Şekil 3.12'deki modüllerden 1. Modül kendini en önce amorti ederken yukarı doğru diğer modüllerin amortisman süreleri sırasıyla artmaktadır.

ii)Isı akümülatörleri kullanmak : Isı üretiminin ihtiyaçtan fazla olduğu durumlarda ısı akümülatörlerini doldurup, ihtiyacın üretimden fazla olduğu durumlarda ısıyı akümülatörlerden çekerek toplam verimin mümkün olduğunca yüksek kalması sağlanır.

iii)Şebekeyle senkronize çalışmak : Elektrik üretiminin tüketimi karşılayamadığı durumlarda şebekeden elektirik çekerek, fazla üretim halinde de şebekeye elektrik satarak,

sistemin tam yük ve maksimum verimde çalışması sağlanır. Fakat bu sistem Türkiye’de yasal zorluklar bulunması ve de şebeke elektriğinin çok düzensiz olması dolayısıyla fazla uygulanmamaktadır.

iv) By-pass’lı kombine çevrim kullanmak : Türbinli kojenerasyon sistemlerinde, atık ısı kazanından elde edilen buharla;

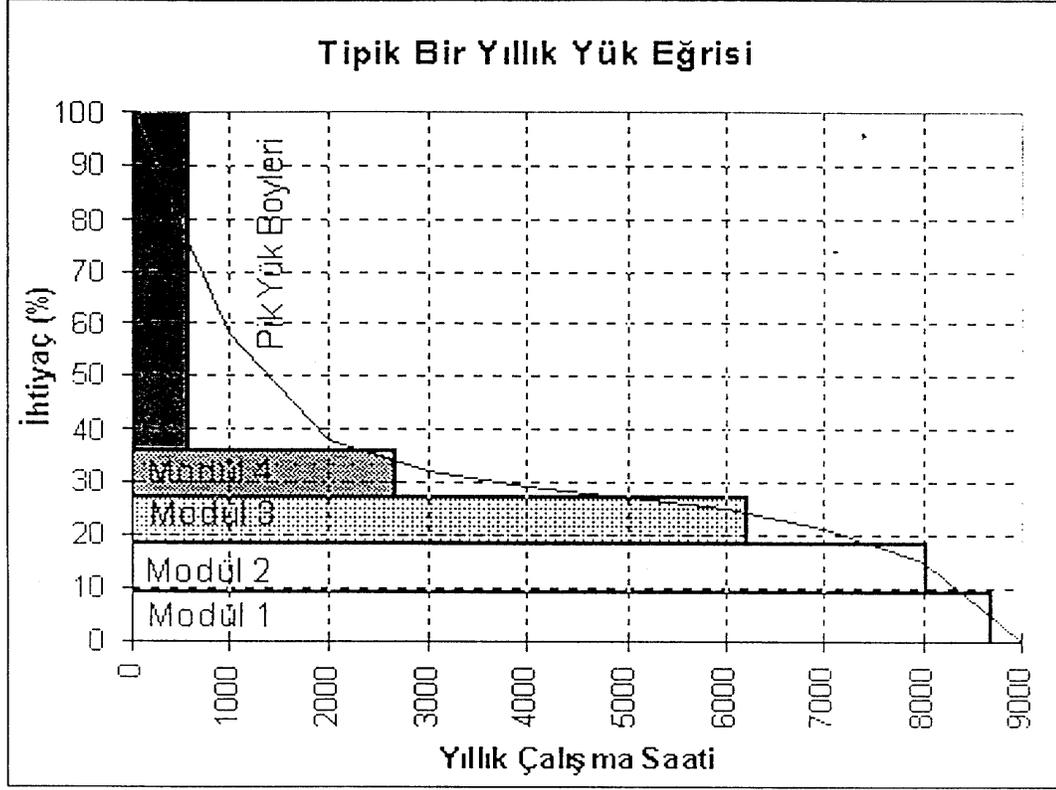
- Elektrik ihtiyacı arttığında ikinci bir buhar türbininde kullanarak, üretilen toplam elektrik miktarı arttırılabilir. Bu şekilde elektrik çevrim verimi %45 civarlarına çıkartılabilir.
- Isı enerjisi ihtiyacı arttığında by-pass yolunu açarak buharın tamamen ısıtma amaçlı kullanımı sağlanabilir.
- Isı ihtiyacının bazı pik durumlarında, türbin egsoz çıkışına ilave yakıt enjekte edilerek bir art yanma (post-combustion) ile ısı üretimi arttırılabilir. (ANONİM, 2005i).

v) Buhar türbini kullanmak: Buhar türbininden ara buhar çekerek değişen elektrik-ısı oranları karşılanabilir.

vi) Doğrudan by-pass bacası ve damper sistemi kullanarak, ısı gerekli olmadığında ısıyı dışarıya atmak: En verimsiz işletme şekli bu şekilde olur ki, tüm ısının atılması halinde %80 civarında olan toplam verim (Enerjiden Yararlanma Oranı) %30'lara düşer.

vii) Pik yük boyleri ve/veya chilleri kullanmak : Şekli 3.12'deki yıllık ısı gereksinimi eğrisinden görüleceği üzere, toplamda az bir süre olsa da, bazı zamanlarda ısı gereksinimi toplam kojenerasyon ısı üretimini aşmaktadır. Bu pik durumları karşılamak için ilave kojenerasyon modülü koymak verimsiz olacaktır. Çünkü kojenerasyon modülleri yılda 365 gün, günde 24 saat (bakım için durmalar hariç) işletilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışma

şartlarında kendisini ≈ 2.5 yılda amorti edecektir. Oysa çalışma süresi azaldığında, bu amortisman süresi çok artacaktır.



Şekil 3.12. Tipik yıllık yük eğrisi (ANONİM, 2005i)

Bu tür pik durumlar için ilave bir boyler veya soğutma ihtiyacı için pistonlu bir chiller kullanmak daha ekonomik olacaktır (ANONİM, 2005i).

3.1.4. Kojenerasyonda Sistem ve Kapasite Seçimi

Kojenerasyon sistemleri, sistemin ekonomikliği, teknik açıdan toplam sistem verimliliği ve kullanıcının gereksinimleri dikkate alınarak, uygun bir şekilde seçilmelidir. Kojenerasyonun oldukça büyük bir yatırım olması nedeniyle, öncelikle ayrıntılı bir

fizibilitesinin yapılması gerekir. Bu fizibilite sonuçları ucuzluk ve kaliteden bile daha önce gelebilmektedir. Hatta ve hatta bu sistemlerin kurulması kararı verilmeden önce danışman veya müşavir kişi yada kuruluşlarla çalışılması yatırımcıların yararına olacaktır. Aksi halde kojenerasyon firmaları, yatırımcıları kendi ellerinde mevcut bulunan sistem ve kapasiteler doğrultusunda yönlendirirler. Örnek vermek gerekirse; firmanın elinde türbin mevcut, gaz motoru bulunmamaktaysa, yatırımcıyı türbin alma konusunda ikna etmeye çalışır. Bazı verileri dikkate almayarak, fizibilite çalışmasını sanki türbin daha ekonomik ve ilk yatırım tesis giderini daha kısa zamanda geri ödeyecekmiş gibi düzenleyebilir. Yada elinde gerekli kapasitede motor yoktur; yatırımcıya daha küçük yada daha büyük motorlar önererek gene fizibilite çalışmasını buna göre düzenleyebilir. Bütün bu sakıncalı durumlardan dolayı yatırımcıların, yatırım kararını vermeden önce (daha sonra da devam edebilir) danışman müşavir veya kontrolör kişi veya kuruluşlarla birlikte çalışması daha sağlıklı olacaktır. Yatırımcıya bir ön fikir vermek açısından, uygun sistem seçimi aşağıdaki ön görüş ve parametreler dikkate alınarak yapılır (ANONİM, 2005i).

3.1.4.a. Yakıt

Çeşitli sebeplerden dolayı, kojenerasyon sisteminde kullanılması düşünülen yakıt türü veya türlerine göre sistem seçilir. Bazı uygulamalarda birden fazla, örneğin iki yakıtlı veya üç yakıtlı sistemler kullanılmaktadır. Bazı tesislerde ise kojenerasyon sistemi doğrudan yakıttan yola çıkılarak seçilir. Çöplük gazı ve arıtma gazı ile çalışan sistemler buna örnek olarak verilebilir. Bu tesislerde primer enerjinin işletme maliyeti “ sıfır “ olacağından, özellikle arıtma tesisi bulunan kuruluşlar için kojenerasyon sistemi çok cazip hale gelmektedir.

Türkiye için özellikle doğal gaz kullanılan yerlerde sistem çok ekonomik olmakta, ilk yatırım tesis giderini geri ödeme süresi 2 yıl, hatta daha da altına düşebilmektedir.

Kullanılmak istenen yakıt türü sayısı arttıkça seçilen sistem gaz türbinine doğru yönelmektedir. Gaz türbinlerinde ise, ağır sanayi tipleri, jet tipi türbinleri oranla daha fazla tür yakıt yakabilme özelliğine sahiptir (ANONİM, 2005i).

3.1.4.b. Elektrik Isı Oranı

Kojenerasyon uygulanacak sistemin termik ve mekanik güç ihtiyaçları seçim parametrelerinin önemlilerindedir. Özellikle yeni kurulacak tesislerde (henüz başka bir şekilde elektrik ve ısı yatırımı yapılmamış) bu ihtiyaçlar ve birbirleriyle oranları sistem seçimi için zorunlu ve temel faktördür.

Gaz türbini ile yapılan kojenerasyon sistemlerinde, elektrik ısı oranları, 0.40 – 0.50 civarlarındadır. Yani toplam enerji çıkışının 1/3' ü elektrik enerjisi, 2/3'ü ısı enerjidir. Gaz motorları ile yapılan uygulamalarda ise elektrik ısı oranları, 0.75 – 0.80 civarındadır. Yani toplam enerji çıkışının \approx %40'ı elektrik gücü olarak elde edilirken, %50'si de termik güç olarak geri kazanılabilir. Kojenerasyon sistemlerinin temel ayırımından dolayı, tüketim bölgesinin özelliğine göre (hangi oranda ısı ve elektrik ihtiyacı bulunduğu) seçim yapılır (ANONİM, 2005i).

3.1.4.c. Yük Eğrisi

Tüketim bölgesinin ısı ve elektriki yük eğrilerine göre seçim yapılır. Eğer yük eğrisi; günün, haftanın, yılın çeşitli zamanlarında çok dengesiz oluyorsa; bu yük eğrisine, birden fazla aralığa bölerek, tüketimi birden fazla modül ile karşılarız. Örnek olarak, gün içinde 400 kW, gece ise 200 kW elektrik enerjisi ihtiyacı olan bir hastanenin elektrik tüketimini karşılamak üzere, 200 kW'lık iki gaz motoru kullanmak çalışma rejimini daha verimli olmasını sağlayacaktır (ANONİM, 2005i).

3.1.4.d. Start Sayısı

Gaz motorlarının daha kolay devreye alınabilmesinden dolayı senelik start sayıları fazla olan işletmeciler için gaz motoru kullanımı kaçınılmaz hale gelir (ANONİM, 2005i).

3.1.4.e. Ortam Sıcaklığı

Gaz türbinlerinin çıkış güçleri ve ısı oranları, ortam sıcaklığına fazla duyarlılık gösterdiği için ve gaz motorları, ortam sıcaklığına çok fazla duyarlı olmadığından, bazı uygulamalarda gaz motoru kullanımı zorunlu hale gelir (ANONİM, 2005i).

3.1.4.f. Toplam Sistem Kapasitesi

Kojenerasyon sisteminde ihtiyaç duyulan güçler büyüdükçe, seçilen sistem, gaz türbinine doğru yönelmektedir. Genellikle uygulamada, 15 – 20 MW seviyesinin altında gaz motorları, üzerinde ise gaz türbinleri kullanılmaktadır. Aslında bu seçim elektrik – ısı kullanım oranına göre yapılır. Bir sistemde çok az ısı kullanıyorsanız, kombine çevrimli gaz türbini kurmak daha avantajlıdır. Elektrik fiyatı, bizim ülkemiz koşullarında daha pahalı olduğundan ve gaz motorlarında elektrik verimi daha yüksek olduğundan dolayı, gaz motoru seçmek daha ekonomik olmaktadır (ANONİM, 2005i).

3.1.4.g. Elektriğin Kalitesi

Elektrikteki frekans ve gerilim hassasiyetinin yüksek olduğu işletmelerde, bazen sistemin karlılığına ya da şebeke elektriğinin sürekliliğine bakmaksızın, kojenerasyon yatırımı zorunlu hale gelir. Özellikle hassas elektronik cihazların bulunduğu tesislerde

(tekstil, computer,vs.) frekans ve gerilim değerlerinin toleransı çok azdır. Tesiste bu türden sorunlar varsa, kojenerasyon bu kuruluş için kaçınılmaz olmakta, tolerans miktarı azaldıkça ise sistem seçimi gaz motorundan gaz türbinine doğru kayacaktır (ANONİM, 2005i).

Bu tür uygulamalarda sistem seçiminde şu kriterlere dikkat edilmelidir:

- İşletmenin elektrik-ısı tüketim yapısı ve ısı-elektrik tüketim dengesi
- İşletmenin yıllık çalışma süresi
- İşletmenin enerji ihtiyacı seviyesi
- Birincil enerji kaynaklarının (doğalgaz, LPG, Altı Numaralı Fuel-oil) temin edilebilirliği ve ekonomik uygulanabilirlikleri (ANONİM, 2005g).

Bunların en önemlileri ilk iki kriterdir. Sağlıklı bir santral seçimi için mümkünse yıllık, yoksa aylık ya da haftalık bazda tüketim değerleri tespiti yapılmalı, bunlar grafiklere dökülmelidir. İlk olarak yıllık ortalama elektrik tüketimine bakılır ve atıl kapasite yaratmayacak şekilde bu tüketimin az altında kalacak bir kapasite seçilir. Birinci amaç elektrik tüketimine yönelik kapasite belirleme olmalıdır. Her ne kadar -"hazır santral kuruyorum, tüm ısı ihtiyacımı da karşılayacak bir kapasite seçeyim, fazla elektriği satarım!" felsefesi genel olarak pazarımıza hakim olmuşsa da bu şebekenin enerji alış şartlarındaki uygunsuzluk ve ilerde kapasite ile karşılaşıldığında şebekenin enerji fazlasını almaması gibi durumlar kabil olduğundan kesinlikle yanlış bir yaklaşımdır. Sistem pazarlamacıların bu konudaki olası yanlış yönlendirmelerine karşı dikkatli olunmalıdır.

Santralin elektrik kapasitesi belirlendikten sonra ısı tüketim verilerine bakılır. Yoğun olarak yüksek sıcaklıkta enerji gerekiyorsa - buhar, kızgın yağ ya da sıcak hava - ve bu yaklaşık elektrik/ısı = ½ dengesine oturuyorsa, sisteme uygun yakıt ekonomik olarak mevcut ise ve santral büyüklüğü gaz türbinleri kapasite aralığına giriyorsa ihtiyaç bir gaz türbin kojenerasyon santralidir (ANONİM, 2005g).

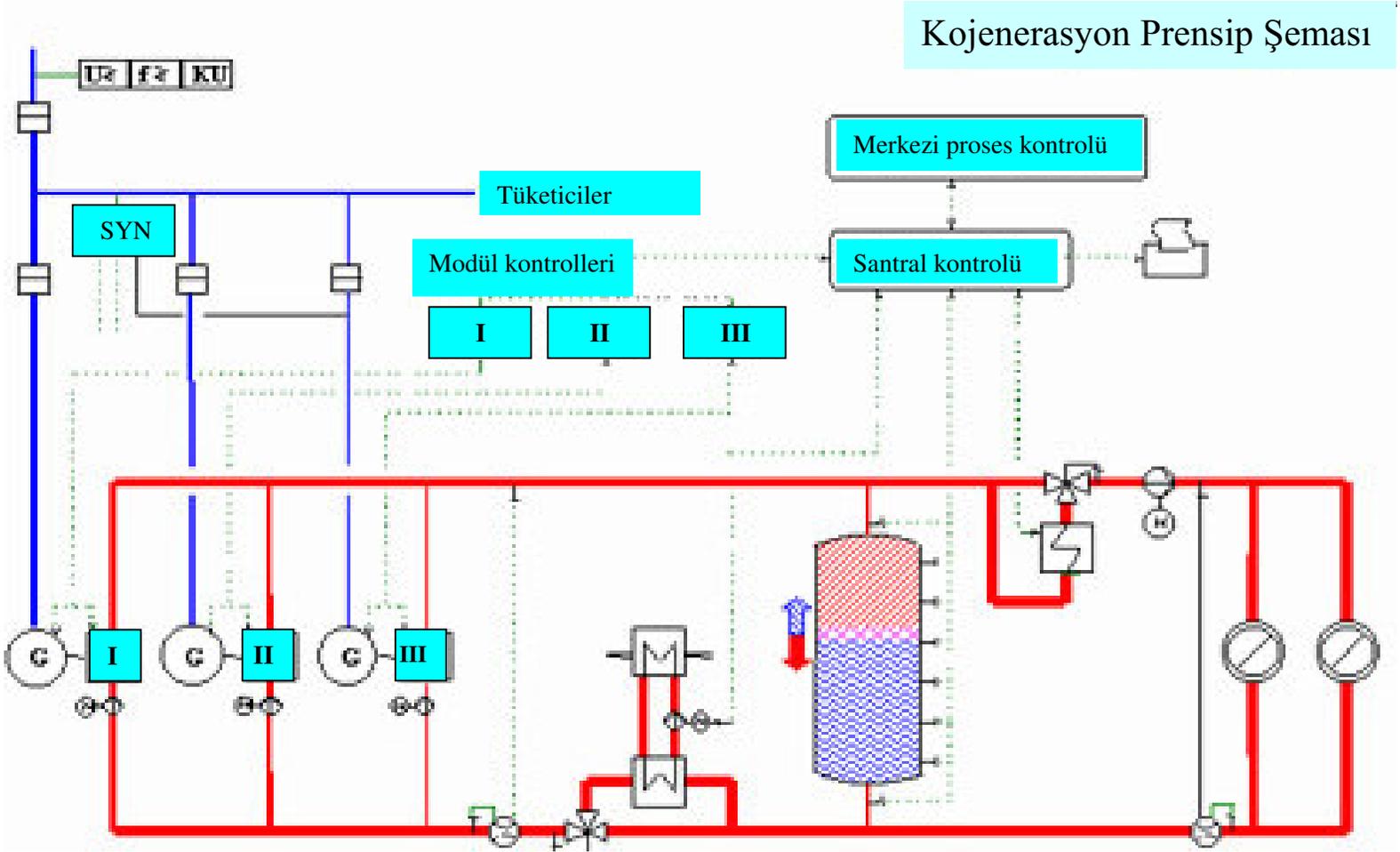
Dikkat edileceği üzere sonuca etken değişken sayısı çok fazladır. Tüm öncelikli kriterler bir gaz türbin santralini gerektirse dahi, yakıtın ekonomik bulunabilirliği santrali dizel motor santraline dönüştürebilmektedir.

Yukarıdaki değerlendirme sonucu, proses yüksek ısı ihtiyacı göstermeyen sıcak su ya da kızgın su ihtiyacı söz konusu ve elektrik-ısı dengesi elektrik lehinde daha fazla ise elektrik talebine göre bir gaz ya da dizel motor santrali uygun olur. Burada odak motorlardaki yaklaşık 10 puanlık daha yüksek elektrik çevrim verimidir. % 40 elektrik verimli bir motor santralinde doğalgazdan elde edilecek elektrik, ısıdan hiç yararlanılmasa dahi şebeke elektriğinden daha ucuza mal olmaktadır. Bu gaz türbinlerinde mümkün değildir. Bir motor santralına ait prensip şeması şekil 3.13'de görülebilir :

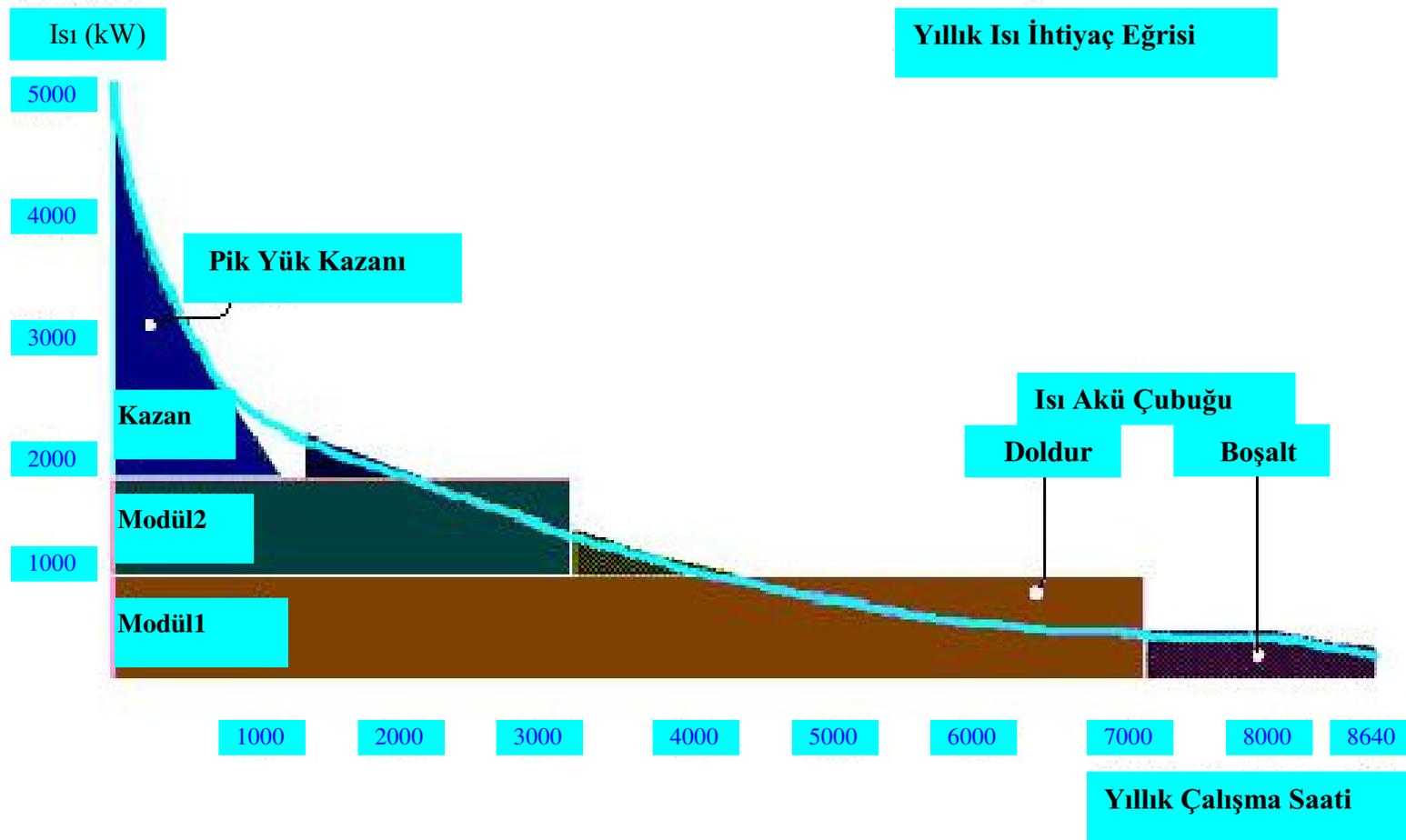
Sistem seçimi ile santral büyüklüğü ve tipini belirledikten sonra santralin kaç modülden oluşacağını tespit etmek gerekmektedir. Burada ilk kısıtlama piyasada mevcut olan modül büyüklüğüdür. Bu problem aşılabildiği zaman ilke olarak en az iki modülden oluşan bir santral yapmak enerji temin güvencesi açısından her zaman tercih edilmelidir. İkinci önemli kriter ise mümkün olan en yüksek verimde çalışabilmek için yıllık tüketim eğrisini değerlendirmektir. Modül sayısını bu eğriye oturttuğumuzda Şekil 3.14. elde edilir.

Şekil 3.14'den görüleceği üzere elektrik talebi yaklaşık 1.4 MW olarak tespit edilmiş santral ısı eğrisine çakıştırılmış ve 1 modülün yılın büyük bölümünde 7000 saat, diğerinin ise 3000 saat tam yükte çalışması durumunda en yüksek verimle santralin çalışabileceği tespit edilmiştir. Buna göre yapılacak fizibilite çalışmaları uygun sonuç verirse santral yatırımı yapılabilir. Bir diğer önemli değerlendirme ise, eğer gün içinde elektrik ve ısı yükünde önemli değişiklikler oluyorsa modül sayısının buna göre tespit edilmesinin gerekliliğidir. Bu gibi durumlarda santral modül sayıları genellikle artar, modül kapasiteleri daha düşük seçilir. Bu durum Şekil 3.15'de gösterilmiştir.

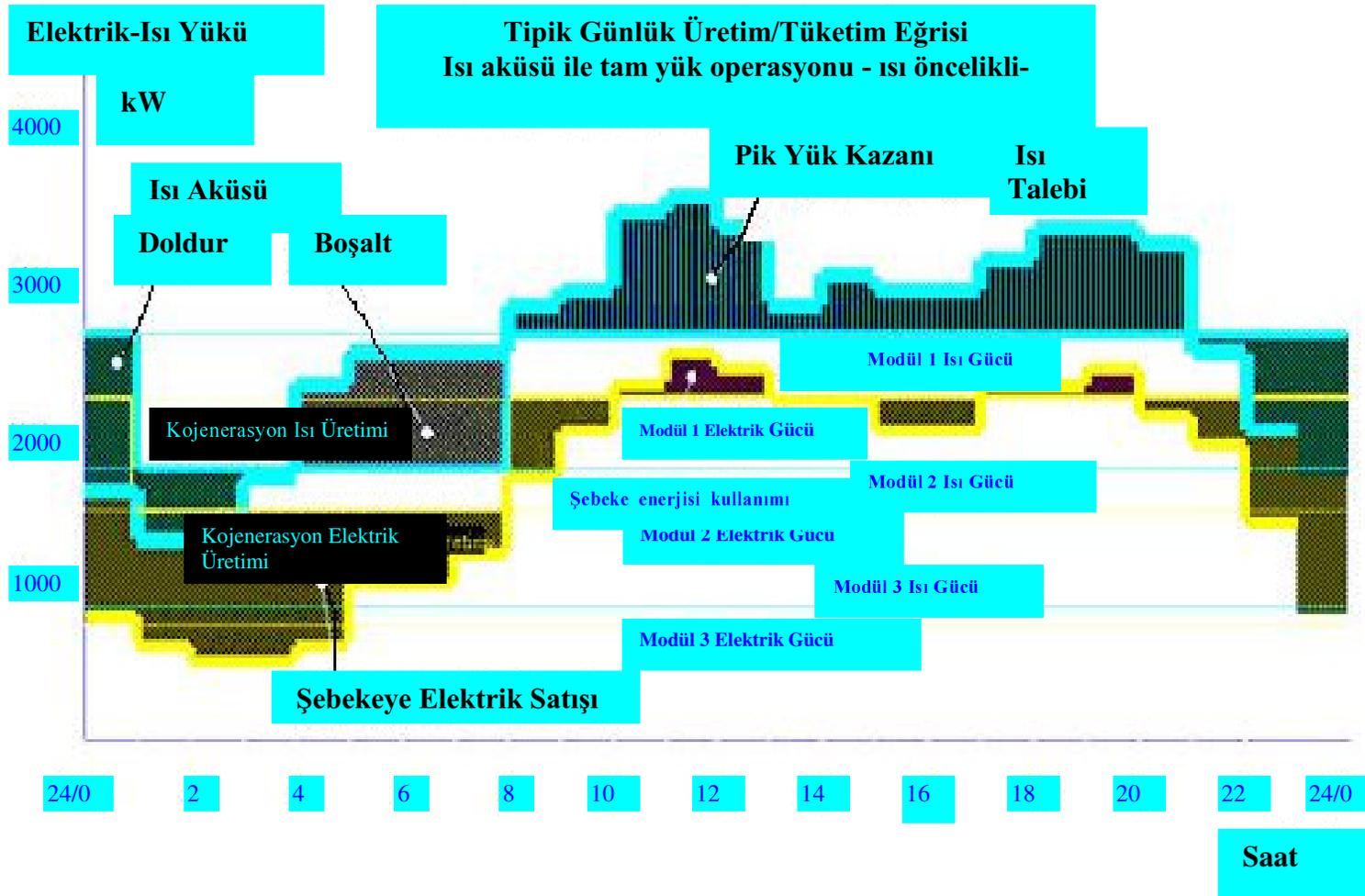
Şekil 3.15'den görüleceği üzere 22.00 - 08.00 arası gece operasyonunda üç modülden ikisi çalıştırılmasına rağmen elektrik üretim fazlası oluşmakta ve şebekeye satılmaktadır. Buna karşın 09.00-20.00 arasında her üç modülün de elektrik üretimi tamamen kullanılabilmekte, ısı talebiyse üç modüle rağmen ancak 21.00-08.00 arasındaki gece rejiminde karşılanabilmekte, gün içinde pik yük kazanları ısı sistemini takviye etmektedir. Bu durumda her ünitenin yıllık çalışma saatlerine bakılarak yapılacak fizibilite etüdü santral yatırımının yapılabilirliği hakkında kesin sonucu verecektir (ANONİM, 2005g).



Şekil 3.13. Bir motor santraline ait prensip şeması



Şekil 3.14. Bir Santralin Yıllık Elektrik İhtiyaç Eğrisi (ANONİM, 2005g)



Sekil 3.15. Bir Santralin Günlük Üretim ve Tüketim Eğrisi (ANONİM, 2005g)

3.1.5. Kojenerasyon Uygulama Şekilleri

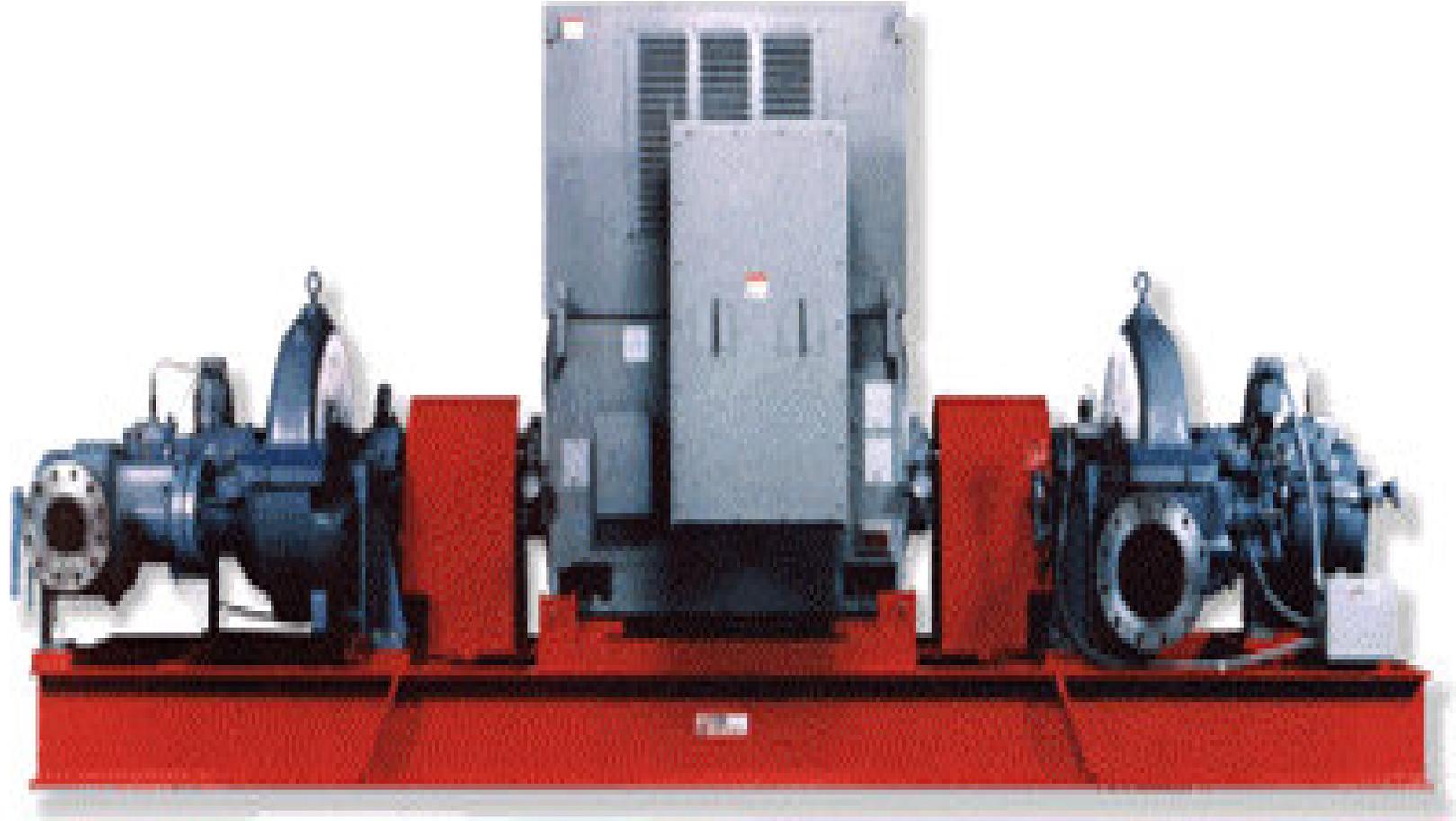
3.1.5.a. Back Pressure Tipi Kojenerasyon Santrali

Buhar kazanı basınç ayarlama vanasının buhar türbünü ile yer değiştirmesi sonucu sirkülasyondaki basınç ayarlaması türbin ile yapılabilir. Böyle bir uygulama ile kazan çıkış basıncı kullanma değerine düşerken fazla basınç değerlendirilmiş ve mevcut buhar kazanı aynı anda elektrik üreten kojenerasyon santraline dönüştürülmüş olur. Fazla buhar enerjisinin kojenerasyon santralinde bu şekilde elektrik enerjisine çevrilmesi ile sanayi işletmeleri kendi elektrik ihtiyaçlarını karşılama imkanına kavuşurken aynı zamanda kayda değer ekonomik fayda da sağlarlar. Şöyleki bu tip santrallerde üretilen elektriğin kW.saat maliyeti 1-2 cents arasında gerçekleşmektedir.

Buhar türbinini çevirecek yeterli buhar basıncının olmadığı durumlarda kazan içerisine yerleştirilen pasif süper ısıtıcılarla buhar basıncı artırılarak elde edilen enerji fazlasından elektrik üretilir. Bu uygulama ile mevcut kazanın verimi de arttırılmış olur (ANONİM, 2005j).

3.1.5.b. Motorlu Tip Kojenerasyon Santralleri

Doğalgaz veya motorin yakan motorlu tip elektrik santrallerinde verim % 40 civarında gerçekleşir. Bunun sebebi yakıttaki enerjinin % 60'nın dışarı atılmasıdır. Eksozdan çıkan sıcak havanın tekrar kullanılması ile atılan enerji tekrar kazanılırken motorlu santral kojenerasyon santraline dönüşür. Bu durumda toplam verim % 90'a çıkar. Buhar ve sıcak su, eksoz gazının brülörlü/brülörsüz ısı tutma kazanından geçirilmesi sonucu üretilir. Bu tip santrallerde öncelik elektrik üretiminde olup elektrik ve buhar üretimi birbirinden bağımsız olabilir. 22 kW'tan 3800 kW'a kadar olan santraller konteyner içerisinde tek birim olarak mümkün olup bu santrallerin kombinasyonu ile daha yüksek



Şekil 3.16. Back Pressure Tipi Kojenerasyon Santrali (ANONİM, 2005j)



Şekil 3.17. Motorlu Tip Kojenerasyon Santralleri (ANONİM, 2005j)

güçde santraller oluşturmak mümkündür. Motorlu tip kojenerasyon santrallerinde elektrik kW.saat maliyeti bugünkü yakıt fiyatları dikkate alındığında 4-5 cent arasında gerçekleşirken üretilen buharın maliyeti sıfır olur.

Üniversiteler, Hastaneler, Toplu Konut Siteleri, Küçük ve Orta Boy Tekstil, Gıda ve Deri gibi Sanayi Kuruluşları ile Askeri Tesisler kojenerasyon santrali uygulaması ile ekonomik fayda sağlamanın yanısıra elektrik kesintilerinin olumsuz etkilerinden de kurtulabilirler (ANONİM, 2005j).

Tez enerji firmasının gerçekleştirdiği bazı kojenerasyon uygulamalarının resimleri aşağıdadır.



Şekil (a)



Şekil (b)



Şekil (c)



Şekil (d)

Şekil 3.18. Çeşitli Kojenerasyon Uygulamaları (ANONİM, 2005l)

3.2. Materyal

3.2.1. Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanabilen Yakıtlar

Kojenerasyon sistemlerinde çok çeşitli yakıtlar kullanılabilir. Aşağıdaki yakıtlar kullanılabilir.

- Doğal Gaz
- LPG
- Propan
- Motorin
- Nafta
- Bio Gaz
- Odun Gazı (Pyrolis Gazı)
- Fuel Oil
- Kök Gazı
- Orumlsiyon (ANONİM, 2005g; ANONİM, 2005l).

Görüldüğü üzere Kojenerasyon işlemi, kömür, petrol türevi yakıtlar, doğal gaz ve biomas yakıtlar gibi çeşitli yakıtlarla yapılabilir.

Kojenerasyon teknolojisi kaynakların yeniden üretilmesinden kazanılan biyogaz kullanımının ekolojik ve ekonomik bir cazip olasılığını sunar. $0.54\text{kWh}/\text{Nm}^3$ 'lük bir ısı değerli, düşük metan sayılı, kimyasal endüstriden elde edilen gazlardan, $34\text{kWh}/\text{Nm}^3$ 'lük bir ısı değere sahip bütane kadar bir çok yakıt kullanmak olasıdır. Bu yakıt türlerinden bazı örnekler ve ısı değerleri Şekil 3.19'da görülmektedir.

Şekil 3.19'daki yakıtların yanı sıra dizel türü ağır yakıtlar kullanılan motorlar, LPG ile çalışan sistemlerde çeşitli kojenerasyon uygulamalarında kullanılmaktadır.

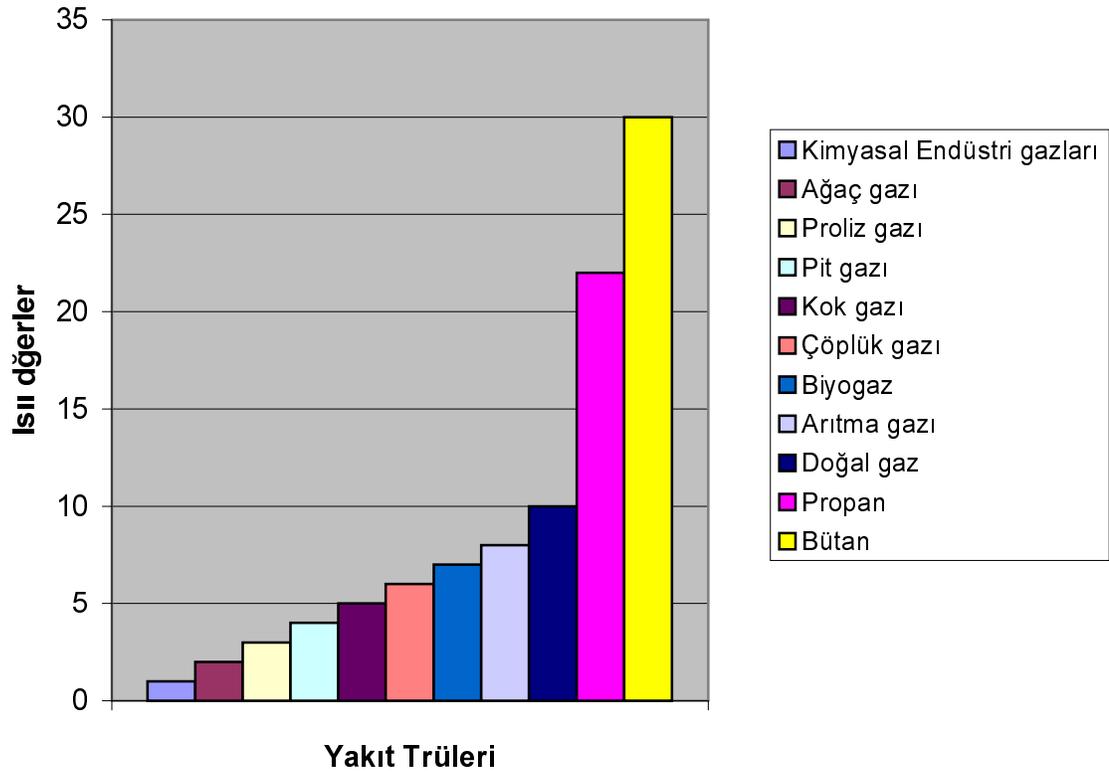
Isıl değerler incelendiğinde çöplüklerimizde, kanalizasyonlarımızda ve bu gibi atıklarımızda adeta enerji hazinelerinin yatmakta olduğunu görürüz. Bu atıkları kontrolsüz bir şekilde çevreye atarak, sadece çevreyi kirletmekte kalmıyor, aynı zamanda enerji

kaynaklarımızı da kullanamamış oluyoruz. Aşağıda bunun için küçük bir örneğini göreceksiniz.

Şekil 3.19'daki ısı değerlerinden yola çıkarsak:

2kWh elektrik enerjisi ve 1.23kWh ısı enerjisi için

- 5-7 kg bio-atık,
 - 5-15 kg çöp,
 - 8-12 kg ters-organik atık,
 - 4-7 m³ şehir kanalizasyon suyu
- yeterli olmaktadır.



Şekil 3.19. Çeşitli birincil yakıtların ısı değerleri (ANONİM, 2005i)

Türkiye gibi sürekli enerji kesintilerinin gündemde olduğu ve devamlı nükleer ve termik santral tartışmalarının yapıldığı bir ülkede, çöplüklerdeki büyük enerji kaynağı ne

yazık ki ancak çöplükler patlayıp can aldığında akla gelmektedir. Oysa buralarda oluşan gazlar değerlendirilirse hem çöplükler daha güvenli hale gelecekler hem de enerjideki dar boğazın aşılabilmesinde önemli katkıları sağlayacaklardır.

Gaz motorunda kullanılan bir yakıtın en önemli özelliklerinden biri de vuruğu direncidir. Gazın vuruğu direncini de “Metan Sayısı” belirler. Yakıtların metan sayıları daha ilerki bölümlerde Çizelge 3.4’te görülmektedir.

Benzin yakmalı motorlarda “Oktan Sayısının” vuruğu kriteri olduğu ve sıkıştırma oranı ile ateşleme açısının buna göre belirlendiği bilinmektedir. Gaz yakıtlı Otto motorlarında ise yakıtın uygunluğunu tespit etmek için hesaplanması gereken vuruğu kriteri metan sayısıdır. Metan sayısının 100’e yakın veya üzerinde olması, sıkıştırma oranını yükseltme ve böylece mekanik verimi artırma olanağı sağlar. Bu koşulda, motor sıkıştırma oranını 12.5:1 seçmek ve gaz motoru için oldukça yüksek sayılabilecek olan %41’lik bir verime ulaşmak mümkündür.

Yakıt seçimindeki en önemli kriterler yakıt fiyatı ve arz güvenliğidir. Bu nedenle, fosil yakıt rezervlerinin miktarı ve dağılımı göz önüne alındığında, arz güvenilirliği ve fiyat konusunda sorunlar yaşanan sıvı ve gaz yakıtların tercih edilmesi enerji güvenliğini sarsmaktadır. Günümüze kadar kısa vadede çözüm getirdiği için, doğal gaz kombine çevrim santrallerine ve diğer akaryakıtlar için kojenerasyon uygulamalarına öncelik verilmekle birlikte yeni teknolojiler yakından takip edilerek, uzun vadede kömürlü ve dolayısıyla ülkemizin öz kaynaklarına dayalı kojenerasyon yatırımlarına da önem verilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde düşük kaliteli linyit rezervlerinin yüksek verimlilikle değerlendirilmesi açısından akışkan yatak teknolojisi önem kazanmaktadır. Çevre dostu olan bu teknolojinin, ülkemiz linyitleriyle kojenerasyon uygulamalarında kullanılmasıyla, öz kaynağımız olan linyitlerin çevre sorunu yaratmaksızın yüksek verimle değerlendirilmesi sağlanacaktır (ANONİM, 2005h).

Motor kojenerasyon sistemlerinde kullanılan motorlar genel olarak 2 tiptir;

1. Fair karışım yanmalı otto motorları
2. Dizel - sıkıştırma patlatmalı - prensibe göre çalışan motorlar

Otto motorlarında sadece gaz yakıtlar kullanılabilir ve emisyon değerleri herhangi bir katalizör sistem kullanmadan Alman Ta-luft sınırlarının altındadır. Kullanılabilecek gazlar sırasıyla :

- doğalgaz
- biyogaz
- propan
- kök gazı
- pyrolis gazı (odun gazı) (ANONİM, 2005g).

Bunlardan sadece doğalgaz ve propan ticari olarak kullanıma açık yakıtlardır. Diğerleri ya arıtma tesisleri, ya çöplükler ya da özel proseslerden elde edilir. Özellikle proseslerinde solvent ağırlıklı atmosfer yaratan ya da özel gazlar üreten müesseselerde bu imkan çok verimli yatırım sonuçları vermektedir.

Dizel motorlarda ise belli bir kapasiteye (yaklaşık 4mw) kadar ancak dizel ya da gaz-dizel çift yakıt; bu kapasitenin üzerinde gaz-dizel makinalar ile fuel oil no 4 ve no 6 yakabilen makinalar bulunmaktadır (ANONİM, 2005g).

Kojenerasyon sistemlerinde kullanılan yakıtların bazılarında bahsedelim.

3.2.1.a. Doğalgaz

Kojenerasyonun ticari olarak bulunabilen tartışmasız temel yakıtıdır. Yanma özellikleri, çevre dostu oluşu, depolama gerektirmemesi ve de ekonomik açıdan uygun oluşu onu kojenerasyon için en uygun yakıt haline getirmektedir.

Organik teoriye göre, diğer fosil yakacaklar gibi doğalgaz da milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvan artıklarından meydana gelmiştir. Yeryüzü kabukları arasına

gömülen bu artıklar, basınç ve sıcaklık etkisiyle, kimyasal değişikliklere uğrayarak doğalgazı meydana getirmiştir. Genelde doğalgaza sıra dağ yamaçlarında, petrol yatakları ile birlikte veya serbest olarak rastlanılmaktadır.

Doğalgazın bileşiminde %95 metan gazı bulunur. Temiz bir yakıttır. Tam yandığında mavi alevle yanar. Hava ile belirli bir oranda (%5 – 15) karıştığında patlayıcı özelliği vardır.

Doğalgazın başlıca özelliklerini şöyle sıralayabiliriz:

- Renksiz
- Kokusuz
- Zehirsiz
- Havadan hafiftir

Çizelge 3.1. Doğalgazın bileşenleri (ANONİM, 2005k)

BİLEŞENLERİ	KİMYASAL FORMÜLÜ	ORANLARI (%)
Metan	CH ₄	92
Etan	C ₂ H ₄	5,3
Propan	C ₃ H ₆	1,1
Azot	N ₂	0,6
Karbondiyoksit	CO ₂	0,6
Hidrojen sülfür	H ₂ S	0,2
Helyum	He	0,2

Dünyada, bugün bilinen petrol rezervlerine eşdeğer doğalgaz rezervi vardır. 1986 yılındaki belirlenmiş doğalgaz rezervleri 100 trilyon m³'e yakındır.

Doğalgaz ilk kullanıldığı zamanlarda daha çok yerel olarak kullanılırken, özellikle 1970'li yıllardan sonra petrol fiyatlarındaki aşırı artış ile enerji sektöründeki yerini genişletmiştir. Bu tarihten sonra uluslararası kullanımı sürekli artış göstermiştir. Üretici ve

tüketici konumunda birçok ülkenin ortaya çıkmasına neden olmuş ve bu değişim doğalgazın toplam enerji üretimindeki payını arttırmıştır (ANONİM, 2005k).

Bugün için dünyanın çeşitli bölgelerinde birçok doğalgaz üreticisi ülke bulunmaktadır. Bugün Batı Avrupa'nın kullandığı doğalgazın %70'i Avrupa'da üretilmektedir. Geri kalanın %90'ını dağılan SSCB ülkeleri ve %10'unu ise Cezayir karşılamaktadır. Başlangıçta sınırlı kullanımı olan doğalgaz, üretim artışı ve buna mukabil oluşan yoğun taleplerle evsel ısıtmanın haricindeki birçok değişik sektörde de tercih edilir hale gelmiştir. Doğalgaz 1989 yılında dünya toplam enerji tüketiminin % 21'ini karşılar durumdaydı. Günümüzde ise dünya enerji tüketiminin % 77'sini fosil yakıtlar karşılamaktadır ve bunun da yaklaşık 26'sı doğal gazdır. Bu oran doğal gaz kullanım trendini açıkça ortaya koymaktadır. Fosil yakıtların tespit edilen rezerv açısından gelecekteki kullanım ömrüne bakıldığında da petrolün tahminen 45 yıl sonra tükeneceği görülmektedir. En uzun ekonomik ömre sahip fosil yakıt olarak görülen kömürün ise çevreye olumsuz etkisinin fazlalığı sebebiyle sadece belli alanlarda kullanımı zorunludur. Dolayısıyla mevcut durum itibariyle çevreye olumsuz etkisi minimum olan doğalgazın kullanımının artacağı açıkça görülmektedir.

Çevre sağlığının bozulmasına ve hava kirliliğinin artmasına engel olmak amacıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yeterli düzeye gelene kadar enerji ihtiyacının doğalgazdan sağlanması en sağlıklı çözüm olarak görülmektedir. Ayrıca teknolojik gelişmelerle yeni rezervlerin keşfedileceği ve buna bağlı olarak doğalgaz fiyatının göreceli olarak düşeceği tahmin edildiğinden, doğalgazın yakın geleceğin en önemli yakıtı olacağı düşünülmektedir (ANONİM, 2005k).

Dünya doğalgaz rezervi 116 trilyon metreküp olarak tahmin edilmekte, en büyük rezerv ise 45-50 trilyon metreküp ile Rusya'da bulunmaktadır. Bu ülkeyi başta İran olmak üzere ABD, Suudi Arabistan, Katar, Cezayir, Venezuela, Kanada, Nijerya, Endonezya, Libya, Norveç, Hollanda, Meksika ve İngiltere izlemektedir. Dünyadaki doğal gaz yataklarının ülkelere göre yüzde olarak dağılımı Çizelge 3.2'de belirtilmiştir.

Türkiye Rusya'dan 1997 yılında 8 milyar m³ doğal gaz ithal etmiştir. Cezayir'den ise sıvılaştırılmış halde 2 milyar m³ gaz ithal edilmiştir.

Bugün ise Türkiye, Rusya ile Trakya üzerinden 14 milyar m³, Mavi Akım projesi ile Karadeniz'in altından çekilen boru hattı ile Samsun üzerinden 16 milyar m³ doğalgaz almak için anlaşmalar yapmıştır. Ayrıca Cezayir'den sıvılaştırılmış olarak 6 milyar m³, Azerbaycan'dan 14 milyar m³, Türkmenistan'dan 16 milyar m³, İran'dan 10 milyar m³ ve spot piyasadan da (Bahreyn, Sudan vb.) yine sıvılaştırılmış olarak 8 milyar m³ doğalgaz alımı için anlaşma yapılmıştır. Yine Irak ile 10 milyar m³'lük bir anlaşma yapılmış ancak çıkan savaş nedeniyle bu anlaşma henüz uygulamaya konamamıştır. Ayrıca Türkiye ile Mısır arasında da 10 milyar m³'lük bir anlaşma imzalanmış ve doğalgazın Akdeniz'in altından çekilen boru hattıyla Türkiye'ye getirilmesine karar verilmiştir. Ancak anlaşmanın uygulanması için Mavi Akım Projesinin başarısı beklenmektedir.

1998 yılında görülen yıllık doğalgaz tüketiminin 2.4 milyar m³'ü konutlarda, 2.2 milyar m³'ü sanayide 5.3 milyar m³'ü enerji üretiminde ve 0.78 milyar m³'ü gübre sanayiinde tüketilmekte idi.

Çizelge 3.2. Dünyadaki doğalgaz rezervleri (ANONİM, 2005k)

BULUNDUĞU YER	%
Kuzey Amerika (ABD, Kanada)	8,3
Avrupa (Batı, Kuzey Avrupa, Kuzey Denizi)	5,4
Rusya (Doğu Avrupa)	43,3
Pasifik, Orta Güney Asya	7,1
Orta Doğu (İran ve Körfez Ülkeleri)	24,6
Afrika (Cezayir, Nijerya, Libya, Mısır)	5,7
Orta ve Güney Afrika	5,5

Doğalgazın Üstünlükleri

Doğalgaz çevreyi kirletmeyen bir yakıttır. Çevreyi kirleten üç ana faktör doğalgaz dumanı içerisinde bulunmamaktadır. Bunlardan birincisi kükürt oksitlerdir. Bu madde duman gazındaki ve havadaki nemle, sülfürik asite dönüşür. Böylece hem kazan borularını, hem de asit yağmurları ile çevreyi aşındırır ve tahrip eder. Ayrıca solunması halinde insanlar için zehirleyici etkisi vardır. İkincisi is ve uçan kül parçacıklarıdır. Özellikle kömür yakılması halinde çevreye yayılan bu katı parçacıklar temizlik ve insan sağlığı açısından son derece zararlıdır. Ayrıca kazan yüzeylerini kaplayarak verimi ve ısı kapasiteyi düşürürler. Üçüncü faktör ise, yanmamış gazlardır. Bunlar içinde özellikle CO belirli dozlara ulaştığında öldürücü etkisi olan son derece zararlı bir maddedir. Her üç zararlı da doğalgaz yanma ürünlerinde bulunmamaktadır.

Yanma ürünleri içinde bulunan ve çevreye zarar veren bir başka bileşende azot oksitlerdir(NO_x). Azot oksitler fiziksel rahatsızlıklara, gözlerde yanmaya ve yüksek dozda bulunduğu boğulma hissine neden olur. Yanma ürünleri içinde NO_x oluşumunun ana nedenlerinden biri yanma sıcaklığının yüksek olmasıdır. Doğalgaz ocak sıcaklıkları yüksek olup, NO_x emisyonu da, eğer önlem alınmazsa, diğer yakıtlara göre daha az olmakla birlikte yine de önemli mertebededir. Bu yüzden kombi cihazlarına NO_x emisyonunu düşürmek için yanma odasına alev soğutma çubukları yerleştirilmiştir (ANONİM, 2005b).

Doğalgaz temiz bir yakıttır. Doğalgazın temiz bir yakıt olması kazan bakım ve işletmesi açısından önemli bir avantaj sağlar. Fuel-oil veya kömür yakılması haline kalorifer kazanı ısıtma yüzeyleri üzerinde biriken kül ve kurum tabakası hem yüzeyleri aşındırır, hem de ısı geçişini engelleyerek kazan verimini düşürür. Bu yüzden kazan boruları haftada en az bir kere temizlenmek zorundadır. Halbuki doğalgaz kullanımında böyle bir sorun yoktur.

Doğalgazın yakılması için ön hazırlama ve depolama gerekmez. Doğalgaz kullanılması halinde yakıt hazırlama ve kül atma işlemlerine gerek kalmaz. Hem fuel-oil, hem de kömür depolanmak zorundadır. Bu nedenle kazan dairelerinde yakıt tankı veya kömürlük hacimleri oluşturulmaktadır. Halbuki doğalgazda buna gerek yoktur. Yakıt doğrudan şebekeden kazana bağlanmaktadır. Özellikle yakıt depolama zorunluluğu

dolayısıyla katı ve sıvı yakıtlarda kazan dairesi bodruma yapıldığı halde, doğalgaz için kazan daireleri çatı katında da oluşturulabilir. Böylece değerli inşaat alanlarından önemli ölçüde tasarruf yapılabilir. Yakılmadan önce fuel-oil ısıtılmak, filtrelenmek ve basınçlandırılmak zorundadır. Kömür ise kırılmak, taşınmak ve kurutulmak gibi işlemlere gerek duyar. Ayrıca mekanik olarak ocağa beslenmesi istendiğinde pahalı sistemler gerekir. Halbuki doğalgazda böyle bir ön hazırlamaya gerek yoktur.

Otomatik kontrole uygundur. Doğalgaz yakıcıları tamamen otomatik kontrole, insana gerek duymadan ve emniyetli bir şekilde çalışırlar. Devreye çabuk girip, devreden çabuk çıkabilirler (ANONİM, 2005b).

Doğalgaz kazanları yüksek verimlidir. Doğalgazlı kazanlarda ısı verim de yüksektir. Bir kazanın ısı veriminin yüksek olması, kazanı terk eden duman gazlarının sıcaklığının düşük olmasına bağlıdır. Fuel-oil veya kömür yakılması halinde, daha önce sözü edilen, kükürt oksitlere bağlı asit korozyonu nedeniyle duman sıcaklıkları fazla düşürülmez. Halbuki doğalgazda böyle bir sorun olmadığından daha verimli kazanlar yapmak mümkündür. Nitekim piyasadaki kombi cihazlarının bazıları %93-95 gibi yüksek ısı verimlere ulaşmaktadır.

Doğalgaz ekonomiktir. Bütün bu temizlik, depolama, yakıt hazırlama ve kül atma maliyetleri göz önüne alınırsa doğalgaz yakılmasının gerek yatırım, gerekse işletme maliyetlerinde önemli kazançlar sağladığı söylenebilir.

Yapılan bir çalışmaya göre doğalgaz yakılması halinde sadece işletme giderlerinde fuel-oile oranla yıllık tüketimin %2'si mertebesinde bir tasarruf sağlanmaktadır. Kömür olması halinde bu kazanç daha yüksek olacaktır. Kazan verimindeki artışlar da dikkate alındığında doğalgazın diğer yakıtlara en az %10 mertebelerinde ilave işletme ekonomisi sağladığı söylenebilir (ANONİM, 2005b).

Doğalgazın diğer yakıtlara göre avantajları da şöyle sıralanabilir.

- Doğalgaz zehirsiz,külsüz ve dumansız bir yakıttır. Şehirde yaşadığımız çevre kirliliğinin önlenmesi yolunda çok ciddi avantajlar sunmaktadır.
- Doğalgazı depolamak gerekmediğinden yer tasarrufu sağlanmaktadır.

- Doğalgaz külfetsiz bir enerji kaynağıdır. Her an kullanıma hazır, nakliye ve kül taşıma sorunu olmayan bir yakıttır.
- Doğalgaz verimli ve ekonomik bir yakıttır. Doğalgaz, standartlara uyulduğunda ekonomik yakılabilen bir gazdır.
- Doğalgaz çok amaçlı kullanıma sahip bir yakıttır. Konutlarda ısınma,sıcak su eldesi ve pişirme amacıyla kullanılabilir.
- Doğalgaz temiz bir yakıt olduğundan cihazların arıza ihtimali, bakım ve işletme giderleri çok düşüktür.
- Modern doğalgaz kazanları üstün otomatik kontrol sistemlerine sahip olduklarından, bu tür kazanların kullanılması halinde emekten tasarruf ve yüksek konfor sağlanmaktadır (ANONİM, 2005b).

3.2.1.b. LPG (Likid Petrol Gaz)

Halk arasında Tüpgaz olarak bilinen Likit Petrol Gazı (LPG), ülkemizde ısınma ve aydınlatmada kullanılan vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır. LPG, ham petrolden üretildiği gibi, doğalgaz kaynaklarından da elde edilebilir. Temiz ve çevre dostu bir yakıt olan LPG, yandığında egsoz gazı, karbonmonoksit gibi çevreyi kirletici gazlar çıkarmaz, kül bırakmaz.

LPG, iki yöntemle elde edilir: Birinci yol yeraltından çıkarılan ham petrolün rafinerilerde arıtılmasıdır. İkinci yol ise doğalgazın ayrıştırılmasıdır. Ham petrolün arıtılması yoluyla sadece LPG değil, aynı zamanda benzin, motorin, fuel-oil petrol ürünleri de ortaya çıkar (ANONİM, 2005d).

LPG'nin Özellikleri

Basınç altında sıvılaştırılan LPG'nin en önemli özelliği, normal sıcaklıkta hemen buharlaşmasıdır. Kaynama noktası 0 °C altındadır. Basınçla kolay sıvılaştırılabildiğinden,

elik tüplerde rahatça depolanıp taşınabilir. Normal sıcaklıkta kolayca buharlaşabilmesi, onu diğer yakıtlara göre üstün kılan bir özelliktir. Bu nedenle büyük şehirlerden köylere kadar, ülkemizin her bölgesinde yaygın olarak kullanılır.

Aslında, renksiz ve kokusuz bir gaz olan LPG, oluşabilecek bir sızıntının hemen anlaşılması için rafinerilerde sonradan kokulandırılır (ANONİM, 2005d).

LPG'nin Temini ve Kullanım Alanları

LPG, doğalgaz kuyuları ve ham petrol rafineleri olmak üzere iki ana kaynaktan elde edilir. Ham petrolün distilasyonu ile ortaya çıkan LPG, önce sudan arıtılır. Ardından içerdiği kükürt miktarı standartlara uygun sınıra indirilir. LPG aslında kokusuz bir gazdır. Etil Merkaptan ile sonradan kokulandırılır. Amaç, açık ortamlarda kaçak olması durumunda farkedilmesini sağlamaktır. LPG, tüplü olarak konutlarda ve endüstriyel işletmelerde kullanılır. Konutlarda, özellikle ocak, şofben, kombi ve katalitik sobalar için; Endüstriyel işletmelerde, pişirme ve çeşitli prosesler için gerekli enerjiyi sağlar. LPG, dökme olarak da gerek endüstride, gerekse konut ve turistik tesislerde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Endüstride sıcak su ve buhar üretiminde, ısıl işlemlerde, kurutma, lehimleme, kesme gibi işlemlerde kullanılır. Cam endüstrisinde şekil verme ve tavlama; seramikilikte, pişirme işleminde; tekstil sanayinde, kurutma ve tlemede; metal endüstrisinde, n ısıtmada ve metalin ergitilmesinde; tarım ve hayvancılıkta, ısıtmada kullanılabilir. Konut ve turistik tesislerde ısınma, sıcak su, pişirme, buhar üretimi yapılabilir. LPG aynı zamanda Otomobillerde yaygın olarak kullanılan "evre dostu" bir yakıttır. Benzine göre daha düşük egsoz emisyon değerlerine sahip olduğu için otogaz, evre bilinci gelişmiş ülkelerde "temiz ve alternatif bir yakıt" olarak değerlendirilmektedir (ANONİM, 2005d).

3.2.1.c. Propan

Çizelge 3.3. Propanın Özellikleri (ANONİM, 2005d)

GENEL ÖZELLİKLER	BİRİM	TİCARİ PROPAN
Bileşimi		Başlıca propan (C_2H_6) Propilen (C_3H_6), etan, etilen, büten ve bütenden oluşan hidrokarbonat karışımıdır.
Kokusu		Orjinali kokusuzdur, etil merkaptan (C_2H_5SH) ile kokulandırılmıştır.
Buhar Basınçları 20 °C	Bar	9,2
40 °C	Bar	15,3
45 °C	Bar	17,0
İlk Kaynama Noktası	°C	-42
1 m ³ . Sıvının Ağırlığı	Kg	509
Sıvı Halinde Suyu Göre Nisbi Yoğunluğu		0,509
Gaz Halinde Havaya Göre Nisbi Yoğunluğu		1,5
Molekül Ağırlığı	g/mol	44,1
Gaz Hacmi / Sıvı Hacmi		272
Alt Isıl Değer	Kcal/kg	11.100
Tutuşma Sıcaklığı (Havada)	°C	480-549
Buharlaştırmadan Sonra Toplam Isıtma Değ.	kcal / kg	11.950

Çizelge 3.3. (Devam) Propanın Özellikleri (ANONİM, 2005d)

Maksimum Alev Sıcaklığı	° C	1.980
% 95 inin Buharlaşma Sıcaklığı	° C	-38,3
Yanma Ürünleri CO 2	%	11,6
N2	%	72,9
H2O	%	15,5
Maksimum Kükürt Miktarı	mg/kg	185
Bütün veya Daha Ağır Moleküllü Ürün En Çok	%-Hacim	2,5
Pentan veya Daha Ağır Moleküllü Ürün En Çok	%- Hacim	-
Propilen Miktarı En Çok	% - Hacim	-
100 ml. Nin Buharlaşmasıyla Kalan Artık Miktarı En Çok		0,05
Hava Gaz Karışımında Alt	%	2,15
Patlama Sınırları Üst	%	9,6

Propan (C_2H_2) Propilen ($C_3 H_6$), etan, etilen, bütan ve bütenden meydana gelen hidrokarbonat karışımıdır. % 95 üzerinde saflık gerekliliği ithal edilmesini gerektirmektedir. İthalatı enerji üretim amaçlı firmalarca yapılmaktadır. Çok düşük metan sayısı ve yüksek kalorifik değerine karşın motorlardaki üretimi aynı kapasitedeki gaz motoruna oranla % 65 düzeyinde kalmaktadır. Bu üretimin verimsiz olması anlamına değil, spesifik yatırım maliyetinin artması anlamına gelmektedir. Enerji bakanlığının almış olduğu kararlar sonucu enerji üretiminde kullanımı halinde atv ve afif oranlarının pratikte sıfırlanmış olması sonucu ekonomik olarak kabul edilebilir bir alternatif haline gelmiştir.

Propanın genel özellikleri için yukarıdaki tabloyu inceleyebiliriz (ANONİM, 2005d).

3.2.1.d. Dizel (Motorin)

Motorin, dizel motoru yakıtıdır. Ham petrolün birinci kuledeki damıtılması sırasında, 200 - 380 derece arasında kaynama aralığından alınan üçüncü ana ürün, motorindir.

Yanması en az problemlili ve zararlı emisyonu en düşük likit yakıttır. Ancak fiyatı sebebiyle kojenerasyonda ana yakıt olarak kullanılması ekonomik olarak mümkün değildir. Ancak gaz kesintilerine karşı, eşzamanlı şebeke elektriği kesilmesinde kullanılmak üzere yedek yakıt olarak değerlendirilebilecek en uygun yakıttır.

3.2.1.e. Nafta

Nafta rafinerilerde ham petrol rafinasyonunda üretilen bir ara üründür. Rafineride üretilen naftanın büyük bir bölümü yine rafineride akaryakıt üretiminde, veya rafinerinin yanında bulunan petrokimya tesislerinde hammadde olarak kullanılır.

Nafta temel olarak karbon sayısı 5 ile 9 olan saf hidrokarbondur. Başlangıç kaynama noktası 27°C - 28°C civarında olup, son kaynama noktası 180°C dolayındadır. Yoğunluğu 0.66 kg/lt ila 0.74 kg/lt arasında değişir. Görünüş ve kokusu itibariyle benzine çok benzer. Bu nedenle parlama noktası düşüktür ve "A Sınıfı" ürün olarak sınıflandırılır. Bu gruptaki ürünlerin çok dikkatli bir şekilde depolanması ve nakliyesi gereklidir.

Gemi ile gelen nafta, sahil tanklarına alındıktan sonra; nafta içinde bulunan suyun büyük kısmı ürünün dinlendirilmesinden sonra tankın drenajı ile (yoğunluk farkından dolayı) deşarj etmek suretiyle normal olarak dışarı atılır. Bütün bunlara rağmen nafta içinde su kalabilir ama kalan su miktarı, zarar vermeyecek seviyeye indirilebilir.

Alkali metaller nafta ile herhangi bir metal bileşiği meydana getirmez. Ancak, bu metaller çözülmüş halde su fazında bulunur. Su miktarının azaltılması naftada bulunan alkali metallerin varlığının da azalmasına neden olur (ANONİM, 2005c).

3.2.1.f. Biogaz

Organik maddeler oksijen yokluğunda ayrıştığında yani anaerobik oluşum olarak adlandırılan işlem gerçekleştiğinde hacimce %40-70 metan (CH₄), %30-60 karbon dioksit (CO₂), %1-5 diğer gazlar [%0-1 hidrojen (H₂), %0-3 hidrojen sülfür (H₂S)] içeren bir gaz oluşur. Bu ayrışım işlemi bazen doğal olarak bataklık etraflarında gerçekleşir ve oluşan gaza "bataklık gazı" denir. Bazen de bu gazlar atık su arıtma tesislerinde lağım ayrıştırılırken oluşurlar ve bu gazlara "sindirici gaz" denir. Ayrıca katı atıkların depolandığı arazi doldurulan yerlerde atıkların oluşturduğu gaza "arazi doldurma gazı" denir. Müşterek olarak, bu gaz karışımları biyogaz olarak bilinir.

Renksiz, kokusuz, yanıcı olan biyogaz için kullanılan diğer ifadeler lağım gazı, sulu çamur gazı, maden gazı, aptal ateşi, inek pisliği gazı, biyoenerji, ve "geleceğin yakıtı"dır. Yemek pişirmek ve aydınlanmak için dört kişilik bir aile günde 4248 litre biyogaz tüketir, bu da ailenin gecelik çöpü ve üç ineğin pisliğinin toplamından rahatlıkla üretilecek miktarda biyogaz demektir. Eğer gübre, mutfak atığı, bahçe atığı, malt artığı, posa artığı, market atığı, mezbaha atığı, yağlar ve diğer yerli-organik substratlar anaerobik olarak işleminden geçirilirse biyogaz üretilir.

Farklı çeşitlerden mikroorganizmalar anaerobik koşullar altında organik substratların karbonlarını metabolize ederler. Bu işlem -sindirim veya anaerobik fermantasyon- bir besin zincirini takip eder. Mesela, eğer gübre bu şekilde işleminden geçirilirse, sindirilmiş gübre taze gübreye göre çok daha az kokuyla son ürün olarak elde edilir. Buna ek olarak, bu sindirilmiş gübre nötr pH derecesine sahiptir ve bitkilere uygulandığındaki yakıcı etkisi ortadan kalkmıştır. Sindirimden sonra azot genellikle organik bağını yitirmiş olur ve amonyak (NH₄) formunda bulunur. Bundan dolayı, bitki tarafından direk olarak özümselebilir. Bu şekilde çiftçi, gübreleştirmenin basit ve ucuz bir yolunu elde eder. Pahalı mineral gübrelerden vazgeçebilir.

Üretilen biyogazın miktarı başlangıçtaki organik maddenin sadece miktarına değil kalitesine göre de değişir (ANONİM, 2005f).

İyi çalışan biyogaz sistemleri kullanıcılarına birçok açıdan fayda sağlar. Bu faydaları şu şekilde sıralayabiliriz.

Toplum ve çevre açısından genel olarak:

- Enerji üretimi (ısı, ışık, elektrik);
- Organik atıkların yüksek kaliteli gübreye dönüşmesi;
- Mikropların (patojenler), kurt yumurtalarının ve sineklerin indirgenmesindeki hijyenik koşulların gelişmesi;
- Yakacak odun toplama ve pişirme açısından işyükünün indirgenmesi;
- Toprak, su, hava ve ağaçlık bitkilenmesinin önlenmesi;

Mikro-ekonomik avantajları olarak:

- Enerji ve gübrenin yerini alması,
- Ek gelir kaynakları,
- Artan hayvan çiftçiliği ,
- Tarım kazançları yaratması;

Makro-ekonomik avantajları olarak:

- Merkezileştirilmemiş enerji nesli
- Yerli mal üretimi
- Çevresel korunum sayılabilir.

Biyogaz, bir defa kullanıldığında bir daha yenilemenin imkansız olduğu, aynı zamanda kullanıldıklarında çevreye karbon dioksit, azot dioksit ve sülfür dioksit (asit yağmurlarını oluşturan) salarak global tehlike oluşturan ve bununla beraber karbon monoksit gibi insan sağlığına zararlı gazları çevreye yayan fosil yakıtlarla kıyaslandığında çok iyi bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Diğer taraftan biyogaz kullanılırken atmosfere bırakılan karbon dioksit bitkiler tarafından fotosentezle geri alınır (ANONİM, 2005f).

Biyogaz teknolojisindeki bunca avantajı sıraladıktan sonra ülkemizdeki durumuna bakacak olursak parmakla gösterilecek derecede az ve yetersiz tesis olduğuna üzülmemek elde değildir. Daha proje aşamasında kalıp uygulamaya geçilemeyen birçok

örnek olduğu gibi uygulamada başarısız olunup yarıda bırakılan projelerin sayısı da hiç de az değildir (ANONİM, 2005f).

Avrupa'da kırsal kesime verilen önem doğrultusunda birçok kentte, hatta kasabada küçük ölçekli biyogaz tesisleri kurulmuş olmasına karşın ülkemizde kırsal kesim hep ikinci plana atılıp öncelik büyük şehirlere verildiğinden köyden kente göç engellenememiş ve bu yüzden ne kırsal kesimde ne de kentte planlı gelişim yönünde sağlıklı adımlar atılamamıştır. Bunun sonucunda büyük şehir belediyelerinin bütçeleri doğrultusunda uygulamaya çalıştıkları projelerden tam randıman alınamamıştır. Bu duruma bir örnek de İzmir'dedir. Yıllar boyunca denize dökülen her türlü atık körfezi bataklık haline getirmiş, son on yılda harcanan emeğe ve paraya karşın net bir çözüme ulaşamamıştır. Şu an yürütülmekte olan Büyük Kanal Projesi'yle şehrin tüm atığının tek bir tesiste toplanarak ayrıştırılması, konumuz olan biyogaz elde edilerek bundan faydalanılması ve çevreye zararsız hale getirilen atığın geri dönüşümünün gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Bir başka örnek olan Harmandalı Katı Atık Depo Alanı'na ilişkin oluşan problemler ise tesisin dizayn edildiği şekilde işletilememesinden kaynaklanmaktadır. Sözgelimi belediyeler arasındaki iletişim eksikliği ve ekipman yetersizliği nedeniyle evsel atıklar zaman zaman gerektiği şekilde gömülememekte; bu da martılar tarafından çöplerin karıştırılmasına neden olmaktadır. Kaynağında ayırma gerçekleşmediğinden çöpler cam, plastik, kağıt gibi niteliklerine göre ayrı olarak depolanamamaktadır. Büyükşehir Belediyesi'nde mevcut olan iş makinalarının yetersiz oluşu ve kullanım ömrünü tamamlaması nedeniyle Harmandalı Katı Atık Depo Alanı'ndaki çalışmalar verimli olarak sürdürülememiş; bu nedenle depolama alanına gelen çöpün toprağa serilmesi işi özelleştirilmiştir (ANONİM, 2005f).

Depolama Alanı'nda organik atıkların oksijensiz ortamda mikrobiyolojik olarak ayrışması sonucu metan gazı ağırlıklı olmak üzere, karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak, azotlu bileşikler vb. gazlar oluşmakta; bu gazlar herhangi bir önlem alınmadan atmosfere verildiğinde, patlamalara ve zehirlenmelere neden olarak çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenlerden dolayı; Harmandalı Katı Atık Depo Alanı'nın evsel atık depolama bölgesinde çöplerin ayrışmasından kaynaklanan depo gazlarının miktarının

belirlenmesi, toplanması, gaz yakma sisteminin projesi, inşası ve gazın elektrik enerjisine dönüşümü ile ilgili İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından 14.11.1995 tarihinde bir ihale yapılmıştır. Konu ile ilgili çalışmalar tamamlanmış olup; 5.6.1996 tarihinden itibaren yeni sistem devreye girmiştir. Halihazırda alanda mevcut gaz toplama bacalarının verimli olan 18 adedinden yüksek yoğunluklu polietilen borular yardımıyla toplanan gaz ana kollektör ile depo gazı yakma tesisine verilmektedir. 1250 m³/saat'lik gaz yakma kapasitesine sahip tesiste, depo gazları 1000 C'te yakılarak, çevreye olumsuz etkiler önlenmektedir.

Vadi şeklinde olan katı atık depolama alanının en derin bölgesi ortalama 25 m. olup; toplanan depo gazının içerisinde % 40-60 oranında metan gazı mevcuttur. Evsel atıkların depolandığı kısımdan oluşan çöp sızıntı suları çalışır durumdaki ön arıtma tesisinde kanal standartlarını sağlayacak şekilde arıtıldıktan sonra kanal sistemine verilmektedir. Önümüzdeki günlerde Büyük Kanal Projesi kapsamındaki kanal sistemine bağlanacaktır.

İstanbul'da da benzer uygulamalar denenmiş ancak şehrin altyapısı çok yetersiz olduğundan başarıya ulaşamamıştır. Zaten biyogaz uygulaması daha çok kırsal kesimlerde uygulanabilen, altyapısı yetersiz büyük şehirlerde hayata geçirilmesi zaman alacak bir sistemdir. Çıkarılacak yasalarla bu sistemi kırsal kesimde kuracak girişimciler desteklenip, çiftçi ve halk da bilinçlendirilerek kısa sürede ülkemizin en büyük sorunlarından biri olan enerji sıkıntısı ortadan kaldırılabilir. Uzun vadede ise büyük kentlerde uygulamaya sokulacak tesisler, sınırları netleştirilmiş, yaptırımı yüksek, kontrolü kolay olacak şekilde çıkarılacak yasalar ve bilinçlendirilmiş toplumla kendi kendine yetip çevreyi koruyan bir enerji kaynağına ulaşılabilir (ANONİM, 2005f).

3.2.1.g. Odun Gazı

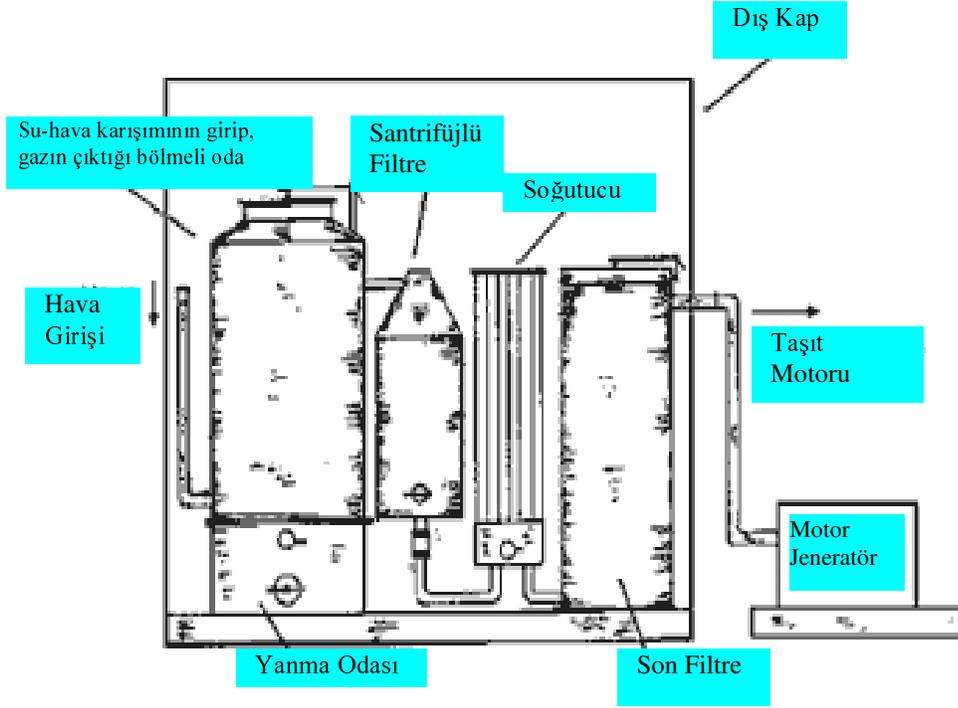
Gazlaştırma, organik maddeleri yanıcı gazlara dönüştüren bir süreçtir. Organik madde olarak odun kullanıldığı takdirde, elde edilen gaza 'odun gazı' denir ve bu gazdan elektrik eldesi, odunun doğrudan yakılmasına oranla daha verimli bir şekilde

gerçekleştirilebilir. Ayrıca, klorid ve potasyum gibi oksitlendirici kül unsurlarından, gazlaştırma sırasında kurtulunur. Bu ise sorun yaratan yakıtlardan elde edilen gazın, yüksek sıcaklıklarda yakılmasını mümkün kılmaktadır.

Süreç sırasında karbon; buhar ve sınırlı miktarda hava veya oksijenle tepkimeye girip; karbonmonoksit (CO), hidrojen molekülleri (H₂) ve karbondioksit (CO₂) üretir. Bazı gazlaştırıcılarda, gazlaştırma işleminden önce 'piroliz' uygulaması yapılır. Piroliz, organik maddelerin yüksek sıcaklıklarda, oksijenin ve suyun yokluğunda kimyasal parçalanma sürecidir. Odundan bu işlemle odun kömürü eldesi, eskiden beri kullanılan bir yöntemdir. Sanayi uygulamaları ise, basınç altında ve 430°C'nin üstündeki sıcaklıklarda gerçekleştirilerek, atıkların yakılması veya biyokütleden sıvı yakıtların eldesi amacıyla kullanılır. En yaygın olarak kullanılan 'hızlı piroliz' yönteminde, malzeme 350-500°C arasındaki yüksek sıcaklıklarda, 2 saniyeden kısa sürelerle kalmaktadır (flashing).

Odun gazı; içerdiği tar, karbonmonoksit, hidrojen ve metan nedeniyle parlayıcı bir gazdır. Tıpkı LPG gibi, otomobillerin içten patlamalı motorlarında kullanılması mümkündür. Nitekim, II. Dünya Savaşı sırasında bazı Avrupa ülkeleri benzinin askeri amaçlar dışında kullanımına kısıtlama getirince, özel otomobillere odun gazı üreten aygıtlar takılmaya başlanmıştır (ANONİM, 2005m).

Şekil 3.20'deki gazlaştırıcı, odun yongası, talaş, odun kömürü, kömür veya benzeri maddeleri yakıt olarak kullanıp, bir yanma odasında kısmen yakmaktadır. İşlem sırasında katı kül parçacıkları ve is de çıkar. İsin, gazlaştırıcıdan arada bir, gazdan ise sürekli olarak uzaklaştırılması gerekir. Gaz bu yüzden filtrelenmek zorundadır. Buna karşın çabuk aşınan motorların sık sık tamir edilmeleri gerekmektedir. Şekil 3.21'de, böyle bir aygıtlarla çalışan bir kamyonet görülmektedir (ANONİM, 2005m).



Şekil 3.20. Odun gazı üreten aygıt şeması (ANONİM, 2005m)



Şekil 3.21. Odun gazı ile çalışan bir kamyonet (ANONİM, 2005m)

3.2.1.h. Fuel Oil no:4 :

Bir diğ er uygun likit yakıttır. Ancak emisyonlarında arıtma gerekmektedir. Ayrıca fiyat açısından da ekonomik saymak mümkün olmamaktadır (ANONİM, 2005g).

3.2.1.i. Fuel Oil no:6 :

Birçok yöremizde bulunabilirliği, ülkemizde zaman zaman üretim fazlası vermesi (ithalattan bağımsız olabilme) ve enerji üretiminde kullanılması durumunda devletten gördüğü teşvik nedeniyle en uygun yakıtlardan biri olmasına karşın, gaz ve katı atıklarının arıtılması ve bertaraf edilmesinde karşılaşılan problemler ve maliyetler negatif taraflarıdır (ANONİM, 2005g).

Kojenerasyon sistemlerinde 0.54 kWh/Nm³'lük bir ısı değerine sahip düşük metan sayılı kimyasal endüstriden elde edilen gazlardan 34 kWh/Nm³'lük bir ısı değerine sahip bütana kadar birçok yakıt kullanmak mümkündür. Bu tür sistemlerde kullanılan yakıtların bazı özellikleri Çizelge 3.4' de görülmektedir.

Çizelge 3.4' deki yakıtların yanı sıra dizel türü ağır yakıtlar kullanan motorlar, LPG ile çalışan sistemlerin de çeşitli kojenerasyon uygulamalarında kullanıldığını yukarıda belirtilmiştir.

Isıl değerler incelendiğinde çöplüklerimizde, kanalizasyonlarımızda ve bu gibi atıklarımızda adeta enerji hazinelerinin yatmakta olduğu görülür. Bu atıkların kontrolsüzce çevreye atılması hem çevreyi kirletmektedir; hem de bu denli zengin enerji kaynaklarının kullanılamamasına neden olmaktadır (İNALLI ve ark., 2002).

Çöplüklerde oluşan gazlar kojenerasyon sistemlerinde değerlendirilirse hem çöplükler daha güvenli hale gelecek hem de enerjideki dar boğazın aşılabilmesinde önemli katkılar sağlanacaktır (AĞIŞ, 1998a).

Çizelge 3.4. Bazı Yakıtlar ve Bu Yakıtların Çeşitli Değerleri (İNALLI ve ark., 2002)

Yakıt	Yapısı	Öz kütlesi (kg/Nm ³)	Alt ısı değeri (kWh/Nm ³)	Metan sayısı	Lam. alev hızı (cm/sn)
H ₂	Hidrojen	0.0899	2.996	0	302
CH ₄	Metan	0.717	9.971	100	41
C ₃ H ₈	Propan	2.003	26	33	45
CO	karbon monoksit	1.25	3.51	75	24
Doğal gaz	CH ₄ %88,5 C ₂ H ₆ %4,7 C ₃ H ₈ %1,6 C ₄ H ₁₀ %0,2 N ₂ %5	0.798	10.14	80	41
arıtma gazı	CH ₄ = %65 CO ₂ = %35	1.158	6.5	135	27
çöplük gazı	CH ₄ %50 CO ₂ %40 N ₂ %10	1.274	4.98	150	20
odun gazı	H ₂ %7 CO=%17 C _n H _m %5 N ₂ %56 CO ₂ %15	1.25	1.38	13	

3.2.2. Kojenerasyon Santrallerinde Suyun Önemi

3. Binyıla girdiğimiz bu günlerde, elektrik üretiminde, enerji geri kazanımlı termik santrallerin tercih edilmesi bütün dünyada iyiden iyiye yaygınlaşmıştır. Bu tesislerin yüksek verimde çalışmaları otoprodüktörlük sektöründe parola haline gelmiştir. Sektör suyun üstün termodinamik özelliklerini, gelişen teknolojiler sayesinde çok iyi değerlendirmiştir. Kojenerasyon tesislerinin riskleri güvence altına alınırken, tesiste kullanılacak sudan kaynaklanan riskler de suyu arıtıp ileri derecede saf su haline getirerek sıfırlanmıştır. İşte bu nedenle kojenerasyon santrallerindeki buhar türbinlerine verilen buharın elde edilmesi için ihtiyaç duyulan suyu istenen saflıkta üreten, “Kazan Besi Suyu Hazırlama Tesisi” nin verimi ve kalitesi daha fazla önem kazanmıştır.

Buharın havadan daha elverişli soğutucu bir akışkan olması ve soğutma işlemi esnasında gaz türbininden kazandığı ısı enerjisini, havadan daha verimli bir şekilde geri kazanılan enerji olarak transfer etme özelliğinden yararlanarak gaz türbinlerinde hava ile sağlanan soğutmanın yerini, buhar ile soğutma aldı. Böylece; buharın gaz türbinini soğuturken kazandığı enerji de değerlendirilmiş oldu. Buna karşılık potansiyel bir problem olan yüksek sıcaklıktaki korozyon sorununu bertaraf etmenin ancak su arıtma teknolojisinin metodlarını uygulamakla sağlanacağı anlaşıldı. Gaz türbinlerinin su buharı ile soğutulması teknolojisi bugün Westinghouse, GE ve Siemens tarafından uygulanmaktadır (ÜDER, 2005).

Gaz türbinlerinin soğutulmasında kullanılan buharın kalitesi hakkında imalatçı firmaların kendi teknik şartları ve istekleri vardır. Su arıtma tesisinde herhangi bir nedenle su arıtımının aksaması, santralin işletme giderlerini olumsuz şekilde etkileyeceği gibi tesisin elektrik üretimini sekteye uğratabilecek kadar büyük kayıplara sebep olabilir. Bu nedenle; bir santralin işletmesinden sorumlu olanlar Su Arıtma Tesislerinin faaliyetini en gelişmiş cihazlarla sürdürmek ve gözlemek durumundadırlar.

Kojenerasyon santrallerindeki su arıtma tesisleri, ürettikleri suyun kalitesine ve kullanma maksatlarına göre adlandırılırlar. Genel olarak buhar kazanlarında üretilen buharı sağlamak için kazana verilen arıtılmış suyu üreten tesislere “Kazan Besi Suyu Hazırlama

Sistemi” denir. Kazan Besi Suyu Tesisi ; şayet düşük ve orta basınçlı buhar kazanı için arıtılmış su üretiyorsa “Dealkalize Su Üretim Tesisi”, yüksek basınçlı buhar kazanı için su üretiyorsa “Demineralize Su Üretim Tesisi” diye anılır (ÜDER, 2005).

Su Arıtma Teknolojileri; Termik Santrallerin bugünkü ileri teknolojilere ulaşınca kadar geçirdiği safhalara paralel bir süreç içinde bütünün bir parçası gibi gelişerek bugünkü ileri seviyesine ulaşmıştır. II. Dünya savaşından sonra git gide daha yüksek basınçta buhar üreten buhar kazanları imal edilip geliştirilmiş bu da daha kaliteli kazan besi suyu ihtiyacını doğurmuştur. Su arıtma teknolojisinde 1950’lerden itibaren reçineli iyon değiştirme (IX) sistemi ile arıtılmış saf su üretimi, hem metod olarak hem de reçine cinsleri ve kalite olarak devamlı gelişme göstermiş bir yöntemdir.

Zaman içerisinde su arıtma tesislerinin verimleri artarken rejenerant sarfiyatları azaldı ve kaliteleri yükseldi. Su arıtma sistemlerinde kullanılan ölçü cihazları, kontrol cihazları, kumanda cihazları, gözetim cihazları aynı hızda gelişerek saf su üretimi, işletmecilerin direkt gözetimlerine girdi (ÜDER, 2005).

Dünyada bu pazara reçine sunan 10 adet firmadan pazarı paylaşan ilk 5 firma sırasıyla;

- 1.ROHM & HAAS-USA
- 2.DOW CHEMICAL-USA
- 3.PUROLITE-USA
- 4.MITSUBISHI-JAPONYA
- 5.BAYER CORP.-ALMANYA

gelmektedir. 1970’lere gelindiğinde su arıtmada filtrasyon ve seperasyon metodlarına, membran teknolojisi eklendi ve membran üreticileri hızla geliştirdikleri membran çeşitleri ile su arıtımında devrim yarattılar. Nihayet suyun içindeki yabancı maddelerin büyüklüklerine göre 1 mikrondan başlayarak, mikrometrenin binde biri olan nanometrelerin binde birlerine kadar inen küçüklükteki partiküllerle, suda çözünmüş haldeki molekül bazında, bütün maddeleri sudan ayırabilen membranları ürettiler (ÜDER, 2005).

Membranlar sudan ayırdıkları yabancı maddelerin partikül ebatlarına göre ;

- Mikrofiltre
- Ultrafiltre
- Nanofiltre
- Hiperfiltre

olarak sınıflandırılmıştır. Hiperfiltrasyon, Revers Osmos (RO) diye adlandırılmaktadır.

Membran üreticileri; DuPont Co, Hydranautics, Koch Fluid Systems, Osmonics, Toray, Dow Film Tec. ve Toyobo TriSep firmalarıdır.

Membran teknolojisi ile su arıtımında; su filtrelemenin hemen her kademesindeki membranlardan geçirildikten sonra nihayet Revers Osmos (RO) membranlarından geçirilir. Böylece suyun içindeki mineralleri molekül bazında ayırır. Demineralizasyon işlemini de belli bir seviyeye kadar gerçekleştirir. Fakat, buhar türbininde istenmeyen silica gibi maddeler Revers Osmos (RO) membranları ile istenen seviyede bertaraf edilemezler. Bu nedenle buhar türbinini korumak için Revers Ozmos (RO) membran grubunun sonuna muhakkak reçineli iyon (katyon ve anyon) tutucu (IX) veya Elektrodeiyonizasyon (EDI) cihazı konmalıdır (ÜDER, 2005).

Elektrodeiyonizasyon cihazı, doğru akım elektrik enerjisi ile çalışmakta olup içindeki reçinelerin rejenerasyon gereksimleri yoktur. Endüstrinin; Elektronik Sanayi, Yarı İletkenler Sanayi, İlaç Sanayi gibi bazı dallarında ihtiyaç duyulan ileri derecede saf su üreten tesislerde Revers Ozmos (RO) + Elektrodeiyonize (EDI) cihazları tercih edilmektedir.

Ülkemizin otoprodüktör sektörünün kojenerasyon santrallerindeki demineralize su üretim tesislerinde; verimlilik, yatırım maliyeti, işletme giderleri, bakım giderleri ve daha önemlisi, kojenerasyon tesisini durdurma rizikosunu olmayışı gibi üstünlükleri nedeniyle reçineli iyon değiştirme (IX) sistemini kullanmak daha avantajlı olacaktır (ÜDER, 2005).

3.2.3. Kojenerasyon Sistemlerinde Atık Isının Kullanım Çeşitleri

Isının geri kazanım türleri aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir :

- **Ortam ısıtma** : Sıcak su, buhar, sıcak hava
- **Kurutma prosesi** : Sıcak su, buhar, sıcak hava veya gaz
- **Kazan besisi suyu ön ısıtma** : Kızgın su
- **Yağ alma ve temizleme** : Sıcak su
- **Proses buharı sağlama** : boru testi, çamaşırhane vs.
- **Kızgın buhar üretimi** : Kombine çevrimli santral
- **Ergitme (plastik)** : Kızgın yağ üretme
- **Absorpsiyonlu soğutma makinesi** : İklimlendirme Sistemi

Atık ısıdan soğutma amaçlı yararlanılmadıkça yaz aylarında sistem verimi çok düşecek, sadece elektrik üretir konuma gelinecektir. Absorpsiyonlu soğutma sisteminin pahalı, büyük ebatlı, işletmesi zor ve sık bakım gerektiren bir sistem olmasından dolayı bu sistemin kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır. Üstelik verdiğiniz 100 birim ısı enerjisinden ancak 60-65 birim soğutma alabilirsiniz. Dolayısıyla elektriğe oranla verimsiz bir çözüm gibi gözükmesine rağmen (ki 100 birim elektrik enerjisinden, 150-200 birim soğutma enerjisi alabilirsiniz) absorpsiyonlu sistemde kullanılan ısının tamamen atık ısı olduğu düşünülürse sistemin verimliliği ortadadır. Yukarıda bahsedilen sorunların çözülmesi kojenerasyonun önünde yepyeni bir ufuk açacaktır (ANONİM, 2005i).

Sıcak su ve buhar üreten sistemlerde ise atık ısının; gaz motorlarında yaklaşık %70'i sıcak suya, %30'u buhara; gaz türbinlerinde ise yaklaşık %45'i sıcak suya, %55'i buhara dönüştürülebilir.

Bu atık ısının kojenerasyon sisteminden çekilme şekli daha önceki, gaz türbinli kojenerasyon tekniği ve gaz motorlu kojenerasyon tekniği kısımlarında açıklanmış ve prensip şemalarında gösterilmiş olduğu üzere;

Gaz motorlarında :

Gaz motorunun yağlama devresi,

Yanma sonucu oluşan egsoz gazları ve şarj havası,

Silindir bloğu soğutma suyu devresi,

Gaz türbinlerinde ise :

Türbin egsoz çıkışına direkt olarak konulan bir ısı eşanjörü (atık ısı kazanı) aracılığıyla
(ANONİM, 2005i).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Kojenerasyon Sistemlerinin Klasik Sistemlerle Karşılaştırılması

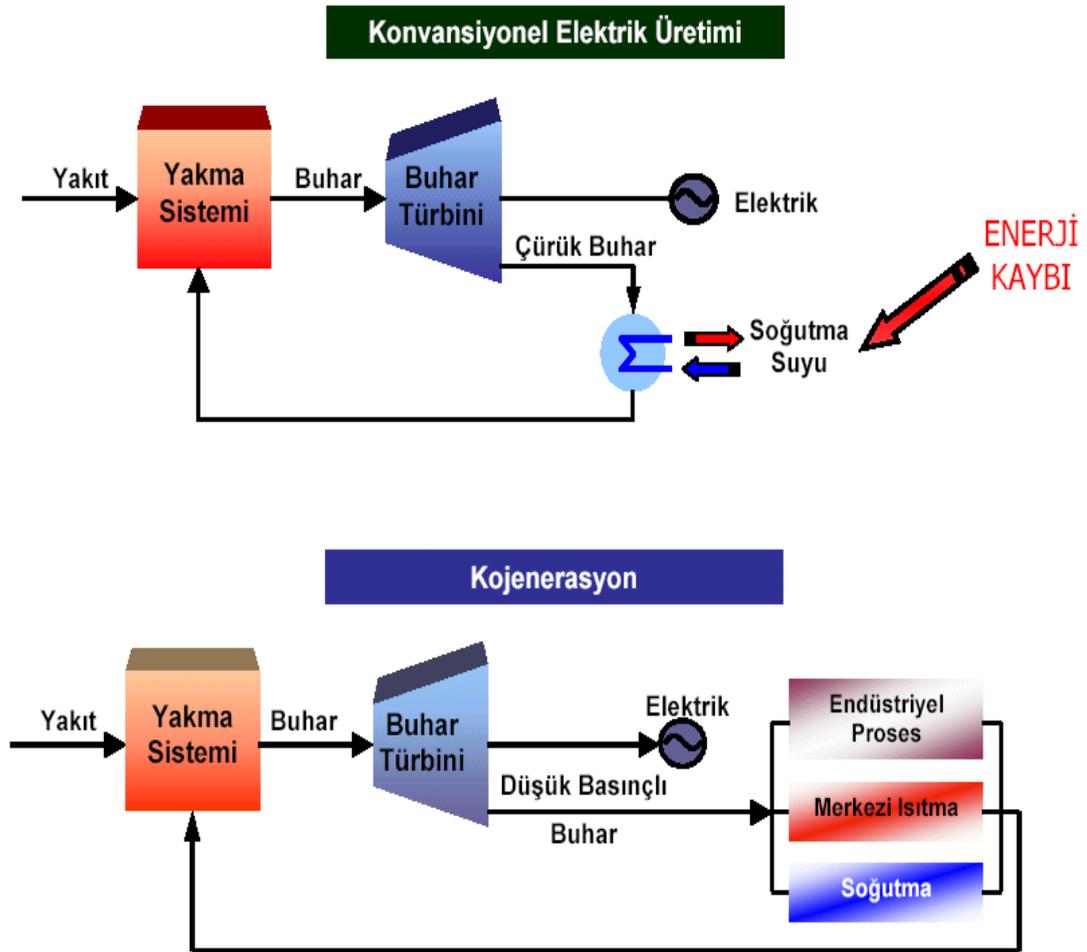
Basit çevrimde çalışan yani sadece elektrik üreten bir gaz türbini ya da gaz motoru kullanıldığında enerjinin %25-40 kadarı elektriğe çevrilebilir. Ancak sistem bir kojenerasyon sistemine çevrildiğinde bu verim %90'lara kadar çıkabilmektedir. Bu da kojenerasyon sistemlerinin basit çevrime dayanan klasik sistemlere göre en önemli üstünlüğüdür (ANONİM, 2005g).

Ayrıca kojenerasyon sistemlerinin sadece ısı ya da sadece elektrik üreten sistemlere göre diğer üstünlüklerini şu şekilde sıralayabiliriz.

Makro düzeyde :

1. Yüksek birincil enerji kullanım verimliliğinin sağladığı yerel veya ithal enerji kaynaklarının tasarrufu
2. Enerji dönüşümünde verim artışı
3. Enerji çevriminin tüketim yerinde gerçekleştirilmesi sonucunda elektrik enerjisi iletim ve dağıtım kayıplarının yok edilmesi
4. Merkezi santrallere göre daha kısa inşaat ve devreye alma sürelerinin sağladığı hızlı elektrik enerjisi arz satışı
5. Üretilen yararlı ısı güç birimi başına çevreye atılan katı, sıvı ve gaz madde miktarının, yalnız elektrik üreten merkezi enerji santrali veya yalnız buhar üreten bir endüstri kazanına göre daha az olması ve daha az CO₂, SO₂ ve NO_x emisyonu
6. Sanayi tarafından tüketilen elektrik enerjisinin az sayıda merkezi santral yerine, dağılmış bir şekilde endüstriyel tüketim yerlerinde üretilmesinin ulusal güvenliğe sağlayacağı katkı
7. Şebeke ile paralel çalışabildiklerinden, ihtiyaç fazlası ya da eksikliği elektrik enerjisinin şebekeye satılabilmesi ya da şebekeden alınabilmesi

8. Devamlı gelişmekte olan kojenerasyon santrallerinin yeni iş sahaları açarak ekonominin canlanmasına yardımcı olacak olması
9. Enerjinin her zaman yedeklenebilir olması
10. Büyük oranda maliyet düşüşüyle beraber sanayii ve konut ısıtılmasında rekabet ortamına alternatif sunulması ve kaliteli, sürekli ısı enerjisi sunulması
11. Bazı durumlarda kullanılan yakıtların atık ürünlerinin kojenerasyon santrali ile uzaklaştırmaya gerek kalmadan sisteme geri dönmesinin sağlanması (DOĞAN, 2003; ANONİM, 2005g; ANONİM, 2005l).



Şekil 4.1. Kojenerasyon Sistemleri ile Klasik Sistemlerin Enerji Kaybı Yönünden Karşılaştırılması (ANONİM, 2005h)

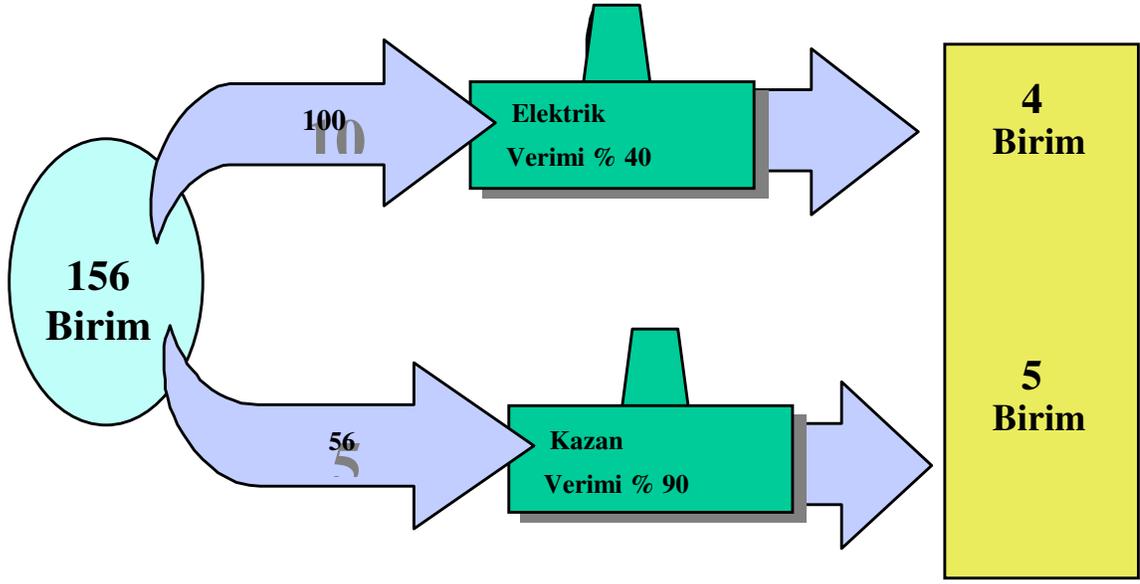
İşletme bazında:

1. İşletmede daha düşük maliyette elektrik ve ısı üretilerek, elektrik ve yakıt giderlerinde %40-60 oranında tasarruf sağlanılacaktır.
2. İşletmenin azalan toplam enerji giderleri, nihai ürün kalitesini düşürmeden maliyetini azaltacak, şirketin rekabet gücü artacaktır.
3. İşletmenin enerji temin güvencesi olacak, üretim kesintilerinin yol açtığı zararlar ortadan kalkacaktır. Elektrik kesintilerinden dolayı ortaya çıkan üretim zaman kaybı ve şebekedeki elektriğin dalgalanmalarından ortaya çıkan sorunlar kojenerasyon sistemleriyle ortadan kaldırılacaktır.
4. Klasik sistemlere göre çok çeşitli yakıtlar kullanılabilir (ANONİM, 2005g; ANONİM, 2005l).

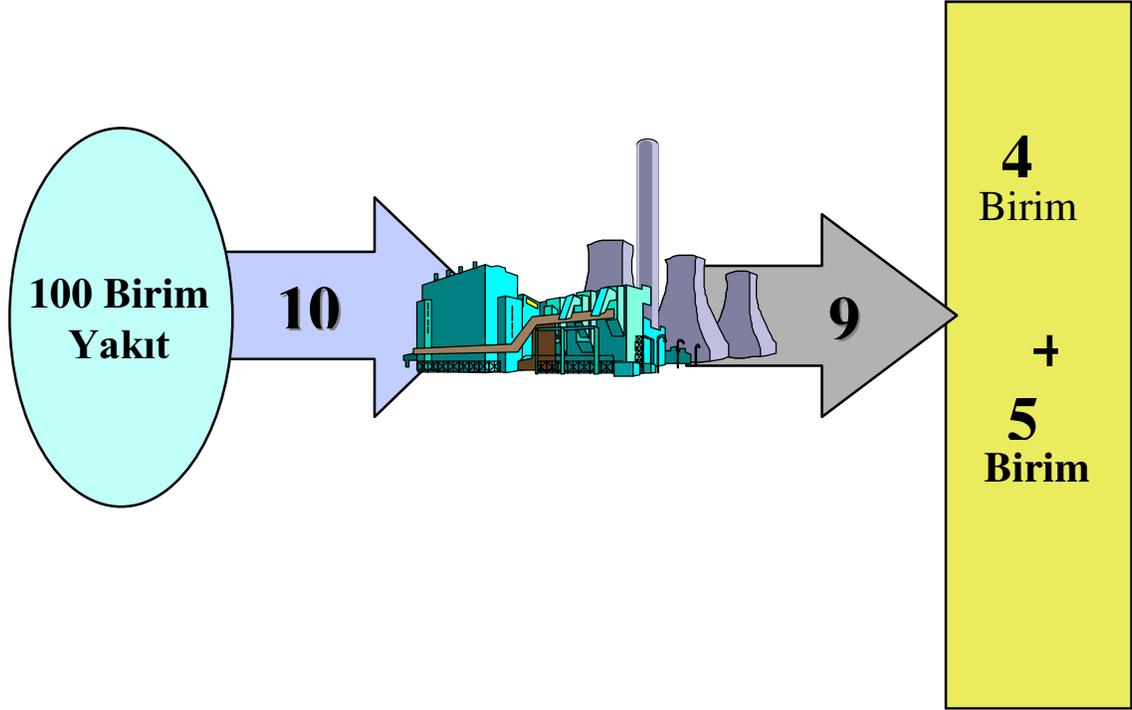
İyi planlanmış bir kojenerasyon santrali geleneksel santral düzenlerine göre daha yüksek bir verim ile daha ucuza enerji maliyeti olanağı sağlar. Kojenerasyon santrallerinin başarısı ucuza elektrik enerjisi üretmek olsa da başarısının asıl sırrı ısı enerjisinin geri dönüştürülerek faydalı enerji olarak sisteme dahil edilmesinden geçer. Yapılan istatistiksel hesaplar sonucunda bir kojenerasyon santralinin ekonomik olabilmesi için yılda en az 4500 saat ısı enerjisi üretimi ve karşılığında tüketimin gerçekleşmesi gerekmektedir. Tek bir yakıttan üretilen ısı ve elektrik enerjisi günlük yük eğrisi iyi hesaplanmış bir şekilde üretilmelidir.

Kojenerasyon sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri şüphesiz konvansiyel sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinden yüksek olacaktır. Ancak kojenerasyon santralleri ortama 3-4 yıl gibi bir zamanda maliyetini amorti ederler.

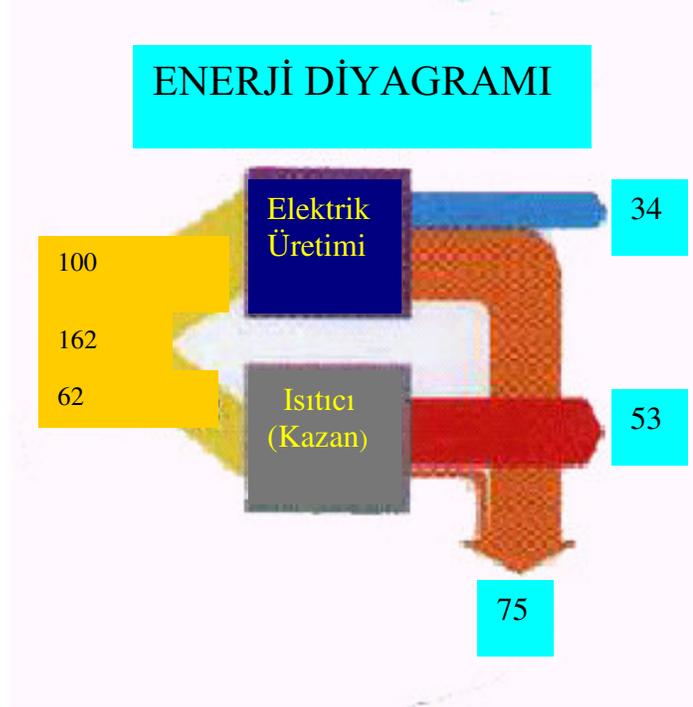
Konvansiyonel bir tesiste, yakıtla giren enerjinin, kullanılan yakıt/teknoloji kombinasyonuna bağlı olarak, %35-50'si elektriğe dönüştürülebilmektedir. Kojenerasyon sistemlerinde ise, 100 birimlik enerji girdisinin, 30-40 birimi elektrik enerjisi ve 50-60 birimi de ısıl enerji olmak üzere, toplam 90 birime kadarı geri kazanılabilmektedir. Kojenerasyon uygulanmazsa; elektrik ayrı bir tesisten, buhar da başka bir sistemden elde edilecektir ki, bu durumda kojenerasyon örneğindeki 90 birim ikincil enerjiyi elde etmek için 156 birim yakıt gerekecektir (ANONİM, 2005h).



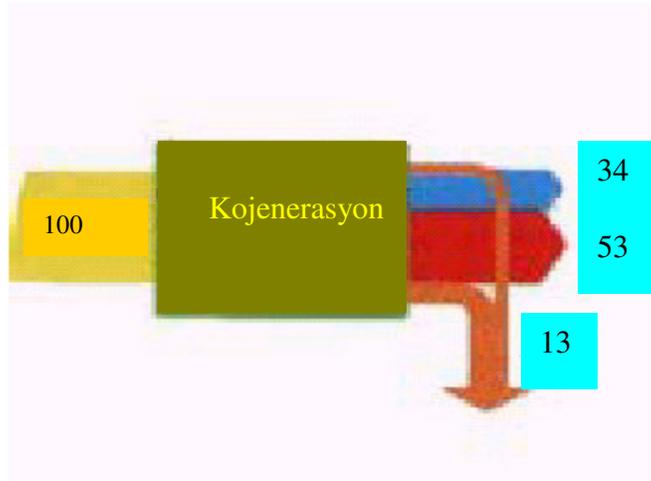
Şekil 4.2. Klasik sistemlerde verim şeması (TOPUZ, 2001)



Şekil 4.3. Kojenerasyon sistemlerinde verim şeması (TOPUZ, 2001)



Şekil 4.4. Geleneksel Yöntemlerde Verim ve Kayıp Enerji (DOĞAN, 2003)



Şekil 4.5. Kojenerasyon Santralindeki Verim ve Kayıplar (DOĞAN, 2003)

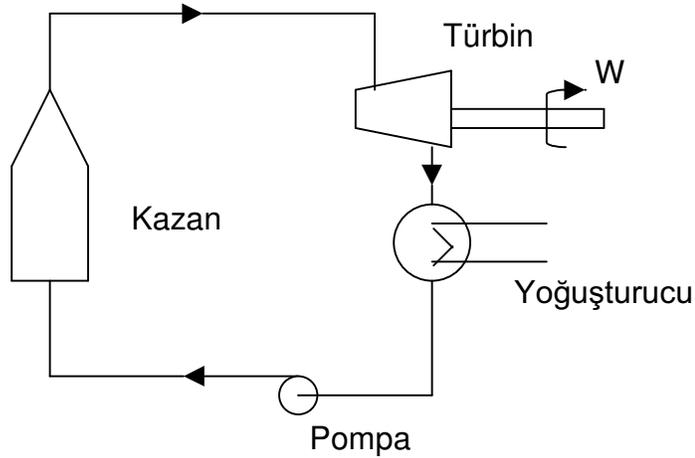
4.2. Kojenerasyon Tekniklerinde Kullanılan Çevrimlerin Karşılaştırılması

Bileşik ısı-güç üretimi veya kojenerasyon, ısı ve elektriğin aynı sistemde bir arada üretilmesi anlamına gelir. Bu amaçla herhangi bir ısı makinesi kullanılabilir.

Termodinamiğin ikinci yasasına göre, bir ısı makinesi veya güç santrali tükettiği yakıt enerjisinin ancak belirli bir bölümünü işe veya elektriğe dönüştürebilir. Geri kalan enerji çevreye ısı olarak verilir. Bileşik ısı-güç üretiminde çevreye atılan bu enerjiden yararlanılır.

Aşağıda bileşik ısı-güç üretimi için kullanılacak farklı sistemler ele alınmış, teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılmıştır (ANONİM, 2005i).

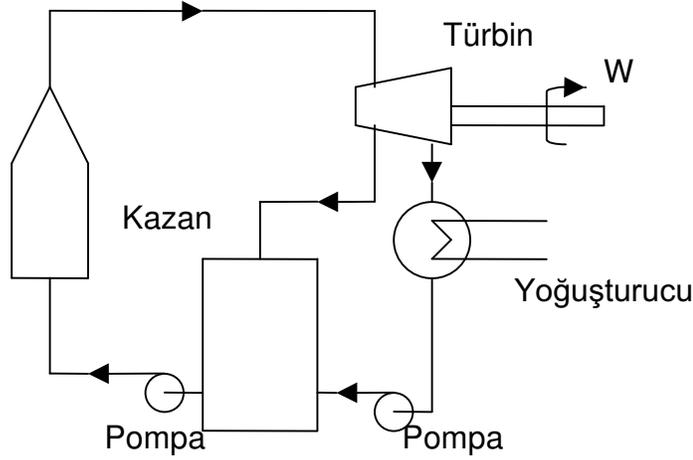
Bileşik ısı-güç üretimi için kullanılacak sistemlerden biri kazan-buhar türbini seçeneğidir. Buhar çevrimine dayalı bu sistemde karşı basınçlı ve ara buhar almalı-yoğusturuculu olmak üzere iki farklı düzenleme düşünülebilir. Bu düzenlemeler Şekil 4.6 ve 4.7' de gösterilmiştir. Her iki çevrimde de her türlü yakıt kullanılabilir.



Şekil 4.6. Karşı basınçlı buhar türbini çevrimi (ANONİM, 2005i)

Karşı basınçlı çevrimde, buhar, türbin çıkışında, ısıtma sıcaklığına karşı gelen doyma basıncında yoğusturulur. Böylece yoğusturucu, ısıtma şebekesine verilen ısının kaynağı olur. Karşı basınçlı buhar çevriminin ısı verimi %20 dolaylarındadır ve bu tür sistemlerin elektrik üretim güçleri 1 ile 10 MW arasında değişir. Bu sistemlerde elektrik-ısı

oranı 0.15 ile 0.2 arasında olup, verilen bir çevrim için sabittir. Üretilen elektrik veya ısının miktarı, türbinden geçen buhar debisini azaltarak veya çoğaltarak değiştirilir.

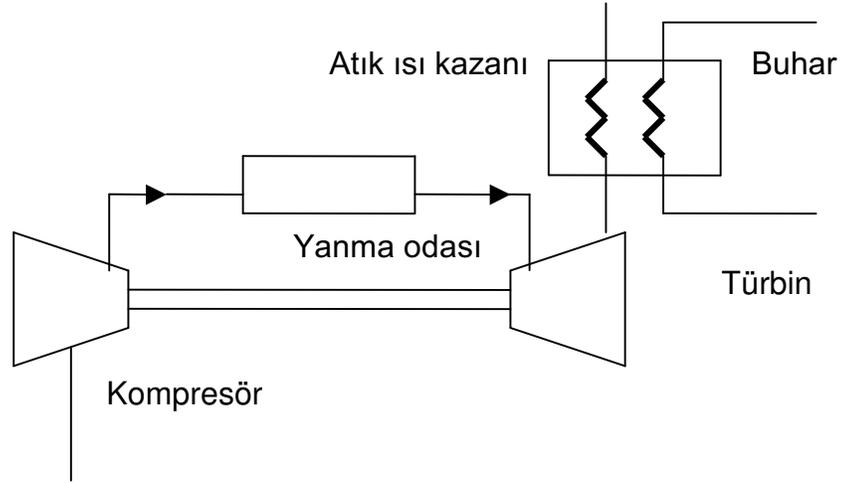


Şekil 4.7. Ara buhar almalı yoğuşturuculu buhar türbini çevrimi (ANONİM, 2005i)

Ara buhar almalı-yoğuşturuculu çevrimde ise yoğuşturucu basıncı atmosfer basıncının çok altındadır. Buhar 30-40 derece arasında bir sıcaklıkta yoğuşur. Isıtma enerjisi ise daha yüksek bir basınçta türbinden ayrılan buharla sağlanır. Ara buhar almalı buhar çevriminin ısı verimi %20-%30 arasındadır, elektrik üretim gücü ise 10 ile 50 MW arasında değişir. Elektrik ısı oranı türbinden ayrılan buhar miktarını azaltarak veya çoğaltarak değiştirilebilir. Bu bakımdan ara buhar almalı çevrim, çalışma süresince değişen ısı ve elektrik yüklerini karşılamada daha esnektir. Elektrik-ısı oranı, türbinden ayrılan buhar miktarına bağlı olarak 0.15 ile 0.4 arasındadır.

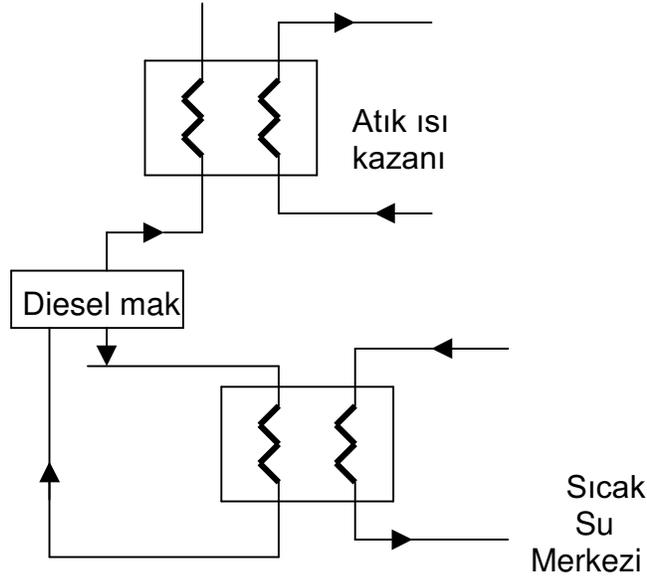
Bileşik ısı-güç üretimi için kullanılacak bir başka seçenek Şekil 4.8'de gösterilen gaz türbini-atık ısı kazanı düzenlemesidir. Bu düzenlemede çıkan yüksek sıcaklıktaki gazlar bir atık ısı kazanında buhar veya sıcak su üretmek için kullanılır. Elektrik üretim gücü 2 ile 50 MW, ısı verim ise %25 ile %30 arasındadır. Gaz türbinlerinde doğal gaz, LPG veya nafta yakıt olarak kullanılabilir. Bu tür santrallerde elektrik-ısı oranı 0.5 mertebesinde. Türbin çıkışına konacak olan bir yönlendirme (bypass) mekanizması ile atık gazlar ısı gereksiniminin az olduğu zamanlarda, kazana gönderilmeyerek doğrudan atmosfere verilebilir. Bileşik ısı-güç üretiminde kullanılan gaz

türbinleri, uçak motorlarının tasarımına dayanan aero-derivativ türden veya yer santrallerinde kullanılan ağır (heavy duty) türden olabilir (ANONİM, 2005i).



Şekil 4.8. Gaz türbinli bileşik ısı-güç sistemi (ANONİM, 2005i)

Bileşik ısı-güç üretiminde son yıllarda yaygınlaşan bir başka uygulama Şekil 4.9'da görülen dizel veya gaz motoru ile atık ısı kazanının kullanılmasıdır. Bu düzenlemede motorun egsoz gazları bir atık ısı kazanından geçirilerek buhar veya sıcak su üretmek için kullanılır. Ayrıca motorun soğutma suyundan, sıcak su üretimi için yararlanılabilir. Elektrik üretim gücü 0.5 ile 10 MW, ısıl verim ise %40 ile %50 arasındadır. Dizel veya gaz motorlu bileşik ısı-güç üretiminde elektrik ısı oranı yaklaşık 1'dir. Burada da, atık gazlar ısı gereksiniminin az olduğu zamanlarda, bir yönlendirme mekanizmasıyla doğrudan atmosfere verilebilir. Dizel veya gaz motorlarında yakıt seçenekleri motorin, doğal gaz, LPG ve naftadır (ANONİM, 2005i).



Şekil 4.9. Dizel motorlu bileşik ısı-güç sistemi (ANONİM, 2005i)

4.3. Kojenerasyon Sistemleri ve Bölgesel Isıtma

Türkiye birincil enerji kaynakları açısından kendi kendine yeterli bir ülke değildir. Enerji açığı olarak tanımlanan, birincil enerji tüketimi ile üretimi arasındaki farkın günümüzde 50 milyon TEP (ton eşdeğeri petrol, 1 TEP=41800 MJ) olduğu düşünülmekte ve 2010 yılında 100 milyon TEP olması beklenmektedir. Birincil enerji tüketiminin yüzde 60'a yakını oluşturulan petrol ve doğal gaz büyük ölçüde dışarıdan alınmaktadır. Enerji açığını kapatmak için yapılacak birincil enerji ithalatının bedeli, bugünkü fiyatlarla 10 milyar dolar, 2010 yılında ise 20 milyar doları bulacaktır (ANONİM, 2005i).

İkincil enerji türleri, elektrik enerjisi ve ısıl enerjidir. Isıl enerji konutlarda ısıtma, sanayide proses ısısı olarak kullanılmaktadır. 1996 yılı itibariyle, Türkiye'nin enerji üretimi için kurulu gücü yaklaşık 23 000 MW'dır. Kurulu gücün yaklaşık yarısı termik, yarısı hidroelektrik santrallerdir. Termik santrallerin yüzde 55'i linyit, yüzde 25'i doğalgaz yakan santrallerden oluşmaktadır. 1996 yılında yaklaşık 90 milyar kWh olan elektrik tüketiminin hemen tümü yerli üretimle karşılanmış, ancak daha sonraki yıllarda tüketim, üretimi az da

olsa aşmıştır. Aksayan enerji yatırımları nedeniyle, önümüzdeki yıllarda elektrik açığının oluşması beklenebilir. Elektrik üretmek için 2010 yılına kadar sisteme her yıl 3 ila 6 MW kurulu güç eklemek başka bir değişle 3 ila 6 milyar dolar yatırım yapmak gerekecektir. Buna ek olarak doğal gazın taşınması için boru hatlarının yapımı, elektrik dağıtımında yüksek ve alçak gerilim hatlarının geliştirilmesi zorunlu olacaktır.

Verilen bu bilgiler Türkiye'nin enerji sorununun önemli boyutlara ulaştığını ortaya koymaktadır. Açıkça görüleceği gibi birincil ve ikincil enerji tüketiminin, etkin kullanımla, olabilecek en alt düzeyde tutulması, enerji politikasının önemli bir amacı olmalıdır. Bileşik ısı-güç üretiminin yaygınlaşması birincil enerji kaynaklarından yararlanma oranını artırmanın yanısıra kurulu güce yapacağı katkı bakımından bu amaca hizmet edecektir. Konutların ısıtılması için gerekli enerjinin bileşik ısı-güç santrallerinden sağlanması durumunda her 1 MW santral gücü için, ülke olarak yıllık tüketimimizden yaklaşık 700 ton yakıt azalacak ve bu durumda her yıl 175 bin dolarlık bir tasarruf yapmak mümkün olacaktır. Özellikle yeni kurulan yerleşim bölgelerinde bileşik ısı-güç üretiminin uygulanması kolay olup, özendirilmelidir. Yeni yerleşim bölgelerinde bu konuda bir ön çalışmanın yapılması yasa ile zorunlu kılınmalıdır (ANONİM, 2005i).

4.3.1. Bölge Isıtması

Bölge ısıtması, bir yerleşim biriminin bir veya birkaç merkezde kurulan santrallerle ısıtılmasıdır. Yerleşim birimi, bir site olabileceği gibi, bir mahalle veya bir kent de olabilir. Bazı uygulamalarda ısı santralleri sıcak su veya buhar üreten kazanlardan oluşur. Başka bir değişle santralde sadece ısı üretilir. Bazı santrallerde ise ısı ve elektrik birlikte üretilir. Bu tür santrallerde buhar türbini, gaz türbini veya diesel (gaz) motoru kuruludur.

Bölge ısıtmasının, her apartmanın veya konutun ayrı ayrı ısıtılmasına oranla bazı avantajları vardır. Bunların arasında atıkların denetlenerek çevre kirliliğinin önlenmesi, yakıtın ekonomik yakılması, yakıt seçeneklerinin fazlalığı öncelikle belirtilmelidir. Bölge

ısıtmasının en büyük dezavantajı ise ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır. Ancak planlı ve düzenli yerleşim bölgeleri ile maliyeti azaltmak olanaklıdır.

Bir bölge ısıtma sistemi, ısı üretim merkezi, dağıtım şebekesi ve kullanıcı bağlantılarından oluşur (ANONİM, 2005i).

Isı üretim merkezi, kazanlardan oluşan bir ısı santrali olabileceği gibi, bir bileşik ısı-güç santrali de olabilir. Santralde, ısının dağıtımı için aracı akışkan işlevini gören sıcak su veya buhar üretilir. Günümüzde aracı akışkan olarak sıcak su kullanımı çok daha yaygındır. Santralde ayrıca aracı akışkanı şebekede dolaşımını sağlayan pompalar bulunur.

Santralde üretilen sıcak su veya buhar bir boru şebekesinde dolaşarak, ısı enerjisinin dağıtımını sağlar. Suyun santralden çıkış sıcaklığı 90 ile 120° C arasında olabilir. Şebekedeki sıcaklık düşümü ise 10 ile 30° C arasındadır. Boru şebekesi kanalların içine yerleştirilebileceği gibi, yer üstünde veya toprağa gömülü de olabilir. Günümüzde çelik bir koruyucu kılıf içinde yalıtılmış plastik veya çelik borular yaygın olarak kullanılmaktadır. Dağıtım sisteminde ayrıca genleşme elemanları, vanalar, yardımcı pompalar yer alır.

Kullanıcı bağlantıları, şebeke ile konut arasında ısı enerjisi aktarımını sağlayan eşanjör ve konut içindeki ısıtma tesisatından oluşur (ANONİM, 2005i).

4.4. Kojenerasyon Sistemlerinin Ekonomik Uygulanabilirliği

Kojenerasyon sistemlerinin işletmelere sağladığı faydaları daha önceki bölümlerde incelemiştik. Şüphesiz işletmeler açısından en önemli fayda bu sistemlerin işletmelere sağladığı karlılıktır. Bu faydaların tam olarak belirlenmesi için ekonomik analizlerinin yapılması zorunludur. Elektrik ve ısı enerjisinin kojenerasyon sisteminde elde edilmesinde üç masraf grubu vardır. Bunlar yatırım, yakıt, işletme ve bakım masraflarıdır. Yatırım masrafları bir kez yapılır ve işletmenin çalışma süresinden bağımsızdır. Yakıt masrafları işletmede kullanılan kojenerasyon sisteminin tipine, yakıt cinsine, yakıtın fiyatına ve yakıtın ısı kalitesine bağlıdır. Bu masraf grubu kojenerasyon sisteminin çalışma süresine bağlı olarak değişmektedir. Yakıt seçimi yapıldıktan sonra yakıt fiyatı haricindeki diğer

parametreler sabit kalır. İşletme ve bakım masrafları ise işletmenin çalışma süresine bağlı olarak değişen bakım giderleri ile personel v.b. gibi sabit giderlerin toplamından oluşur. Bu üç masraf grubunun belirli bir süre için toplamı kojenerasyon sisteminin giderlerini oluşturur. Sistemden tek ürün elde edildiği durumlarda birim ürün maliyetleri, belirli bir sürede yapılan toplam masrafların aynı sürede üretilen ürün miktarına bölünmesiyle bulunur. Kojenerasyon sistemlerinde ise iki ürün olduğundan, yapılan toplam masrafların bu ürünlere dağıtılması birim ürün maliyetlerinin belirlenmesi için gereklidir. Değişik çalışmalar da bu dağıtımı yapmak için farklı yöntemler kullanılmıştır (AKKAYA ve ark., 2004).

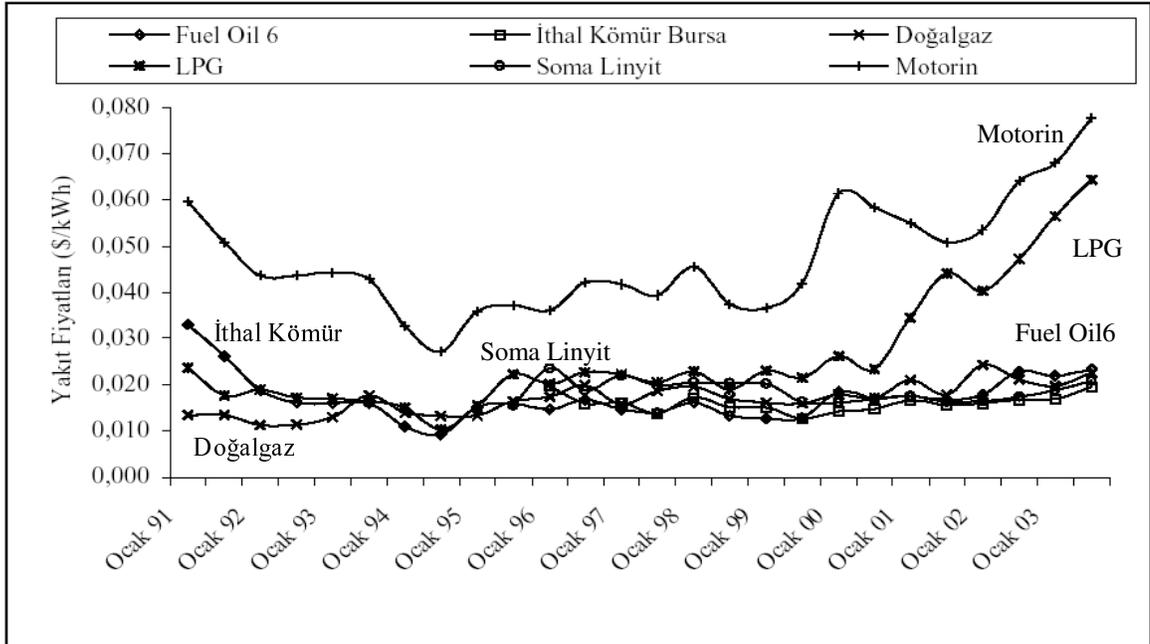
Toplam masraflar incelendiğinde yatırım masrafları zaman içinde sabit kalırken yakıt, işletme ve bakım masrafları zamanla değişim göstermektedir. Ayrıca, toplam masraflar içinde en büyük pay yakıt masraflarına aittir. Kojenerasyon sistemlerinde kullanılan yakıtın herhangi bir sebeple bulunmaması durumunda, farklı bir yakıtın ikinci yakıt olarak kullanılması mümkündür. Bu nedenle, sistemde kullanılacak birinci ve ikinci yakıtın belirlenmesi gerekir. Seçim yapılırken ilk şart yakıtın temin edilebilirliğidir. Temin edilebilen yakıtlar içinden ucuzluk sırasına göre birinci ve ikinci yakıt seçilir. İkinci yakıt, birinci yakıtın bulunmadığı zamanda ya da birinci yakıtın fiyat üstünlüğünü kaybettiğinde kullanılan yakıttır. Dolayısıyla kojenerasyon sisteminin ve kullanılan yakıtın seçiminde ve ürün maliyetlerinin hesaplanmasında yakıt fiyatları ve fiyatlardaki zamana bağlı değişimler dikkate alınmak zorundadır. Bunların göz ardı edilmesi ile yapılan değerlendirmeler hesaplarda önemli hatalara sebep olacaktır ve işletmeleri zarara sokacaktır.

Türkiye’de kojenerasyon sistemleri için kullanabilecek yakıtlar olarak fuel oil 6, doğalgaz, ithal kömür, LPG, yerli linyit (Soma) ve motorin alınmıştır. 1991-2003 yılları arasındaki dönem için birim yakıt fiyatları şekil 4.10’da gösterilmiştir. Yakıt fiyatlarının birbirleriyle ekonomik karşılaştırılmasının yapılabilmesi için alt ısı değerleri, özgül hacimleri ve döviz kuru göz önüne alınarak orijinal fiyat birimlerinden [TL/Nm³,TL/kg,TL/lt] \$ / kWh dönüştürülmüştür (AKKAYA ve ark., 2004).

Kojenerasyon kullanılarak yapılan bölge ısıtmasının olurluluğuna termodinamik, ekonomik ve iklimsel parametreler birlikte göz önüne alınarak karar verilir. Ekonomik

olurluluğun belirlenebilmesi için sistemin yıllık net işletme geliri ile yatırım giderinin hesaplanmaları gerekir. Yıllık net işletme geliri, bölgenin ısı ve elektrik gereksinimlerinin ayrı ayrı karşılanması durumunda yıllık olarak ödenecek ısıtma, elektrik, personel, bakım-onarım giderlerinin toplamını çıkartarak bulunur. Yatırım gideri ise kojenerasyon sisteminin satın alınması ve kurulması ile ilgili olarak başlangıçta ödenen paradır. Bu değerler belirlendikten sonra geri ödeme süresi, şimdiki değer, yıllık net kazanç gibi ekonomik analiz yöntemlerinden biri ile yatırımın karlılığına karar verilebilir.

Uygulamanın yapılacağı bölgenin ısı ve elektrik gereksiminin, bileşik ısı-güç santralının elektrik-ısı oranı ile uyumlu olması göz önünde bulundurulması gereken bir husustur. Bu uyumu tam olarak sağlamak mümkün değildir. Üretilen elektrik fazla olduğu zaman şebekeye satılabilmesi, elektrik açığı olduğu zaman şebekeden alınabilmesi anlaşmalar çerçevesinde mümkün olabilir. Isı enerjisi açığı yardımcı kazanlarla, ısı enerji fazlası ise ısı depolayan akümülatörlerle belirli ölçüler içinde dengelenebilir.

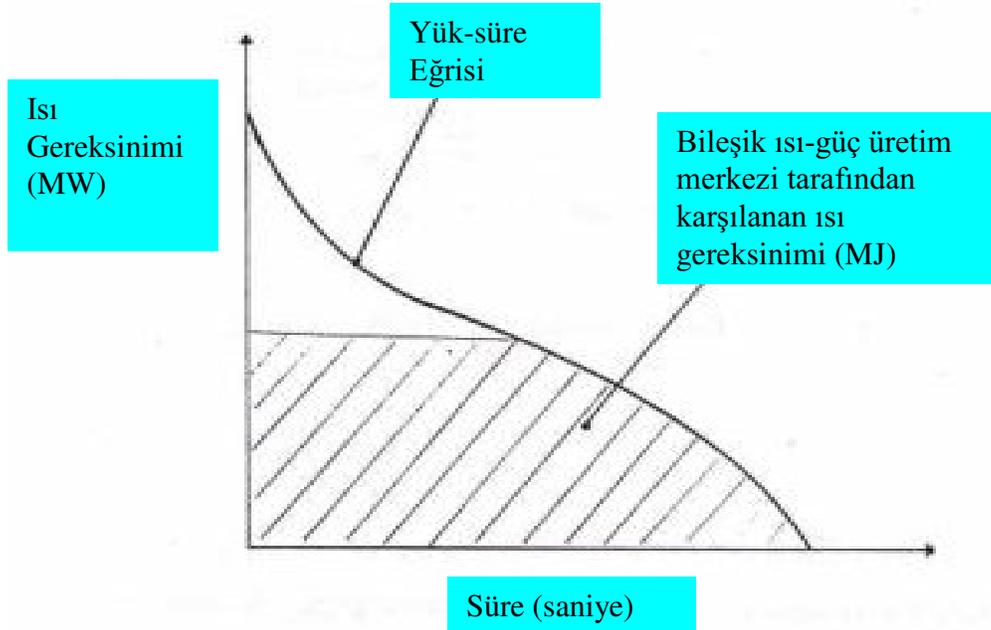


Şekil 4.10. 1991-2003 Birim Yakıt Fiyat Değişimleri (AKKAYA ve ark., 2004)

Kojenerasyon tesisinin kullanılma oranı (yük faktörü) göz önüne alınması gereken bir başka parametredir. Yük faktörü iklim koşullarına bağlıdır. Kojenerasyon tesisinin kapasitesi belirlenirken yük-süre eğrisinden yararlanır. Yük-süre eğrisi Şekil 4.11’de gösterilmiştir (DERBENTLİ, 1999).

Bir bölge ısıtma sistemi tasarlanırken, bileşik ısı-güç santralının ısı üretim kapasitesi genellikle, ısıtma sisteminin maksimum ısı gereksiniminin %50’sini karşılayacak biçimde seçilir. Böylece bileşik ısı-güç santralının yılın büyük bir bölümünde tam yüke yakın bir kapasitede çalışması sağlanır. Isı gereksiniminin büyük olduğu kısa bir süre içinse yardımcı kazanlar devreye girer.

Şebekeye elektrik satış fiyatı, şebekeden elektrik alış fiyatı, bileşik ısı-güç santralinden yakılan yakıtın fiyatı olurluluk hesaplanırken göze alınması gereken ekonomik parametrelerdir. Ayrıca bileşik ısı-güç santrali, yardımcı kazanlar, dağıtım şebekesi, konut bağlantıları için sabit yatırım değerleri, faiz oranı, bakım onarım ve işletme giderleri de olurluluk hesapları için gereklidir (DERBENTLİ, 1999).



Şekil 4.11. Yük-Süre Eğrisi (DERBENTLİ, 1999)

Bazı durumlarda üretilen ısı ve elektriğin fiyatlandırılması söz konusu olabilir. Fiyatlandırma; ürünlerin enerjileri göz önüne alarak yapılabilir. Ürünlerin enerjilerini göz önüne alarak yapılacak hesaplama için aşağıdaki bağıntı kullanılabilir:

$$f_e + f_q / EIO = f_y / \eta + C \cdot a / (s \cdot E) \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1'de,

f_e : elektriğin fiyatı (para birimi / kJ),

f_q : ısıнын fiyatı (para birimi / kJ),

f_y : yakıt fiyatı (para birimi / kJ),

EIO : bileşik ısı-güç santralının elektrik-ısı oranı

η : bileşik ısı-güç santralının ısıl verimi

C : bileşik ısı-güç santralının yatırım bedeli (para birimi),

a : amortisman faktörü (capital recovery factor),

s : santralin yıllık çalışma süresi (saniye)

E : santralin elektrik üretim gücü (kW)

olmaktadır.

Eşitlik 4.1'de elektrik ve ısıнын fiyatları iki bilinmeyen olarak yer almaktadır. Bu nedenle bir bağıntıya daha gerek duyulur. Ürünler enerji bazında eşit fiyata sahip kabul edilir, başka bir deyişle $f_e = f_q$ alınabilir. Bir başka yaklaşım da yatırım masraflarını elektriğe yıkmaktır, bu durumda $f_q = f_y$ alınır (ANONİM, 2005i).

4.5. Kojenerasyon Sistemlerinin Gerekliliği

Hayatımızın temelini oluşturan enerji kavramının, yönlendirilmesinin en zor biçimi olan ısıl enerji, insanlığın ilk ve önemli keşiflerinden biri olan ateşle birlikte bizi meşgul etmektedir. Fakat ne yazık ki insanlar, enerjiyi, gittikçe kendileri için değil, kendilerine karşı kullanmaya başlamışlar ve bu hatayı yaşama düzeylerinin yükselmesi

olarak yorumlamışlardır. Şöyle ki; geçen yüzyıldan bu yana dünyamızda üretim 100 kat, çevre kirliliği ise 50 kat artmıştır. Bu artışların ortalama %55'i son 20 yıl içinde olmuştur. Yine geçen yüzyıldan bu yana fosil yakıt kullanımı ve hava kirliliği 30 kat artmıştır; bu artışın %60'ı 1970-90 yılları arasında gerçekleşmiştir. Bu arada, bitki ve hayvan türlerinin %20'si yok olmuştur. Ozon tabakasında %3-6 arası incelme olmuştur. Orman yüz ölçümü %25 azalmış, 480 milyon hektar toprak erozyona uğramıştır. Nükleer reaktörler yılda 85 milyon m³ radyoaktif atık üretmekte, yalnızca OECD ülkelerinde, yılda 20 milyon ton oksijen tüketici madde deniz, göl ve nehirlere evsel ve endüstriyel atık olarak atılmaktadır. 1980-90 yılları arasında ortalama yıllık nüfus artışı %2.5 olan ülkemizdeki durum da hiç farklı değildir. Bu olumsuzluklar enerjiyi, özellikle ısıyı yanlış kullanmamızdan ve en önemlisi yanlış yöntemlerle üretmemizden kaynaklanmaktadır.

Ülkemizde yılda 20 milyon TEP olan tüketiminin %31'inin odundan, %20'sinin kömürden, %20'sinin petrolden, %14'ünün hayvan ve bitki atıklarından, %11'inin elektrikten, %4'ünün doğal gazdan karşılandığı düşünülürse; enerji üretiminde izlenecek yolun çevre kirliliği, ekonomi ve dışa bağımlılık üzerindeki etkileri daha net görülebilir. Söz konusu enerji tüketiminin %41'i konut ısınmasında, %35'i sanayide, %20'si ise ulaşımda kullanılmaktadır. Sanayide harcanan enerjinin sektörel dağılımı %38 metal, %25 toprak, %16 kimya, %9 kağıt, %6 tekstil kolları şeklindedir. Dolayısıyla hem sanayide, hem de konut ısıtmasında gerekli olan elektrik enerjisinin ve ısı enerjisinin aynı kaynaktan karşılanması ile yapılacak olan enerji tasarrufu çevre kirliliğini ve dışa bağımlılığımızı azaltırken, kaynaklarımızın hızla tükenmesini de önleyecektir (ANONİM, 2005i).

Tüm dünyada her yıl şebeke santrallerinde üretilen elektrik enerjisinin, iletim ve dağıtım hatlarında oluşan kayıplardan dolayı, Almanya, İngiltere, Fransa ve İspanya'nın toplam enerji ihtiyaçlarına denk bir kısmı kaybedilmektedir (TOPUZ, 2001).

Dünya'daki termik güç santrallerinin verimlilik ortalaması %34'dür. Bu değer son kırk yıldır yükseltilememektedir.

Tüm dünya'da düşük verim ve kayıplardan dolayı her yıl 400 Milyar \$ enerji sektöründe kaybedilmektedir. Bu sebeplerden dolayı, Hollanda, Danimarka ve Finlandiya gibi ülkelerde toplam enerji üretiminin % 30'una kadar çıkan kojenerasyon sistemleri

Kyoto Anlaşmasına taraf olmuştur. Avrupa Birliği içerisinde daha da önem verilerek kojenerasyonun payının hızla artırılması kararı alınmıştır. Ayrıca Amerika'da da kojenerasyon sistemlerinin gelişmesi için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir (TOPUZ, 2001).

Bundan dolayıdır ki; elektrik ve ısı enerjisinin aynı kaynaktan karşılanması yöntemi, yani kojenerasyon teknolojisi gereklidir.

4.6. Otoprodüktörlük Nedir

Kojenerasyon sistemleri, yanmalı motorların icadından bu yana varolan teknolojiye, egsoz ısısının olduğu gibi atmosfere atılması yerine, bu ısının çok büyük bir kısmını bazen ısıtma maksatlı, bazen de elektrik üretim maksatlı kullanılmasını sağlayan sistemlerdir. Egsoz ısısının faydalı hale getirilmesi, düşüncesi de en az yüzyıldan beri çeşitli şekillerde uygulamaya konulmuştur. Ancak sanayide yaygın olarak kullanılması son 50 yıl içinde olmuştur. Türkiye'de kojenerasyon sistemleri, Otoprodüktörlük Kararnamesi çıkmadan önce de vardı. Pekçok kağıt fabrikası, şeker fabrikaları ve bazı Rafineri ve Gübre fabrikaları kendi üretim prosesleri için gerekli elektrik ve ısıyı kojenerasyon sistemlerinden 30 yıldan beri üretmekteydiler.

1984 yılında çıkartılan 3096 sayılı yasanın özel sektöre verdiği elektrik tesislerini kurma ve işletme yetkisi kojenerasyonun bilinçli ve planlı bir şekilde uygulama alanına konulmasını sağlamıştır. Bu yasadan yaklaşık bir yıl sonra çıkartılan 85/9799 sayılı kararname ile Türkiye'de "Otoprodüktörlük" yasal alt yapısı oluşturulmuş ve o günden itibaren bilinen gelişmesiyle Otoprodüktörlük, 2000 yılı sonu itibariyle, Türkiye elektrik üretiminin % 14'ünü üreten en büyük özel enerji sektörü olma başarısını göstermiştir. 1998 yılında Türkiye'de işletmede olan 92 Otoprodüktör'ün toplam elektrik üretim kapasitesi 3000 MW'a yakındı. Ayrıca yine 1998'de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına toplam kapasitesi 10.000 MW olan 150 adet yeni Otoprodüktör tesisi başvurusu yapılmıştı (AĞİŞ, 1998b).

Otoprodüktör, kendi faaliyet alanı için elektrik üretmek amacıyla T.C. Ticaret Kanunu'na göre kurulmuş tüzel kişiliğin adıdır. Kojenerasyon ise Otoprodüktörün kendi elektrik üretim sistemini kurarken seçtiği, elektrik ve ısıyı birlikte üreten teknolojinin adıdır. Pek çok elektrik tüketicisi aynı zamanda ısı tüketicisi olduğundan, bu iki ihtiyacın, birlikte, aynı kaynaktan ve aynı ekipmanı kullanarak üretilmiş olması, en yüksek çevrim randımanına ulaşmayı sağlamıştır. İşte, bu dizayn ve teknolojisinin adı kojenerasyondur. Kojenerasyon esaslı üretim sistemlerinde, gaz türbinine veya motora verilen yakıt enerjisinin % 90'ı elektrik ve faydalı ısı şeklinde kazanılmaktadır. Çok yüksek enerji tasarrufu sağlayan bu sistemler Otoprodüktörlerin tercih ettikleri sistem olmaktadır.

Ancak Otoprodüktörler için muhakkak kojenerasyon tesisi kurma şartı da yoktur. Hidrolik santral kurarak üretmeyi amaçlayan Otoprodüktörler kurulduğu gibi, kömür, fuel oil, nafta, LPG yakan Otoprodüktörler de vardır. Ancak kömür ve fuel oil yakan sistemlerde ortaya çıkan egsoz gazlarının Çevre Bakanlığı limitlerine uyacak şekilde artırılması zorunluluğu, hem kuruluş masraflarını arttırdığı, hem de kojenerasyonun ideal çevrim randımanına ulaşmadığı için, Otoprodüktörler, eğer hidrolik enerji üretim maksatlı olarak kurulmamışlarsa, tesislerini kojenerasyon esasına göre kurmaktadırlar. Kojenerasyon, ayrıca, çevre dostu enerji üretim sistemi olmakla da yeşil enerjinin, yenilenebilir enerji kaynaklarından sonra, en güzel örneğini oluşturmaktadır (AĞIŞ, 1998b).

Bazı ürünlerin üretim maliyeti içinde enerji maliyeti % 40'lara ulaşmaktadır. Alüminyum, bakır, demir/çelik, kağıt, kimya ve seramik sanayilerinin maliyet girdileri içinde enerji çok büyük yer tutmaktadır. Bu sanayi kolları için enerji maliyetlerinin ucuzlatılması, gerek iç piyasada gerekse dış piyasada mukayeseli üstünlük sağlayacak kadar önem arz etmektedir. Kaliteli, (yani frekansı ve voltajı sabit), hiç kesilmeyen ve istenildiği kadar bulunabilen enerji, gerçekleştirilmesi zorunlu olan dünya standartlarındaki ürünün olmazsa olmaz şartı haline gelmiştir. Bazı sanayi kollarında elektrik enerjisinin 5 saniye bile kesilmesi çok büyük defolu mala yani önemli imalat kayıplarına nedeni olmaktadır. Bugün ülkemizde sanayi elektriği TEAŞ veya TEDAŞ'tan 7,0 cent/kwh'lık bir fiatla temin edilebilmektedir. Ayrıca, 4 no'lu kalorifer yakıtı kullanarak 1000 kcal'lık ısı enerjisi 4 cent'ten aşağıya maledilmemektedir. Bir fabrika ihtiyacı olan elektriği TEAŞ veya TEDAŞ

yerine kendi kuracağı Kojenerasyon tesisinde üretmesi halinde elektrik 3,5 cent'e ve ısı (1000 Kcal) 2 cent'e üretilebilmektedir. Yani enerji girdilerinin maliyetinde % 50 tasarruf sağlanabilmektedir. Ayrıca, Otoprodüktör, kendi santralından elde ettiği kaliteli elektrikle, ana ürününü dünya standartlarında ve kesintisiz üretme performansını da yakalamış olmaktadır (AĞIŞ, 1998b).

20.02.01 tarihinde çıkan 4628 sayılı ELEKTRİK PİYASASI YASASI'na göre bundan böyle Yap-İşlet-Devret (BOT) veya Yap-İşlet (BO) modeline göre santral kurulamayacaktır. Çünkü yasanın amacı, rekabete dayalı, serbest elektrik piyasası yaratmaktır. Özel sektör yeni tesislerini kurdukça, TEAŞ'ın elinde bulunan santrallerin, toplam üretim kapasitesi içindeki payı giderek azalacak ve 2010'lu yıllarda % 25'lere gerileyecektir. Böylece enerji piyasası üretim şirketleri ile Otoprodüktörlere kalacaktır. Otoprodüktörlerin % 90'lara varan yüksek randıman avantajı, üretim şirketlerininse, yüksek kapasite avantajları olacaktır. Otoprodüktörlüğün yumuşak karnı (yeni yasaya göre), ancak yıllık üretiminin % 20'si kadar elektriği piyasaya satabilmesidir. Bir başka ifadeyle Otoprodüktör Grubu'na dahil olan fabrika sahiplerinin toplam kapasitesi 100 ise ancak bunun % 20'si kadarını TEAŞ veya TEDAŞ'a satabilmesine izin verileceği için 120 birimden daha büyük kapasitede kurulamayacaktır. Ancak küçük enerji üretim merkezleri, elektrik sistemlerini yeniden yapılandıran ve yasal düzenlemelerinde "deregulation"a giden Avrupa ve Amerika'nın uygulamaya başladığı bölgesel elektrik üretimlerini getirdiği ve bu özelliğiyle iletim ve dağıtım kayıplarını ortadan kaldırdığı için, çağımızın ideal elektrik üretim sistemleri olma ayrıcalığına sahiptir. Kaçak/kayıp oranının % 24'lere yükseldiği ülkemizde enerjinin tüketildiği bölgelerde üretilmesi konusu son derece önem kazanmaktadır. Bu bağlamda Organize Sanayi Bölgelerinde, sanayi bölgesinin hem ısı, hem de elektrik ihtiyacının kendi içindeki tek bir kaynaktan karşılanıyor olması, bu bölgelerin birbiri ardına kendi kojenerasyon tesislerini kurmalarına yol açmıştır. Halen 5 bölgede, Bursa, İzmir Atatürk, Manisa, Denizli ve Eskişehir Organize Sanayi Bölgelerinde, kurulmuş ve işletmede olan Kojenerasyon tesisleri sayesinde ürün maliyetlerinde % 20'lere varan tasarruflar sağlanmıştır. Bu bölgeleri, yenilerinin izleyeceği muhakkaktır. Doğal gazın ancak Türkiye'nin beşte birine ulaşabildiği şu ortamda bile bu kadar büyük kojenerasyon

gelişmesinin, Mavi Akım ve İran'dan gelecek doğal gazın desteğiyle tüm ülke düzeyine yayılacağına inanılmaktadır (AĞIŞ, 1998b).

4.7. 21. Yüzyılda Kojenerasyonun Yeri

Dünya'da 50 yıldan beri, Türkiye'de 6 yıldır uygulanmakta olan kojenerasyon sistemleri, arz ettikleri yüksek çevrim randımanı ile sağladıkları kolay işletme ile dayanılmaz cazibede bir yatırım modeli olma ayrıcalığını korumaktadır ve 21. yüzyılda da korumaya devam edecektir (ANONİM, 2005i).

Bugün Avrupa Birliği enerji politikasının iki temel taşı vardır. Bunların ilki enerji pazarının tümüyle serbest pazara dönüştürülmesi; ikincisi ise çevre koruma sorumluluğunda uluslararası paylaşımın sağlanmasıdır. Enerji pazarının serbest hale getirilmesi, enerji arzında yüksek rekabet, fiyatlarda giderek yükselen şeffaflık, elektrik şebekelerinin çağdaş gelişmişlik düzeyine ulaştırılması ve kojenerasyon uygulamalarına ağırlık verilmesi, gelişmelerini de beraberinde getirmektedir. Gelişmiş enerji pazarının en önemli özelliği endüstriyel ya da domestik tüketicilerin, kaliteli enerjiyi uygun fiyatla almalarına imkan sağlayacak rekabet ortamını yaratmasıdır.

Bu ortam, büyük tüketicilerin yakınında, gelişmiş ve güvenli elektrik sistemlerinin birbirleriyle yarışır biçimde enerji arzına hazır olmaları mümkündür. Yani çağımızda tüketim merkezlerine enerji hatlarıyla enerjinin nakli yerine, tüketim merkezlerine yakın üreticilerin bir rekabet ortamı içinde (iki ya da üç üreticinin yarattığı enerji arzı ile) üretimlerini arz edecekleri bir piyasanın oluşturulması yönüne gidilmelidir. Desantralizasyon dediğimiz bu sistemin özeti tüketim merkezlerine yakın üretim birimlerinin oluşturulmasıdır. İşte kojenerasyon, tüketim merkezlerinin yakınında kurulmasıyla yüksek randımanı ve temiz enerji üretim teknolojisi ile, bu çağdaş gelişmenin en güzel örneğini oluşturmaktadır (ANONİM, 2005i).

Avrupa'da Kojenerasyon sistemleri daha çok, kışları uzun ve soğuk geçen Kuzey Avrupa (Finlandiya, Danimarka ve Hollanda gibi) ülkelerinde, şehirlerin bir merkezden

ısıtılmasıyla başlamıştır. Böylece konutların ihtiyacı olan ısı üretilirken diğer yandan da, yine konutların ve sanayi tesislerinin elektrik ihtiyacı karşılanmıştır. Yani Avrupa'da ısı üretim amaçlı Kojenerasyon projeleri daha önce başlamış ve daha çok yaygınlaşmıştır. Finlandiya, Hollanda ve Danimarka gibi Kuzey Avrupa ülkelerinde konutların %60'ı merkezi ısıtma sistemi ile ısıtılmakta ve bu sistemlerinde en az yarısında kojenerasyon sisteminin uygulanmakta olduğunu görüyoruz. Bu gibi ülkelerde kojenerasyonla üretilen elektrik enerjisinin toplam elektrik tüketimindeki payının %40'lara ulaştığını görmekteyiz. Ülkemizde bu rakamın, 1997'de %8, 2000 yılı itibariyle %12 olduğunu görüyoruz, 2005 yılında %17 ve 2020 yılında %30'a ulaşacağını tahmin ediyoruz. Bu hesapta 2020 yılında Türkiye'nin kurulu elektrik üretim gücünün 118.500 MW olacağını ve bunun 35.500 MW'ının kojenerasyona dayalı tesislerden oluşacağı varsayılmıştır (ANONİM, 2005i).

Ülkemizde 04/09/1985 yılında çıkartılmış olan Otoprodüktörlük Kararnamesi, ondan önce devlet kuruluşlarının uyguladığı benzeri projeleri saymazsak, kojenerasyon yatırımları için teşvik unsuru olmuştur. Devletimizin getirdiği vergi iadesi ve gümrük muafiyeti gibi teşviklerin rüzgarını arkalarına alan Otoprodüktörler, 1998 Eylül sonuna kadar 92 adet kojenerasyon tesisini kurarak işletmeye almışlardır. Özel enerji yatırımlarının en randımanlısı (Kojenerasyonda çevrim randımanı %90'a kadar yükselmektedir.) olduğu kadar yasal alt yapısı en sağlam olan kojenerasyon, yani Otoprodüktörlük uygulamaları, hiçbir yasal engele takılmadan, ortalama elektrik tüketim artışının %10 olduğu ülkemizde yıllık %40 artışla büyümekte ve gelecek yılların elektrik ve ısı tüketim artışını karşılayacak en güvenilir üretim kaynağı olacağı anlaşılmaktadır.

Tüketici, üretici ve ülkemiz ekonomisi yönünden bu kadar cazip bir enerji üretim modeli bazı sorunlar nedeniyle ülkemizde yeterince kullanılamamaktadır. En önemli sorun, doğalgazın ancak ülkemizin küçük bir bölgesine ulaşabilmiş olmasıdır. Kojenerasyon diyarının hayat kaynağı olan doğalgaz, ancak çok sınırlı varlığıyla, bölgeler arası haksız rekabetin de en önemli nedenini oluşturmaktadır. Ulusal doğalgaz şebekesi yaratılmadıkça ve bu şebekeye talep edilen doğalgaz verilmedikçe bu haksız rekabet devam edip gidecektir. BOTAŞ, ulusal doğalgaz şebekesinin yapımında geç kalmakta, yeterli gaz temininde de başarılı olamamaktadır. Gelecek yıllarda bu sorunun giderilmesi, BOTAŞ'a

gazda tekelleme yetkisi veren 397 sayılı KHK' nin kaldırılarak ya da değiştirilerek, özel sektöre gaz tesisleri kurma ve gaz ithal etme yetkisinin tanınmasına bağlıdır.

ETKB'nin ülkemizin büyük bir bölümünde olmayan doğalgaz yerine alternatif yakıt yaratma gayretlerini takdirle karşılıyoruz. ETKB Petrol İşleri Genel Müdürlüğünün Haziran 1998'den beri çıkardığı yönetmelik ve tebliğlerle LPG, fuel oil ve motorinin elektrik üretim maksatlı kullanımında AFİF ve ATV'yi önemli ölçüde azaltılmasıyla, bu yakıtların 1000 Kcal fiyatı, doğal gazla yarışacak seviyeye inmiş ve kanaatimizce bölgeler arası haksız rekabet büyük ölçüde ortadan kalkmıştır.

Kojenerasyon uygulamaları konusunda önemli bir engel de Otoprodüktörlük Kararnamesi ile otoprodüktörlük sistemi teşvik edilmesidir. Aslında teşvik edilmesi gereken, otoprodüktör değil kojenerasyon dizayn ve teknolojisidir. Bu çok yüksek randımanlı çağdaş sistemi ister otoprodüktör ister toplu konut yatırımcısı uygulamasın ülkemiz ekonomisine katkısı aynıdır. Yani yüksek enerji tasarrufudur. Bu nedenle, anılan kararname, otoprodüktörlüğün katı çerçevesinden çıkartılmalı ve kojenerasyon teknolojisini getiren ve bunu fizibilite raporuyla kanıtlayan her yatırımcıya bu tesisleri kurma imkanı vermelidir (ANONİM, 2005i).

4.8. Kojenerasyon ve Türkiye

Türkiye'de bugün otoprodüktör olarak kurulmuş kombine çevrim santralleri, kojenerasyon üniteleri olarak tanınmaktadır. Yap-İşlet-Devret ve Yap-İşlet modelleri; anayasal ve yasal engeller, özellikle uluslararası tahkime gidilemeyişi nedeni ile arzulan gelişmeyi sağlayamamışlardır. Bu yöntemlerle gerekli santrallerin kurulması geciktiğinden, sanayici gereksinim duyduğu elektriği kesintisiz ve kaliteli elde edebilmek için otoprodüktör olanağına yönelmiştir. Enerji verimliliği, enerji ekonomisi ve çevre dostu sistem bilincinin yerleşmesi sonucu, otoprodüktör termik santraller kojenerasyon santralleri biçiminde kurulmaktadır (TÜSİAD, 1998).

Otoprodüktör kojenerasyon santrallerin özellikle gaz türbinli (veya gaz + buhar türbinli) olarak 1993 yılından sonra kurulduğu görülmektedir. Bu santrallerde verimlilik ve rantabilite projenin ısı ve elektrik amaçlı geliştirilmesine ve ısı-elektrik oranının 1/1-1.5/1 arasında tutulmasına bağlıdır. Ancak, atık ısıyı değerlendirmeyen basit çevrimli santrallerin çoğunlukta olduğu görülmektedir. Otoprodüktör kojenerasyon santralleri şebekeye bağlı olarak çalışmalarını sürdürmektedir.

Söz konusu otoprodüktör tesislerin ve projelerin içerisinde ağırlıklı kaynak doğal gazdır. Doğal gaz dışında LPG, fuel oil, nafta ve bunların kombinasyonu, motorin, kok, kömür, atık ısı, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi ve hidrolik enerji yer almaktadır. Ekim 1998 itibari ile işletmede olan termik otoprodüktörler 39 ünite ile toplam 928.5 MW kurulu güçte olup, üretim kapasiteleri 6 978.6 GWh/yıl'dır. Ancak bu termik ünitelerin 35 tanesi kojenerasyon karakterli sayılabilir ve bunların kurulu güçleri toplamı 825 MW, üretim kapasiteleri de 6 274.6 GWh/yıl kadardır.

Yine ekim 1998 itibari ile işletmede olanlara ek olarak, sözleşmesi imzalanmış bulunan santrallerin bir yıl içinde işletmeye girmesiyle otoprodüktör kojenerasyon kurulu gücü 1 463.7 MW'a ve elektrik üretim kapasiteleri de 12 003.8 GWh/yıl'a yükselmiştir. Bu kadar elektrik üretiminin yanısıra 1.2 Mtep/yıl teknolojik ısı üretimi de sağlanmıştır (TÜSİAD, 1998).

Son dönemlerde Otoprodüktör Yönetmeliği'nde başlangıçtan sonra ortak sayısının artabilmesi, otoprodüktör kapsam alanının genişletilmesi, ihtiyaç fazlası elektriğin satış koşullarının düzenlenmesi ve mahsuplaşma gibi iyileştirmeler yapılmış olmakla birlikte, yeterli sayılamaz. Sanayi tesisleri, hastaneler ve büyük uydu kentlerin yanısıra, büyük turizm merkezleri otoprodüktör kapsamına alınmalı, uydu kent yerleşim birimi uygulamaları kapsamına, küçük uydu kentler de sokulmalı ve otoprodüktör santrallerin atık ısı ile normal kent alanlarına ısı enerjisi satılmasına olanak tanınmalıdır. Ayrıca, ihtiyaç fazlası elektrik satış fiyatına uygulanan tarife yükseltilmelidir.

Rantabl işletmecilik açısından, otoprodüktör kojenerasyon ünitelerine yakıt seçiminde başta gelen faktör, yakıt fiyatlarıdır. Uluslararası Enerji Ajansı raporlarına göre, Türkiye'de elektrik üreticilerine uygulanan doğal gaz fiyatlarının ABD ve bazı Avrupa

lkelerinden yüksek oluu burada etkilidir. Ancak, elektrik üretimi dışında santralden sağlanan teknolojik ısı üretimi, işlemi rantabl duruma getirmektedir.

Sanayimize uluslararası piyasada rekabet gücü kazandırmak için izlenmesi gereken politikalardan biri, enerji fiyatlarının serbest piyasa koşullarına uygun düzenlemelerle drlmesidir. Bu nedenle, özel sektör otoprodktrlerine sunulan yakıtlardan her türlü vergi ve fon kesintisinin kaldırılması, ya da olabildiğince azaltılması gerekir. Yeterli doğalgazın bulunmadığı bu dönemde, kullanılabilecek petrol ürünü alternatif yakıtlar üzerindeki vergi yükü azaltılmalı, özellikle Akaryakıt Tüketim Vergisi sıfırlanmalıdır. Zamanında yapılmayan yatırımlardan kaynaklanan elektrik sorununa ilişkin olumsuzluklar, üretimci otoprodüktör kesiminin engellenmesine ve cezalandırılmasına neden olmamalıdır (TÜSİAD, 1998).

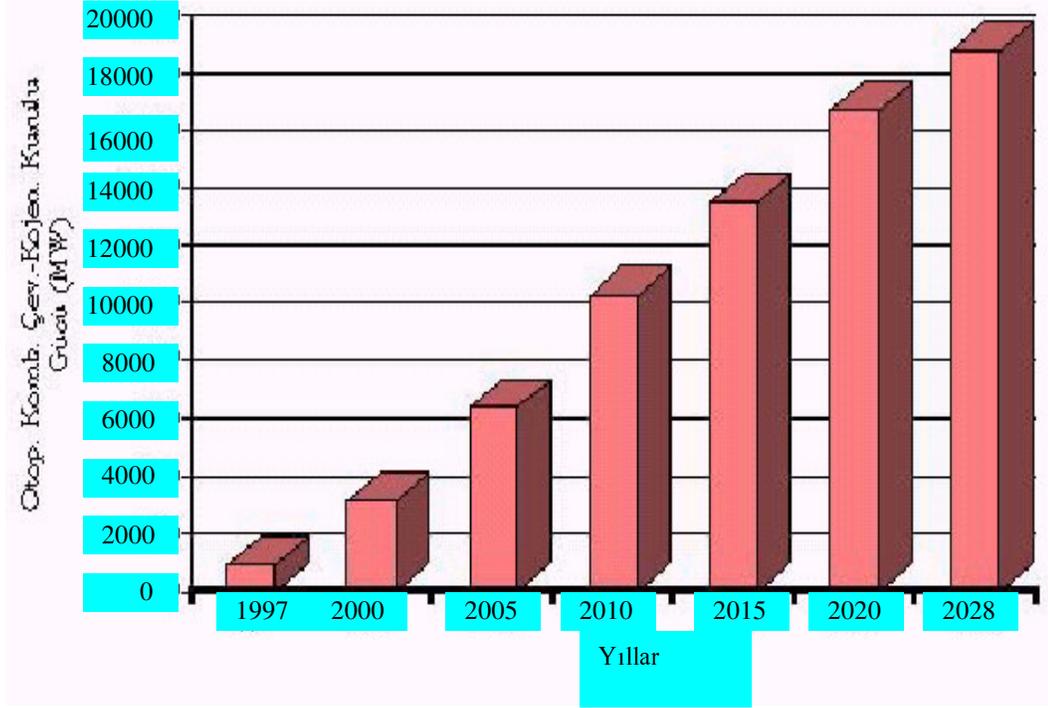
Elde olunan çıktılara göre; kurulu gücün 2000 yılında 2 500 MW'dan balayarak, 2010 yılında 10 000 MW'ı açacağı, 2020 yılında 16 750 MW ve 2023 yılında da 19 200 MW düzeylerine ulaşacağı öngörülmüştür. Kojenerasyon gelişim trendi Şekil 4.12'de yer almaktadır.

Bugün için Türkiye'de toplam kurulu güce oranla özel ve kamu sektörü otoprodüktör kurulu güç % 8.1 ve kojenerasyon kurulu gücü de % 3.7 pay kapsamaktadır. Avrupa Birliği genelinde kojenerasyonun toplam kurulu güç içindeki payı % 10'dur. Belėika, Fransa ve Yunanistan'da % 5'den kcktr. Bu payın % 35-40'a çıktığı ülkeler de vardır. Kojenerasyon kurulu gücü projeksiyonuna göre Türkiye'de bu oran 2020 yılında % 14.9'a ulaşacaktır.

Ülkemizdeki kojenerasyon santrallerinin büyük çoğunluğu gaz türbinli olduğundan, yakıt olarak doğal gaz, LPG, nafta ve motorin kullanımı önem kazanmaktadır. Dizel tipi kojenerasyon santrallerinde temizleme nitesi ve koşullandırma ünitesinden geçirilerek fuel-oil no.6 yakıt olarak kullanılabilir.

Ancak, lkemizde kojenerasyon doğalgaza dayalı biçimde gelitirildiğinden, yıllara göre gerekli doğalgaz miktarı ayrıca hesaplanmıştır. Hesaplama da kojenerasyon santrallerinin yıllık çalışma süresi 7 680 h/yıl varsayılmış, gaz türbinli sistemlerde ortalama özgül ısı tüketimi 9 000 kJ/kWh alınmıştır. Buna göre kojenerasyon sektörünün doğalgaz

talebi 1998 yılında 2.5 milyar Nm³, 2000 yılında 5.8 milyar Nm³, 2010 yılında 15.4 milyar Nm³ ve 2020 yılında da 21.8 milyar Nm³ düzeyine ulaşmaktadır. Bu veriler, Türkiye'nin daha önce açıklanan doğalgaz talebine dahil değildir (TÜSİAD, 1998).



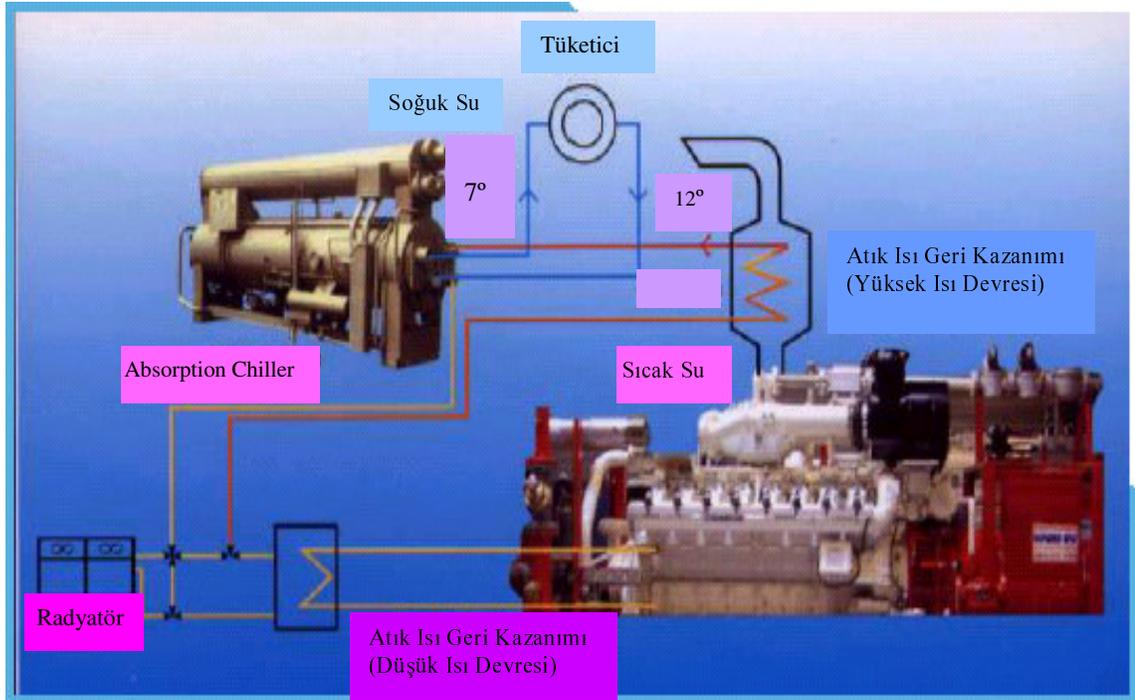
Şekil 4.12. Otoproduktör Kombi çevrim- Kojenerasyon Kurulu Gücünün Gelişim Trendi (TÜSİAD, 1998)

4.8.1. Kojenerasyon Sistemlerinin Ülkemize Sağladığı Faydalar

- Yüksek enerji çevrim verimi sayesinde, senede 2 Milyon Ton Fuel Oil Eşdeğeri yakıt tasarrufu sağlayarak piyasa şartlarında 360 Milyon \$ tasarruf yaptırmaktadır.
- Çevre dostu olması sayesinde, 2000 MW Türbinli, 1500 MW Motorlu kojenerasyon sistemi ile ülkemizde bu güçte elektrik üretimi yapacak kömürlü santraller ile karşılaştırırsak 1900 TE CO₂ (%50) Sera Etkisi yaratacak emisyon tasarrufu sağlanmıştır.

- Çok çeşitli yakıtlar kullanılabilmesi özelliği ile sadece doğal gazla dayalı değil, diğer yakıtları da kullanarak, katma değer yaratmaktadır.
- Tüketim bölgelerinin yanına kurulduklarından, iletim ve dağıtım hat kayıplarının olmaması özelliği ile senede 2.800.000 MWh elektrik enerjisi tasarruf edilmekte olup, yıllık maddi değeri 196 milyon \$ olmaktadır.
- Ucuz ve kaliteli enerji üretimi özelliği ile yatırımcılarına kojenerasyon sistemleri şebeke fiyatının yarısına enerjilerini üretme imkanı sağladıkları için dünya piyasalarında daha fazla rekabet edebilme imkanı vermektedir (TOPUZ, 2001).

4.9. Trijenerasyon Sistemleri



Şekil 4.13. Trijenerasyon Akış Şeması (ANONİM, 2005e)

Isı ve elektriğin birlikte üretildiği kojenerasyon sistemeleri ısının özellikle daha az gerekli olduğu yaz aylarında kış aylarına nispeten daha az verimli olmaktadır. Bu nedenle bu sistemler geliştirilerek trijenerasyon sistemleri ortaya çıkarılmıştır.

Kojenerasyon sistemlerinden elektrik enerjisi ile beraber üretilen sıcak su veya buhar, absorption chiller adı verilen bir sistemden geçirilerek soğutma amaçlı soğuk su üretilebilmektedir. Bu şekilde dizayn edilmiş sistemlere, elektrik, ısıtma ve soğutma enerjisinin üçünün aynı anda üretilebilmesi nedeniyle Trijenerasyon adı verilmektedir (ANONİM, 2005e).

5. SONUÇ

Kojenerasyon sistemleri özellikle son 10 yılda geniş bir kullanım alanı bulmasına rağmen, 20 yılı aşkın bir süredir dünyada başarıyla uygulanan ve sürekli teknik gelişmelerle desteklenen, bilinen en verimli enerji üretimidir.

Kojenerasyon sistemlerinin yüksek verimli olması nedeniyle üretilen birim enerji başına atmosfere atılan gaz emisyonları ciddi oranda azalmıştır. Dolayısıyla çevre açısından gittikçe daha duyarlı hale gelen dünyanın enerji üretim sistemleri içerisinde kojenerasyon bu üstünlüğüyle öne çıkmaktadır.

Ülkemiz kojenerasyon sistemlerinin kullanılması açısından gerekli enerji politikalarının yetersizliği nedeniyle Avrupa ülkelerinin çok gerisindedir. Ülkemizde beklenen enerji krizi ve şebekedeki elektriğin kalite problemleri göz önünde tutulduğunda, kojenerasyon sistemlerinde enerji kaybının minimuma yakın olması dolayısıyla daha fazla enerji veriminin elde edilmesi, çevreye zararsız enerji üretim sistemi olması gibi avantajları nedeniyle daha geniş bir kullanım alanı bulacağı muhakkaktır. Bu çerçevede sistemin yararlarını zamanında görmüş, yatırımını zamanında yapmış müesseseler bundan büyük karlar elde edecek, rakiplerinin önüne geçecektir. Ancak sanayiinin kojenerasyon deneyiminin azlığı, çevre izinleri alınması için gerekli işlemlerin genellikle karmaşık olması ve zaman alması gibi konular da sanayicimize yardımcı olacak, önünü açacak devlet kuruluşları olmalıdır. Hızla gelişen GAP bölgesinde de uygulanacak kojenerasyon sistemlerinin enerji kullanımındaki verimlilik ve çevre sağlığı açısından katkısı önemli olacaktır. Ülkemizde ve yerleşme açısından dağınık olan GAP bölgesinde büyük enerji yatırımları yerine küçük ölçekli yerel enerji üretim projeleri desteklenmelidir (İNALLI ve ark., 2002).

Klasik sistemlere oranla çevreye çok az zarar veren ve birincil enerji kaynaklarının hızla tükendiği günümüzde en verimli enerji üretim sistemi haline gelen kojenerasyon sistemleri Türkiye'nin ve hatta tüm Dünya'nın kısa bir süre içerisinde gireceği enerji darboğazında önemli bir çözüm olacaktır.



Şekil 5.1. Bir Kojenerasyon Santrali Görüntüsü (DOĞAN, 2003)



Şekil 5.2. Isı Geri Dönüşüm Ünitesi (DOĞAN, 2003)

KAYNAKLAR

1. AĞIŞ, Ö., 1998a. '21. Yüzyılda Kojenerasyonun Yeri', 'Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı, 21-24'
2. AĞIŞ, Ö., 1998b. 'Kojenerasyon Sistemleri ve Türkiye'de Otoproduktörlüğün Geleceği'. <http://www.kojenerasyon.com/haber/diger/oagis1.htm>
3. AKKAYA, A.V., ÇETİN, B., ERDEM, H.H., SEVİLGİN, S. H., 2004. 'Kojenerasyon Sistemlerindeki Yakıt Fiyatlarının Ve Birim Yakıt Maliyetlerinin Analizi', 'Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi' '2004/1', İstanbul
4. ANONİM, 2005a. ASENTİS GROUP İNTERNET SAYFASI, Kojenerasyon nedir. <http://www.asentis.biz>
5. ANONİM, 2005b. BALIKESİR HAKKINDA HERŞEY İNTERNET SAYFASI Balıkesir'de Doğalgaz. <http://www.balikesir.gen.tr/tr/dogalgaz.asp>
6. ANONİM, 2005c. BP FİRMASI İNTERNET SAYFASI Enerji Sektöründe Nafta. http://www.bp.com.tr/urunler_ve_servisler/ticari_ve_endustriyel_yakitlar
7. ANONİM, 2005d. ERGAZ FİRMASI İNTERNET SAYFASI, LPG Nedir. <http://www.ergaz.com.tr/html/lpghtml>
8. ANONİM, 2005e. HABO BV FİRMASI İNTERNET SAYFASI Kojenerasyon Sistemleri. <http://www.habobv.com>
9. ANONİM, 2005f. KİMYAMÜHENDİSİ İNTERNET SAYFASI Biyogaz Nedir? Biyogazın Elde Yöntemleri Özellikleri Ülkemizdeki Durumu. <http://www.kimyamuhendisi.com/arastirmalar/cevre/biogaznedir.htm>
10. ANONİM, 2005g. KOJENERASYON DERNEĞİ İNTERNET SAYFASI Kojenerasyon Nedir. <http://www.kojenerasyon.com/htmls/kojensayfa.htm>
11. ANONİM, 2005h. MİMAG SAMKO ISI TEKNOJİLERİ İNTERNET SAYFASI Neden Kojenerasyon. <http://www.mimag-samko.com.tr>
12. ANONİM, 2005i. ÖDEVEVİ İNTERNET SAYFASI Kojenerasyon Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi. <http://www.odevevi.com>
13. ANONİM, 2005j. SELİT ENERJİ ve İLETİŞİM TEKNOJİLERİ LTD. İNTERNET SAYFASI Kojenerasyon Santralleri. <http://www.selitenerji.com/kojenerasyon.html>
14. ANONİM, 2005k. SERDAR ÜNAL İNTERNET SAYFASI Kojenerasyon. <http://abone.turk.net/serdarunal/enerji/kojenerasyon.htm>
15. ANONİM, 2005l. TEZ ENERJİ İNTERNET SAYFASI Tez Enerji Kojenerasyon Sistemleri. <http://www.tezenerji.com/kojenerasyon/kojenerasyon.htm>
16. ANONİM, 2005m. TÜBİTAK İNTERNET SAYFASI Odun Gazı Hakkında Merak Ettikleriniz <http://www.tubitak.gov.tr/merakettikleriniz>
17. ÇENGEL, Y. A., BOLES, M. A., 1996. 'Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik', Literatür Yayıncılık, 867 s, 469-506
18. DERBENTLİ, T., 1999. 'Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyonun Ekonomik Olurluğu', Mühendis ve Makina Dergisi, 473, 45-48

- 19.DOĞAN, K., 2003.** ‘Kojenerasyon Uygulamaları’, İTÜ Bitirme Ödevi, Yayınlanmamış.
- 20.GÜLŞEN, O., KOÇAK,T., 1998.** ‘Kojenerasyon Nedir? Kojenerasyon Teknikleri ve Sistem Seçimi’, Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı, 33-58
- 21.İNALLI, M., IŞIK, E., YÜCEL, H., 2002.** ‘Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği’ Mühendis ve Makina Dergisi, MMO Yayınları Sayı 506
- 22.NARTER, F., ÖZTÜRK, İ.T., 1996.** ‘Merkezi Isıtma’, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar:1
- 23.TOPUZ, G., TÜRKİYE KOJENERASYON DERNEĞİ GENEL SEKRETERİ, 2001.** ‘Çeşitli Kojenerasyon Uygulamaları ve Ülkemize Sağladığı Yararlar’
- 24.TÜSİAD, 1998.** ‘Türkiye Enerji Raporu/Türkiye Ve Kojenerasyon’, 21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi.
- 25.ÜDER, C., 2005.** ‘Kojenerasyon Santrallerinde Suyun Önemi’, Hidrogrup İnternet Sayfası, <http://www.hidrogrup.com>
- 26.ÜSTÜNTEPE, L., 2002.** ‘Gaz Türbinli Motorların Kojenerasyon Tesislerinde Kullanılması’ Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu.

ÖZGEÇMİŞ

15 Ocak 1981 tarihinde Gaziantep'te doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Gaziantep'te tamamladıktan sonra 1999 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimime başladım ve aynı bölümden 2003 yılında Makine Mühendisi ünvanıyla mezun oldum. Aynı yıl Mustafa Kemal Üniversitesi'nde yüksek lisans öğrenimime başladım ve Özmaksan Isı San. ve Tic. A.Ş.'de makine mühendisi ve proje sorumlusu olarak çalışmaya başladım. Halen aynı şirkette görev yapmaktayım.