

131202

**KOJENERASYON TESİSLERİNDE KULLANILAN
GÜÇ TEKNOLOJİLERİ**

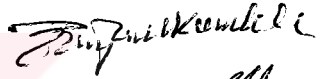
İlkay ORHAN
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı
Ocak – 2003

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

İlkay ORHAN'ın **Kojenerasyon Tesislerinde Kullanılan Güç Teknolojileri** başlıklı **Sivil Havacılık** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi **04.01.2003** tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. Hikmet KARAKOÇ	
Üye	: Prof. Dr. Ertuğrul KÜÇÜKKARAMIKLI	
Üye	: Doç. Dr. Mustafa CAVCAR	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun **06.02.2003**... tarih ve **5/1**..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Orhan ÖZER
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

ABSTRACT

Master of Science Thesis

POWER TECHNOLOGY OF COGENERATION PLANTS

İLKAY ORHAN

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Aviation Program**

**Supervisor: Prof.Hikmet KARAKOÇ
2003, 95 pages**

Cogeneration power plants are one of the industrial application for the gas turbine and reciprocating engines. Recently, cogeneration power plants have been widely used in the production of heat and electricity throughout the world. By the years of 2005, 22 % of energy production in Turkey is expected to be provided by the cogeneration power plants.

In this study, power technologies used in cogeneration power plants are explained and compared in different aspects. Introduction to fuels in cogeneration power plants is given. In the world and Turkey, evaluation of cogeneration power plants are examined and some of them are pointed out. The trigeneration systems that include both heat, electricity and cooling requirements of the facility are introduced. Technical and economical factors included in the cogeneration power plant feasibility are explained. The environmental and health effects of the cogeneration power plants are also mentioned.

Keywords: Cogeneration, Combined Heat and Power Systems, Trigeneration, Gas Turbine Engine, Reciprocating Engine

**T.C. İLKAY ORHAN KURULU
DOKÜMANİSYON MERKEZİ**

TEŞEKKÜR

Bu tezin oluşmasında ilk olarak tez danışmanım Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ'a çalışmamda bana rehberlik ettiği için çok teşekkür ederim.

Ayrıca, bu tez çalışmamda kullandığım şekillerde yardımlarından dolayı Levent ÜSTÜNTEPE'ye, tezimi okuyarak düzeltmelerde yardımcı olan Nail ÖZBAYRAKTAR ve Önder TURAN'a, moral destek veren Veda ASLIM, Aslı BÜYÜKERŞEN, Enis Turhan TURGUT ve Uğur TURHAN'a teşekkür ederim.

Ve son olarak, yaşamım boyunca bana her konuda destek olan sevgili aileme teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Kojenerasyon Tesislerinde Verim	2
1.2. Kombine Çevrimli Sistem	3
1.3. Kojenerasyon Sistemlerinin Sınıflandırılması	6
2. KOJENERASYONDA KULLANILAN TEKNOLOJİLER	10
2.1. Pistonlu Motor	11
2.1.1. Teknolojik tanım	12
2.1.2. Performans özellikleri	12
2.1.2.1. Verim	12
2.1.2.2. Sermaye maliyeti	13
2.1.2.3. Kullanılabilirlik	14
2.1.2.4. Bakım	14
2.1.2.5. Isının geri kazanımı	14
2.1.3. Uygulamalar	15
2.1.4. Teknolojik ilerlemeler	15
2.2. Gaz Türbinli Motorlar	16
2.2.1. Teknolojik tanım	16
2.2.2. Performans özellikleri	16
2.2.2.1. Verim	16
2.2.2.2. Sermaye maliyeti	19

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM AKADEMİK
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

2.2.2.3.Kullanılabilirlik.....	19
2.2.2.4.Bakım	19
2.2.2.5.Isının geri kazanımı.....	23
2.2.3. Uygulamalar.....	24
2.2.4. Teknolojik ilerlemeler.....	24
2.3. Buhar Türbini	25
2.3.1. Teknolojik tanım	25
2.3.2. Performans özellikleri	28
2.3.2.1.Verim	28
2.3.2.2.Sermaye maliyeti.....	28
2.3.2.3.Kullanılabilirlik.....	28
2.3.2.4.Bakım	28
2.3.2.5.Isının geri kazanımı.....	29
2.3.3. Uygulamalar.....	29
2.3.4. Teknolojik ilerlemeler.....	29
2.4. Yakıt Hücresi.....	29
2.4.1. Teknolojik tanım	30
2.4.2. Performans özellikleri	31
2.4.2.1.Verim	31
2.4.2.2.Sermaye maliyeti.....	31
2.4.2.3.Kullanılabilirlik.....	32
2.4.2.4.Bakım	32
2.4.2.5.Isının geri kazanımı.....	33
2.4.3. Uygulamalar.....	33
2.4.4. Teknolojik ilerlemeler.....	33
2.5. Mikro Türbin	33
2.5.1. Teknolojik tanım	33
2.5.2. Performans özellikleri	34
2.5.2.1.Verim	34
2.5.2.2.Sermaye maliyeti.....	34
2.5.2.3.Kullanılabilirlik.....	34
2.5.2.4.Bakım	34

2.5.2.5. Isının geri kazanımı.....	35
2.5.3. Uygulamalar.....	35
2.5.4. Teknolojik ilerlemeler.....	35
3. KOJENERASYON TESİSLERİNDE KULLANILAN YAKITLAR....	36
3.1. Doğal Gaz.....	36
3.2. Fuel Oil.....	37
3.3. LPG	38
3.4. Nafta	39
3.5. Çöplük Gazı.....	39
4. TÜRKİYE’DE VE DÜNYADA ÇEŞİTLİ KOJENERASYON	
UYGULAMALARI	42
4.1. Kombine Çevrim Uygulamaları	44
4.1.1. Trakya (Hamitadat) kombine çevrim santrali	44
4.1.2. Ambarlı kojenerasyon santrali	44
4.1.3. Bursa doğal gaz kombine çevrim santrali	44
4.1.4. Taranaki kojenerasyon santrali	45
4.2. Endüstriyel Buhar ve Elektrik Üretim Kojenerasyon Santrali	45
4.2.1. Entek kojenerasyon santrali	45
4.2.2. Kentsa kojenerasyon santrali	45
4.2.3. Alaplı kojenerasyon santrali	47
4.2.4. Çerkezköy kojenerasyon santrali	47
4.2.5. Bozüyük kojenerasyon santrali.....	47
4.2.6. Hemeraj kojenerasyon santrali.....	48
4.3. Sera Isıtması ve Elektrik Üretim Kojenerasyon Santrali.....	48
4.3.1. Kemberburgaz kojenerasyon santrali	48
4.4. Merkezi Isıtma ve Elektrik Üretim Kojenerasyon Santrali	49
4.4.1. Esenyurt kojenerasyon santrali	49
4.4.2. John F. Kennedy kojenerasyon santrali	49
4.4.3. Diemen kojenerasyon santrali.....	50

5. TRİJENERASYON	51
5.1. Absorpsiyonlu Soğutucuların Genel Çalışma Prensibi	54
5.2. Trijenerasyon Tesisinin Sektördeki Yeri.....	55
 6. KOJENERASYONUN EKONOMİK VE ÇEVRE AÇIDAN	
DEĞERLENDİRİLMESİ	57
6.1. Kojenerasyonun Ekonomik Açından Değerlendirilmesi.....	57
6.1.1. Kojenerasyonun avantajları	57
6.1.2. Kojenerasyonun önemli teknik parametreleri	60
6.1.2.1. Isı güç oranı	60
6.1.2.2. Isı enerjisinin kalitesi	61
6.1.2.3. Yakıtların kullanılabilirliği	62
6.1.2.4. Sistemin güvenilirliği.....	63
6.1.2.5. Elektrik alımı ve satımı	63
6.1.2.6. Bölgesel çevre kuralları	63
6.1.3. Kojenerasyonun ekonomik analizin anahtar parametreler.....	64
6.1.3.1. İlk yatırım.....	64
6.1.3.2. İşletme ve bakım maliyeti	64
6.1.3.3. Yakıt maliyeti.....	65
6.1.3.4. Satılan ve satın alınan enerji maliyeti	65
6.1.4. Kojenerasyon tesislerinin kurulması.....	65
6.1.4.1. Ön başvuru raporu.....	66
6.1.4.2. Ön fizibilite çalışması	66
6.1.4.3. Fizibilite çalışması	67
6.1.4.4. Kojenerasyon tesisi için alınması gereken izinler	69
6.1.4.5. Kojenerasyon tesisi için yapılan sözleşmeler ve	
alınan teşvikler	69
6.1.4.6. Kojenerasyon tesisinin ihale, inşaat, montaj ve	
işletmeye alınması	70
6.1.5. Örnek Bir Proje Çalışmasında Maliyetlerin Analizi	71
6.1.5.1. İncelenen gaz türbinin teknik özellikleri.....	71
6.2. Kojenerasyonun Çevre Açısından Değerlendirilmesi	72

7. GAZ TÜRBİN TEKNOLOJİSİNİN KOJENERASYON TESİSLERİNDE KULLANILMASI	76
8. TARTIŞMA, SONUÇ, ÖNERİ.....	78
KAYNAKLAR.....	82
EKLER	88



ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1. Kojenerasyon sistemi ile konvansiyonel sistemin karşılaştırılması.....	3
1.2. Kombine çevrimli kojenerasyon sistemi	5
1.3. Kombine çevrimli santrallerde enerji dağılımı	5
1.4. Birleşik ısı ve güç santrali –Öncelikli elektrik enerjisi üretim çevrimi	6
1.5. Birleşik ısı ve güç santrali –Elektrik ve ısı üretimi (birleşik çevrim).....	7
2.1. Piston motorlu kojenerasyon sistemi	12
2.2. Gaz türbinli kojenerasyon sistemi	17
2.3. Uçak türevli gaz türbinli motor ile endüstriyel türbinli motorların elektrik verimlerinin karşılaştırılması.....	18
2.4. Buhar türbinli kojenerasyon sistemi	26
2.5. Farklı karşı basınç türbinleri.....	27
3.1. Çöplük gazının elde edilmesi.....	40
4.1. Çöplük gazı uygulamasının tesis şeması	49
5.1. Gaz türbinli bir trijenerasyon tesisi	51
5.2. Kompresörlü sistem ve absorpsiyonlu sistemin karşılaştırılması	53
5.3. Buhar sıkıştırılmalı ve buhar absorpsiyonlu soğutma sistemin karşılaştırılması.....	54
6.1. Farklı iki fabrika için ısı ve elektrik yükü modeli	61
7.1. Açık ve kapalı çevrim soğutma	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

4.1 Enerjisa kojenerasyon tesisinin özellikleri	46
6.1 Aynı güçteki iki farklı tip santralin emisyonlar yönünden karşılaştırılması.....	59
6.2 Kojenerasyon sistemlerinin ısı güç oranları ve verimleri	60
6.3 İncelenen gaz türbinin maliyet analizi	72
8.1 Kojenerasyon tesislerinde kullanılan teknolojilerin karşılaştırılması.....	79



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AFC	: Alkalın yakıt hücresi (alkaline fuel cell)
CHP	: Birleşik ısı güç teknolojisi (Combined heat and power)
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
d/d	: devir/dakika
DE-SO _x	: Baca gazı kükürt yıkama (desülfürizasyon)
EGT	: Egzoz gaz teknolojisi (Exhaust gas technologies)
GT	: Gaz türbin
ISO	: Uluslararası Standart Organizasyonu (International Standards Organization)
kW	: Kilo Watt
LPG	: Likit petrol gazı (Liquefied Petroleum Gases)
MCFC	: Molten karbonat yakıt hücresi (molten carbonate fuel cell)
Mix	: Karışım (Mixture)
MW	: Mega Watt
N ₂	: Azot
NO _x	: Azot oksit
PAFC	: Fosforik asit yakıt hücresi (phosphoric acid)
PEMFC	: Proton değişimli membrane yakıt hücresi (proton exchange membrane fuel cell)
ppm	: Milyonda bir partikül (per particule million)
RT	: Refrigeration tons (ton soğutma)
SOFC	: Katı oksit yakıt hücresi (solid oxide fuel cells)
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEK	: Türkiye Elektrik Kurumu

1. GİRİŞ

Kojenerasyon, enerjinin hem elektrik hem de ısı formunda aynı sistemden beraberce üretilmesidir. Bu birliktelik, iki enerji formunun ayrı ayrı üretilmesinden daha ekonomiktir. Bu sistemlerde, ısı ve elektrik birlikte üretildiğinden “birleşik ısı ve güç üretim sistemleri” olarak da adlandırılır. Kojenerasyonun amacı, elektrik üretiminde atık gaz enerjisini, sanayi veya konutların ihtiyacı doğrultusunda kullanılmasına imkan vererek, toplam verimin yükseltilmesini sağlamaktır.

Dünyadaki birincil yakıt rezervlerinin hızla azalması ve yakın bir gelecekte de tükeneceğine yönelik öngörülerin olması, bu yakıt rezervlerinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Enerjinin etkin kullanımı, refah seviyesinde herhangi bir fedakarlık yapılmaksızın kalite ve performansı düşürmeden, kullanılacak olan ısı ve elektrik enerji miktarının azaltılmasıdır. Elektrik ve ısı bu şekilde bir arada üretilmesiyle, üretim maliyetleri minimum seviyeye inmekte ve kojenerasyon sistemini kullanan işletmenin rekabet gücü artmaktadır.

Bugün bir çok işletme, elektrik enerjisi ihtiyacını ulusal şebekeden, ısıtma ve soğutma ihtiyacını ise kendi bünyesinde kurmuş olduğu tesislerden sağlamaktadır. Ancak, ulusal şebekeden alınan elektrik enerjisi yüksek maliyetli ve düşük kalitededir. Bunun nedeni, elektriğin düşük verimli konvansiyonel santrallerde üretilmesi ve uzun nakil hatları ile iletilmesidir. Bununla birlikte, ısıtma ve soğutma ihtiyacı için ilave bir enerji sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, birleşik ısı güç santralleri, günümüz çağdaş üretim yöntemleri içinde ön sıralarda yer almaktadır (Söğüt 1999).

Kojenerasyon, 1970’li yılların sonlarına doğru güncel ve ilgi çekici bir duruma gelmiştir. Kojenerasyonun güncel olma nedeni üç faktöre dayanmaktadır. O günlerde yaşanan yakıt krizinin enerji fiyatlarına ve kullanımına etki etmesi, küçük çaptaki kojenerasyon tesislerinin birim enerji fiyatının düşük olması ve kojenerasyon tesislerinin sıradan elektrik üreten tesislerle rekabete girmesi kojenerasyonu güncel hale getirmiştir (Mohanty 2001).

1980’li yılların ortalarında enerji fiyatlarının düşmeye başlaması, bazı ülkelerin bu sisteme ilgilerinin azalmasına ve kapasite fazlası üretimine neden

olmuştur. Avrupa'yı örnek gösterecek olursak, kojenerasyon sistemini kullanan ülkelerin oranı çeşitlilik gösterir. Hollanda elektrik üretiminin % 34'ünü kojenerasyon tesislerinden sağlarken, Fransa'da bu oran % 1.5'ten daha azdır.

Günümüzde, kojenerasyona olan ilginin tekrar artmasının birçok nedeni vardır. Bunların başında, elektrik ihtiyacının hızla artması, ek üretim kapasitesinin uluslararası otoriteler tarafından finanse edilmesi, çevre kirliliği ve emisyonun belli değerlere oturtulması gelmektedir. Tesislerini geliştirmeyi planlayan, yeni endüstriyel alanlarda gelişmek isteyen veya enerji kaynakları çok olan veya ürettiği gücü satmak isteyen endüstriyel tesislere, kojenerasyon sistemi önerilmektedir (Mohanty 2001).

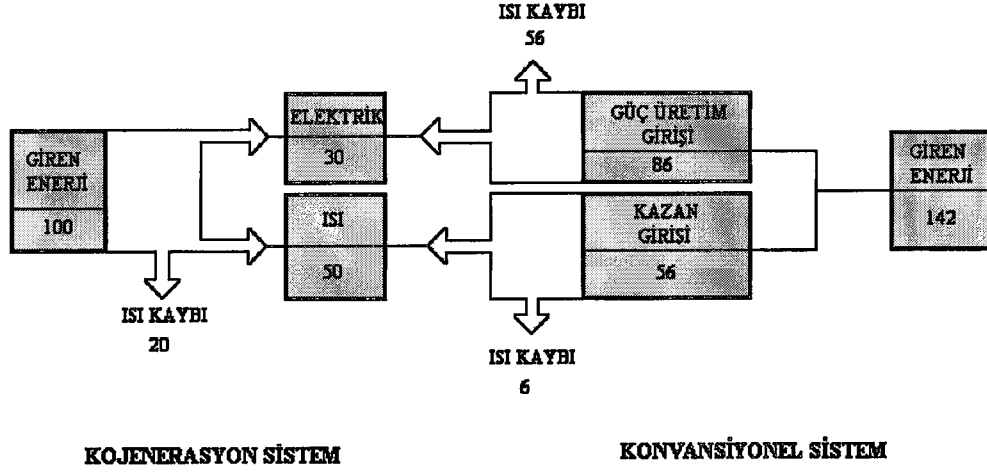
1.1. Kojenerasyon Tesislerinde Verim

Basit çevrimle çalışan, sadece elektrik enerjisi üreten bir sistemde verim % 30 – 40 iken, kombine çevrimde en fazla % 55'e kadar çıkmaktadır. Yani, kullanılan enerjinin en fazla % 55'lik kısmı elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Geriye kalan kısmı ise atık ısı olarak çevreye verilmekte ve bu enerjiden yararlanılamamaktadır.

Oysa ki, kojenerasyon sisteminin kullanılması durumunda dışarı atılacak olan atık ısı enerjisinin büyük bir bölümü sıcak su, buhar, absorpsiyonlu soğutma gibi kullanılabilir enerji formlarına dönüştürülerek, kullanılan toplam enerjinin % 70- 90'lık kısmının değerlendirilmesi sağlanabilir. Bu şekilde birincil enerjinin, yani kullanılan yakıt kaynaklarının, atılan kısmı minimize edilmektedir. Bu yüksek sistem verimi sayesinde kojenerasyon sistemi ilk tesis ve kuruluş maliyetini 1.5-3 yıl gibi kısa bir sürede geri öder.

Kojenerasyon sistemlerinde giren 100 birimlik birincil enerjinin, 30 birimi elektrik enerjisi ve 50 birimi ısı enerjisi olarak geri kazanılmaktadır. Konvansiyonel sistemlerde, kojenerasyon sisteminden elde edilen 30 birimlik elektrik enerjisini elde edebilmek için 82 birimlik bir enerji girdisi gerekir. 50 birimlik ısı enerjisi elde etmek için ise 56 birimlik bir enerji girdisi gerekir. Sonuç olarak, kojenerasyon sistemlerinden 100 birimlik enerji girdisiyle üretilen enerji, konvansiyonel sistemlerde 142 birimlik enerji girilerek

üretilebilir (Şekil 1.1). Böylece, 42 birimlik bir enerji tasarrufu sağlanabilmektedir (Hewett ve ark. 1996).



Şekil 1.1 Kojenerasyon sistemi ile konvansiyonel sistemin karşılaştırılması (Hewett ve ark. 1996)

1.2. Kombine Çevrimli Sistem

Kombine çevrim terimi, esas itibariyle gaz türbin çevrimi ve buhar çevriminin bir sistem içine alınarak birbirini tamamlayıcı şekilde çalıştırılmasını ifade eder. Genel prensibi, gaz türbin çevriminden çıkan egzoz gazının yüksek enerjisi, Rankine çevriminde kullanılarak ek bir enerji üretiminin sağlanmasına dayanmaktadır. Kombine çevrimli sistem, ısı güç üretiminde günümüzde geçerli olan en verimli yöntem konumundadır (Özgürel ve Egeli 1994a).

Kombine çevrim sisteminde, atık ısının buhar türbininde değerlendirilmesiyle, sistemden elde edilen toplam güç, konvansiyonel sistemden daha yüksektir. Bu nedenle, özellikle 1980'li yıllardan itibaren gaz türbinli kombine çevrim uygulamalarında büyük bir artış olmuştur (Özgürel ve Egeli 1994b).

Kombine çevrim santralinin çalışma prensibi genel olarak şu şekilde özetlenebilir:

Atmosferden alınan hava, bir filtre sisteminden geçirildikten sonra gaz türbininin kompresör kısmına girer ve burada sıkıştırılarak yanma odasına iletilir. Yanma odasına püskürtülerek verilen yakıt, sıkıştırılmış hava ile karışarak yanar.

Yanma sonucu oluşan 1000–1100 °C sıcaklığın üzerindeki yüksek basınçlı gaz, türbin kanatçıklarından geçerek türbini döndürür ve türbine bağlı jeneratörden elektrik enerjisi üretilir. Gaz türbininden çıkan 500–600 °C sıcaklığındaki atık gaz bir egzoz kanalıyla atık ısı kazanına iletilir. Egzoz gazı, atık ısı kazanına girerek soğur ve daha sonra kazan bacasından atmosfere atılır.

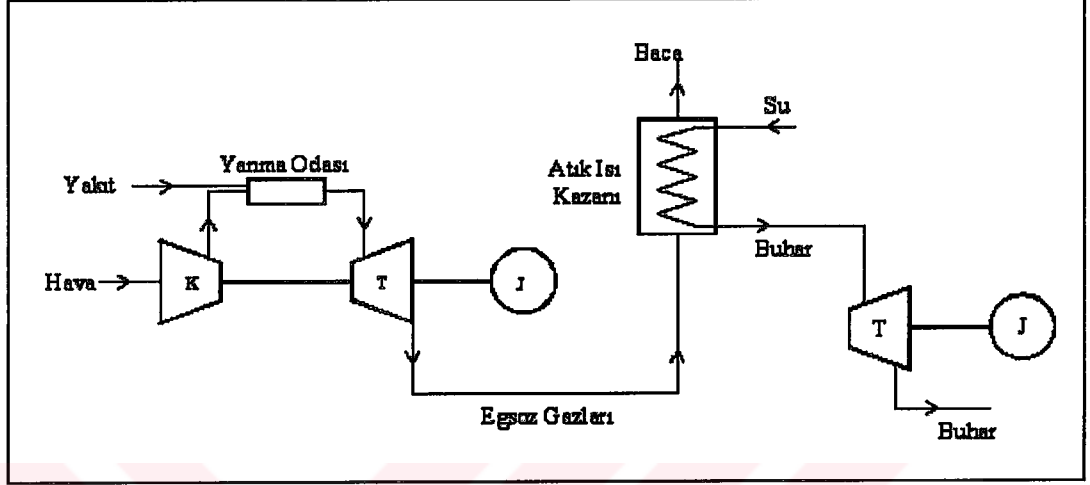
Atık ısı kazanında, genel olarak üç ayrı ısı eşanjör bölümü bulunur. Rankine çevriminde, su ilk önce kazanın “ekonomizör” bölümüne girer ve doyma sıcaklığının çok az altında bir sıcaklığa kadar ısıtılır, daha sonra “evaporatör” bölümünde buhar haline dönüşür ve bu doymuş buhar “kızdırıcı” bölümünde tekrar ısıtılarak kızgın buhar olarak buhar türbinine verilir. Bu olay, tek basınç kademeli bir kazan–buhar türbini grubu için verilen bir Rankine çevrimidir. Ancak, kazan–buhar türbini gruplarının tekrar kızdırmalı veya tekrar kızdırmaz, iki ya da üç basınç kademeli olmaları durumunda; ekonomizör, evaporatör ve kızdırıcı bölümleri de her bir basınç kademesi için kazan içinde ayrı ayrı yer alır. Bu basınç kademelerine bağlı olarak Rankine çevrimi de kendi içinde ayrı ayrı çevrimler oluşturur. Atık ısı kazanında üretilerek buhar türbinine verilen buhar, türbin kademelerinde genleşir. Böylece, ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülmüş olur. Türbinin tahrik edilmesiyle de türbine bağlı jeneratörden elektrik enerjisi üretilir.

Buhar türbininden çıkan düşük basınç ve sıcaklıktaki buhar kondensere gelir ve burada soğutma sistemi vasıtasıyla yoğunlaştırılarak, su haline dönüştürülür. Daha sonra, kondensat pompaları ile içlerindeki yoğunlaşmamış gazın alınması için besleme suyu tankına gönderilir. Su, besleme suyu tankından besleme suyu pompaları ile tekrar atık ısı kazanına gönderilir. Bu şekilde, Rankine kapalı çevrimi; kazan, buhar türbini ve kondenser arasında sirküle eder.

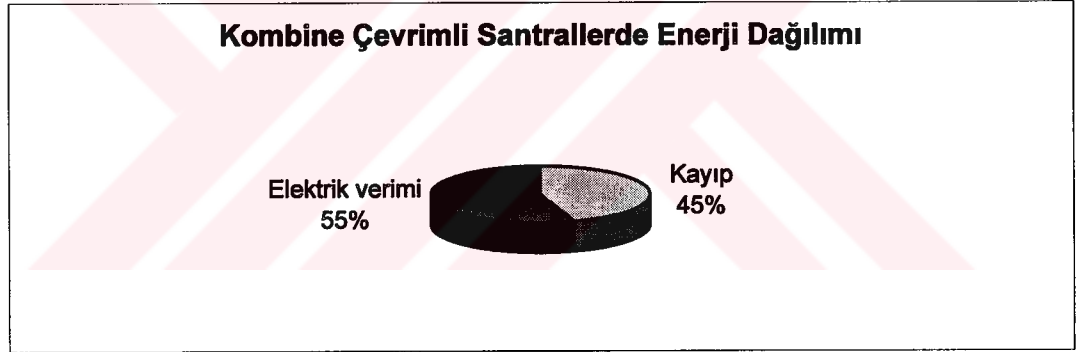
Kombine çevrimin en büyük avantajı, fosil yakıtlı santraller içinde en yüksek verime sahip olmasıdır. Günümüzde, 20 MW’ın üstünde güçlere sahip gaz türbinine dayalı tekrar kızdırmalı ve üç basınç kademeli kombine çevrimlerde % 55 civarında verime ulaşılmıştır. Verim artışı bir yandan CO₂ emisyonunu daha da azaltmakta bir yandan da yakıt tüketiminde büyük tasarruf sağlamaktadır. Bir araştırmaya göre, santral veriminin % 55’ten % 57’ye çıkarılmasıyla 350 MW’lık üç bloktan oluşan bir kombine çevrim santralinin 20 yıllık bir işletme sürecinde

elde edilecek kazanç yaklaşık 81 milyon \$ olmaktadır. Bu ise toplam ilk yatırım bedelinin % 20'sine tekabül etmektedir (Egeli ve Gürel 1995).

Bir kombine çevrim santralinin prensip şeması ve bu kombine çevrim santralindeki enerji dağılımı Şekil 1.2'de ve Şekil 1.3'de görülmektedir.



Şekil 1.2. Kombine çevrimli kojenerasyon sistemi(Ağabay 1993a)



Şekil 1.3. Kombine çevrimli santrallerde enerji dağılımı (Öztürk 1996)

Yüksek verimi dışında kombine çevrim santrallerinin daha birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi de kombine çevrimlerin birçok değişik alana hizmet verebilecek esnekliğe sahip olmasıdır. Kombine çevrim santrallerinde elektrik üretimi yapılabildiği gibi, aynı zamanda ister kazandan isterse buhar türbininden alınacak ara buharın bölgesel ısıtmada ya da proseste kullanılmasıyla santral, % 85–90 civarında bir ısı verimlilik ile birleşik ısı güç sistemi olarak da hizmet verebilir.

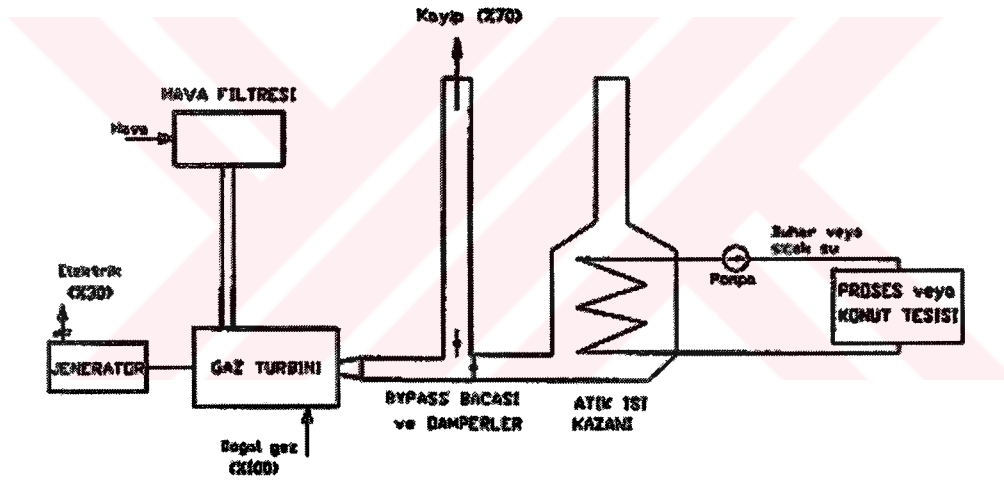
Kombine çevrimlerde doğalgazın her çeşidi, ham petrolden motorin ve fuel-oile kadar tüm sıvı yakıtlar ile gazlaştırma yöntemi ile kömür dahil olmak üzere çok geniş bir yakıt kullanım olanağı mevcuttur. Ayrıca, istendiği takdirde çift yakıt yakabilecek şekilde de dizayn edilebilmektedir.

1.3. Kojenerasyon Sistemlerinin Sınıflandırılması

Birleşik ısı ve güç santrallerinden maksimum verim elde edilebilmek için, yatırımın yapılacağı tesiste gerekli olan ısı enerjisi ile tüketilen elektrik enerjisi arasında optimum dengenin sağlanması gereklidir.

Birleşik ısı güç santralleri, üretim önceliğine göre ikiye ayrılır:

1. Önce elektrik sonra ısı üretimi (topping cycle)
2. Önce ısı sonra elektrik üretimi (bottoming cycle)

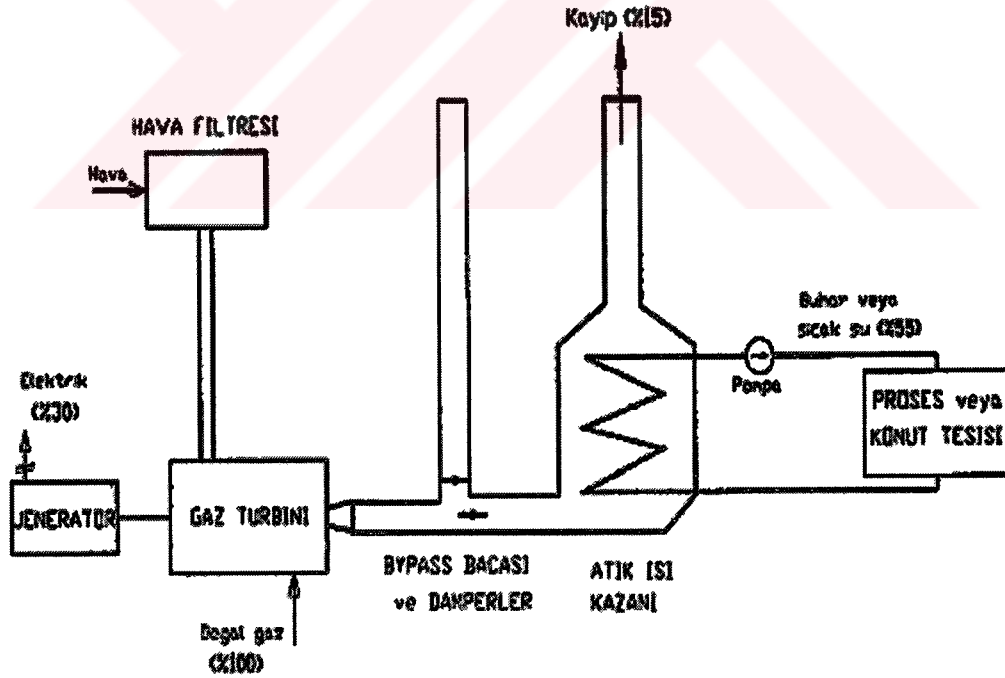


Şekil 1.4. Birleşik ısı ve güç santrali –Öncelikli elektrik enerjisi üretim çevrimi (Önel 1997)

Öncelikli elektrik enerjisi üretim çevriminde, yakıt yakılır ve ısı ilk olarak elektrik üretmek için kullanılırken arta kalan ısı, ısıtma amaçlı veya endüstriyel süreçte kullanılır. Tipik örnekleri, karşı basınçlı buhar türbin çevrimleri (yaygın olarak kağıt sektöründe) ve gaz türbinin çıkışındaki atık ısı enerjisinin proses gereksinimi için kullanıldığı gaz türbinli birleşik çevrimde kullanılır. Genellikle, ısı ihtiyacının az olduğu yaz aylarında görülen bir çalışma şeklidir ve konutlarda kullanımı fazladır. Çünkü, yazın konutun kullanma suyu dışında sıcak su ihtiyacı yoktur. Birleşik ısı ve güç santrali, öncelikle konutun elektrik enerjisi ihtiyacını

karşılama için kullanılır. Bu işletme şeklinde, Şekil 1.4'de görülen bypass damperi tamamen açıktır. Atık ısı kazanı damperi, kullanma suyu için gerekli enerjiyi karşılamak için çok az açıktır. Dolayısıyla, bu işletme şeklinde birleşik ısı ve güç santralinin verimi düşük ve minimum değere yakındır.

Öncelikli ısı enerjisi üretim çevriminde, ısı ilk olarak yüksek sıcaklıkta endüstriyel süreç için kullanılırken, arta kalan ısı elektrik üretimi için kullanılır. Proses gereği olarak bu çalışma yazın ve kışın mümkün olabilir. Konut tesislerinde ise ancak ısınma enerjisinin ihtiyaç duyulduğu kış aylarında mümkün olabilir. Şekil 1.5'de görüldüğü gibi, bu çalışma şeklinde gaz türbini elektrik enerjisi üretmektedir. Bir kanal vasıtasıyla atık ısı kazanına yönlendirilen egzoz gazı, enerji kaynağı olarak kullanılarak proses için buhar ve konut için sıcak su ihtiyacını karşılamada kullanılmaktadır. Bu işletme şeklinde, bypass damperi tamamen kapalı olup, gaz türbininden çıkan tüm gaz, atık ısı kazanına yönlendirilmektedir. Dolayısıyla, birleşik ısı ve güç santralinin verimi maksimumdur (Fisk ve VanHousen 1996; Hewett ve ark. 1996; Önel 1997).



Şekil 1.5. Birleşik ısı ve güç santrali –Elektrik ve ısı üretimi (birleşik çevrim) (Önel 1997)

Bir kojenerasyon tesisi üç farklı alanda kullanılır.

- Bölge ısıtmayı içeren merkezi kojenerasyon: Merkezi bir santralde hem elektrik hem de ısı üretilir. Isı, sıcak su veya buhar aracı akışkan olarak kullanılarak boru şebekesiyle bölgeye dağıtılır. Elektrik şebekeye verilir. Bu uygulama, Kuzey ve Doğu Avrupa ülkelerinde çok yaygındır.
- Endüstriyel kojenerasyon: Çok miktarda elektrik ve buhar (ısı) gereksinimi olan endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıkta ısı gerektiren tesislerde (rafineri, gübre tesisi, demir, çimento, seramik ve cam) kullanıldığı gibi düşük sıcaklıkta ısı gerektiren tesislerde de (kağıt, tekstil, yemek ve meşrubat) kullanılır (Minett 2000). Bu tür sistemlerde, ısı gereksiniminin temel parametre olarak alınıp sistemin buna göre tasarlanması daha ekonomiktir. Fazla elektrik şebekeye satılabilir veya gerekirse şebekeden elektrik alınabilir.
- Küçük ölçekli kojenerasyon: Çalışma saatleri belli olan yerlerde kurulan tesisler olup, gaz türbini ve pistonlu motorun gelişimi ile son on yılda yaygınlık kazanan bir uygulamadır. Küçük ölçekli kojenerasyon tesislerinde, genellikle 5 MW gücünde küçük pistonlu motorun kullanımı söz konusudur. Küçük ölçekli kojenerasyondan (Kolanowski 2000);
 - Atık su iyileştirme tesislerinde, biyogaz veya doğal gaz karışımı yakılarak elektrik ve sıcak su üretimi sağlanırken,
 - Çok amaçlı tesislerde spor merkezleri ve yüzme havuzunu ısıtmada, havalandırma sistemi için soğuk hava elde edilirken,
 - Yemek hazırlama sürecinde, dahili tüketim için elektrik üretilirken, gıdalar sterilize edilip, pişirilirken,
 - Eğlence merkezlerinde, absorpsiyonlu soğutma ile soğutma havası sağlanırken ve elektrik üretilirken,

- Otellerde odalara, amaşırhane, mutfağı sıcak su sağılanırken, havuzu ısıtmak için ve elektrik ihtiyacının bir kısmını üreterek karşılar,ken,
- Hastanelerde terapi havuzlarını 90 °C üzerinde ısıtırken, ameliyat aletleri steril edilirken, genel sıcak su ihtiyacının ve elektrik ihtiyacının büyük bir kısmını karşılar,ken,

yararlanılır.



2. KOJENERASYON TESİSLERİNDE KULLANILAN TEKNOLOJİLER

Birleşik ısı ve güç teknolojileri (CHP: Combined Heat and Power), elektrik veya mekanik güç üretir ve proses için atık ısıyı geri kazanır. Bu teknolojiler, pistonlu motor, gaz türbinli motor, buhar türbini, yakıt hücresi ve mikro türbindir. Teknolojilerin çoğunda, verimlilik artarken, emisyon ve maliyetler azalarak büyük bir gelişme göstermiştir (Sycom 1999).

Özel bir uygulama için seçilecek birleşik ısı güç teknolojisi; güç ihtiyacı, çevrimin türü, bölge sınırlamaları, ısı ihtiyacı, emisyon sınırlamaları, yakıtın kullanılabilirliği, şebeke fiyatları ve bağlantı sorunları gibi birçok faktöre bağlıdır. Birleşik ısı ve güç teknolojileri, 25 kW mikro türbinden 250 MW gaz türbinine kadar geniş bir kapasite aralığında değişkenlik gösterir. Yakıt hücreleri hariç, bütün teknolojiler için tahmin edilen tesis maliyeti 500-1000 \$/ kW arasındadır (Sycom 1999).

Kojenerasyon tesislerinde, pistonlu motor genellikle ısı enerjisi, sıcak su olarak isteniyorsa kullanılır. Fakat, endüstriyel kojenerasyonda genellikle ısı enerjisi, buhar olarak istenildiğinden gaz türbini veya birleşik çevrimler kullanır. Gaz türbini veya pistonlu motor kullanılması halinde egzoz gazının enerjisi, doğrudan kullanılacak şekilde değerlendirilebilir (Örneğin, çimento endüstrisindeki kurutma prosesleri). Pistonlu motorun ve kojenerasyon amaçlı birleşik çevrimin, ısı güç oranı düşüktür. Eğer, yüksek ısı güç oranı isteniyorsa, genellikle buhar türbini veya ard yanmalı gaz türbini kullanılır. Bakım prosedürlerine uyulması halinde, kojenerasyon teknolojilerinin kullanılabilirliği yüksektir (>% 95) (Ağabay 1993b).

Kojenerasyon sistemlerinde, periyodik ve düzgün bir koruyucu bakım, ekipmanların ömrünü maksimum seviyede uzatacaktır. Zamanında yapılan koruyucu bakım, ekipmanın uzun vadede bakım ve işletme maliyetlerini düşürecektir. Ayrıca, ekipmanlardaki anormal aşınmalar ve arızalar erken tespit edilir. Gerek zamanından önce yapılan bakımlar, gerekse geciken bakımlar, maliyetleri artıran önemli öğelerdir (Tuna 1997).

2.1. Pistonlu Motor

Pistonlu motor, çoğunlukla küçük ve orta ölçekli kojenerasyon tesislerinde kullanılır. Motorun boyutu ve üreteceği güç, hangi yakıtın kullanılacağını belirler. 50 kW ile 10 MW arasında doğal gaz, 50 kW ile 50 MW arasında dizel ve 2.5 MW ile 50 MW arasında fuel-oil ile çalışan motor tercih edilir. Pistonlu motor kojenerasyon sisteminin diğer sistemlere göre avantajı, yüksek elektrik verimine sahip olmasıdır (Hewett ve ark. 1996). Ayrıca, düşük gaz basıncı ile çalışabilmeleri de önemli bir avantaj sağlamaktadır (Zor 2000).

Günümüzde, pistonlu motorda özellikle fuel oil ve doğal gaz kullanılmaktadır. Doğal gaz dağıtım hattı bulunan yerleşim yerlerinde, gazın kolaylıkla şebekeden temin edilebilmesi ve egzoz gazının çevreye daha az zarar vermesinden dolayı doğal gaz kullanan pistonlu motor geniş çapta kullanım alanı bulmuştur. Yakıt sisteminde yapılan bazı ayarlamalar ile pistonlu motorda biyogaz, çöplük gazı, LPG, propan ve nafta gibi diğer yakıtları da kullanmak mümkündür (Ağabay 1993a).

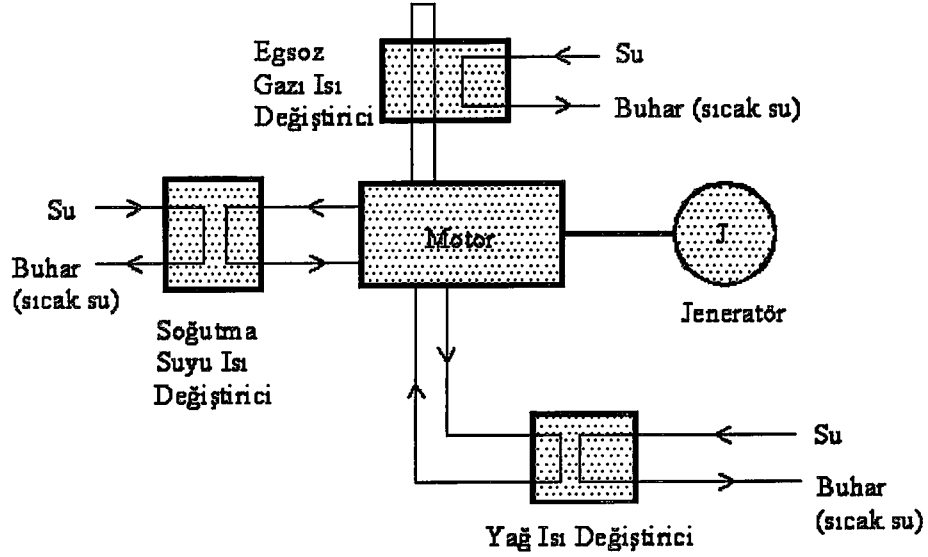
Pistonlu motor, aralıklı olarak çalıştırılabilir ve performansı gaz türbininden farklı olarak atmosfer şartlarına bağlı değildir. Sistemin ilk yatırım maliyeti düşüktür. Buna karşın, yüksek sıcaklıktan kaynaklanan aşınma nedeniyle bakım maliyeti yüksektir (Hewett ve ark. 1996).

Pistonlu motor kojenerasyon sistemi, elektrik tüketiminin ısı tüketimine oranla daha yüksek olduğu ya da elektrik ihtiyacının 1 MW'dan daha düşük olduğu durumlarda tercih edilir. Bu özellikleri ile pistonlu motor elektrik ihtiyacının yanı sıra, ısıtma ve/veya soğutma amaçlı ısı enerjisi gereksinimi duyulan; toplu konut bölgeleri, oteller, tatil köyleri, yüzme havuzlu spor kompleksleri, üniversite kampüsleri gibi uygulama alanlarında kullanılabilir.

Pistonlu motor, çok çeşitli güçlerde imal edilebilir. Bundan dolayı, günün çeşitli zamanlarında değişik yük seviyelerindeki uygulamalarda, yükü iki veya daha fazla motora paylaştırma olanağı bulunmaktadır (Külçe ve Topuz 1996).

Kojenerasyon tesislerinde pistonlu motor kullanmasının bir başka avantajı da motorun kısa zamanda devreye alınabilmesi, yine kısa zaman içinde ilk

kurulumunun gerçekleştirilmesidir. Şekil 2.1’de pistonlu motor kojenerasyon sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Pistonlu motorlu kojenerasyon sistemi (Baysal 1988)

2.1.1. Teknolojik tanım

Pistonlu motor, gaz türbinli motordan farklı özelliklere sahiptir. Basit çevrimde elektrik verimi, yüksek hızlı pistonlu motorda yaklaşık olarak % 38, dizel motorda % 45’dir. Bu yüzden, pistonlu motorda egzoz gazı, gaz türbin motoruna göre daha az enerjiye sahiptir. Pistonlu motorda egzoz sıcaklığı, 330 °C ile 420 °C arasında değişirken, gaz türbin motorda 500 °C üzerindedir. Diğer önemli faktör, gaz türbinli motorun egzoz gazı yaklaşık olarak % 15 oksijen içerirken, bu oran pistonlu motorda % 10 ile % 12 arasındadır (Lindberg ve Topuz 1999).

2.1.2. Performans özellikleri

2.1.2.1. Verim

Pistonlu motor, % 25 ile 45 arasında elektrik verimine sahiptir (yakıtın alt ısı değerine) ve toplam verimi en yüksek olan ana güç kaynağıdır (Ağabay 1993a; Sycom 1999).

Güç üretimi uygulamalarında, benzin ve dizel yakıtlı motorlarda buji kullanılabilir. Benzinli motorda, 20 kW ile 1.5 MW arasında güç üretilmektedir. Dizel yakıtla çalıştırılıp, daha sonra doğal gaz kullanılan buji ateşlemeli motorda 5

kW ile 4 MW arasında güç üretilmektedir. 750-3000 d/d ile çalışan pistonlu motor % 25-35 arasında elektrik verimine sahiptir. Pistonlu motor, doğal gaz, benzin, rafine edilmiş gaz gibi farklı özelliklere sahip yakıtlarla çalıştırılabilir (Hewett ve ark. 1996).

Dizel motorlar, genellikle iki ve dört zamanlı olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. İki zamanlı motor, düşük hızlı olarak bilinir. Ateşlemenin her dönüşte olması ve 200 d/d altında hıza sahip olması iki zamanlı motorun en önemli özelliğidir. Elektrik verimi % 45-53 arasında iken 1-50 MW arasında güç üretir. Dört zamanlı motorda ateşleme ikinci zamanda meydana gelir. Bu motorlar, iki ana kategoriye ayrılır. Orta hızlı motor, genellikle 400-1000 d/d arasında çalışır, 0.5-20 MW arasında güç üretir ve % 35-48 oranında elektrik verimine sahiptir. Yüksek hızlı motor ise 1000-2000 d/d arasında çalışır, 1 kW-2 MW arasında güç üretir ve % 35-40 oranında elektrik verimine sahiptir (Baysal 2001; Hewett ve ark. 1996).

100 MW'a kadar güç gereksiniminin olduğu endüstriyel bölgelerde, dizel motor hala en verimli ana güç kaynağıdır. Taşınması ve depolanması kolay olan ve her zaman bulunabilen düşük kaliteli, hatta düşük fiyatlı yakıt olan fuel-oil, işletme maliyetlerinin büyük kısmını oluşturan harcamalarda tasarruf sağlar (Vogtle 1998).

Düzenli çalışan ve yüksek verimli bir santrale sahip olmak için, iyi dizayn edilmiş havalandırma sistemine ihtiyaç vardır. Havalandırma sisteminin görevi, motorda yanma işleminin gerçekleşebilmesi için oksijen sağlamaktır. Diğer bir görevi, radyasyon ile doğal sıcaklığı dışarı taşımaktır. Havalandırma sisteminin dizaynında, hava filtresinin önündeki basınç değerinin çok yüksek veya düşük olmamasına dikkat edilmesi gerekir. Aksi takdirde, üniteler düzenli çalışmaz ve verim düşer (Saraç 1995).

2.1.2.2. Sermaye maliyeti

Birleşik ısı güç sistem projelerinde kullanılan pistonlu motor, tipik olarak 800-1500 \$/kW arasında bir maliyetle kurulur. Küçük kapasiteli projeler, yakıtın tedariki, motor ilavesi, ruhsat ve mühendislik maliyetleri gibi diğer maliyetlerle değişebilir (Sycom 1999).

2.1.2.3. Kullanılabilirlik

Pistonlu motor, performans ve güvenilirliğini ispatlamıştır. Programlı bakım ve iyi bir koruyucu bakım programı ile kullanılabilirlik, % 95'in üzerine çıkartılabilir. Programsız bakım, kullanılabilirlik ve güvenirligi etkileyebilir. Bir pistonlu motorun ömrü yaklaşık olarak 60000 çalışma saati kadardır. Bir kojenerasyon sistemi yılda yaklaşık 5000-7500 saat çalıştırıldığı düşünülürse, pistonlu motorun kullanım ömrü 10 yıl kadardır (Ağabay 1993a; Sycom 1999).

2.1.2.4. Bakım

Motor bakımı, her 500-2000 saatte ateşleyici bujilerin ve periyodik motor yağının değişimini içerir. Yağ analizi, motor aşınma durumuna karar vermek için uygun bir yöntemdir. Revizyon aralığı, üretici firma tarafından tavsiye edilir. Fakat, pistonlu motora genellikle 24000-30000 saat aralığında ana revizyon yapılır. Küçük bakımlar, silindir başları ve turbo şarjın revizyonunu içerir. Ana revizyonda, pistonlar, krank şaft yatakları ve contalar değiştirilir. Ana revizyon için çalışma süresi, motor türüne göre önemli farklılık gösterebilir. Revizyon için ayrılan tipik bakım maliyeti, 0.01-0.15 \$/kW'dır (Ağabay 1993a; Sycom 1999).

2.1.2.5. Isının geri kazanımı

Pistonlu motor, giren enerjinin yaklaşık olarak % 30'unu mekanik enerjiye çevirir. Pistonlu motorda, motora giren enerjinin hemen hemen % 70'i potansiyel olarak yeniden kazanılarak kullanılabilir (Mohanty 2001). Pistonlu motorda ısı, motor gömlek soğutması, motor egzoz gazı ve motor gövdesinde dolaşan ısınmış yağdan geri kazanılabilir. Geri kalan ısı, motor parçalarından, ısı yayılımı şeklinde ortama geçer. Ceket suyu ve motor egzoz gazı, motora giren toplam ısının yaklaşık olarak % 60'ını içerir. Yağda bulunan ve motordan yayılan ısı, toplam ısının hemen hemen % 10'u kadardır (Ağabay 1993a; Hewett ve ark. 1996).

Atık ısının düşünülen ilk kaynağı, ceket soğutucusudur. Soğutucu akışkan genellikle, sudur. Motor bloğu, silindir başları ve egzoz manifoldundaki sıcaklığı muhafaza eder. Yanma prosesindeki ısı, ceket soğutma suyuna motordaki dahili

hatları dolaştıkça transfer olur. Ceket soğutma suyundaki ısıyı geri kazanmak oldukça kolaydır. Bu ısı, sıcak su ihtiyacının karşılanmasında ve ortamın ısıtılmasında kullanılabilir. Kullanılabilir ısının sıcaklığı ve miktarı, motor soğutma sisteminin dizaynına bağlıdır. Ceket suyu sıcaklığı maksimum 148 °C'dir. Bu, proses kullanımı için düşük basınçlı buhar üretimini mümkün kılar (Hewett ve ark. 1996).

Pistonlu motordaki diğer ısı kaynağı, egzoz gazıdır. 420 °C'ye kadar ulaşılabilen yüksek sıcaklıktaki egzoz gazı, ceket soğutmasından daha kaliteli ısı sağlar. Egzoz sıcaklığının 148-176 °C'den aşağıya düşürülmemesi önerilir. Çünkü, bu sıcaklık aralığında egzoz gazı çığ noktasına ulaşır ve yanma ürünü olan su buharı yoğunlaşmaya başlar. Bu sorun, yalnızca özel dizayn edilmiş korozyona dirençli ısı değiştiricileri kullanıldığında önenebilir. Genellikle, egzoz gazındaki ısı enerjisinin % 50'sinden fazlasını geri kazanmak uygun değildir (Hewett ve ark. 1996).

Egzoz ısısı, tipik olarak 110 °C sıcak su veya 100 kPa düşük basınçlı buhar üretmek için kullanılır (Turna 1999).

2.1.3. Uygulamalar

Pistonlu motor, bir tesisin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere ve önemli miktarda düşük basınçlı buhar veya sıcak su talebinin olduğu birleşik ısı güç tesislerinde kullanılır. Soğutma gerekli olduğunda pistonlu motordan elde edilen ısı, absorpsiyonlu soğutmada enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Pistonlu motor, 50 kW ile 50 MW arasında güç kapasitesine sahiptir (Sycom 1999).

2.1.4. Teknolojik ilerlemeler

Elektronik kontrol ve uzaktan görüntüleme sistemlerindeki gelişmeler motorun kullanılabilirliğini ve güvenilirliğini arttırmıştır. Bakım metodlarının ve uzun ömürlü ateşleyici bujilerin geliştirilmesi, geliştirilmiş hava ve yakıt filtreleri, sentetik yağlayıcı yağlar ve daha büyük motor karterlerinin kullanılmasıyla pistonlu motorun verimi artmıştır.

2.2. Gaz Türbinli Motorlar

Geçtiğimiz 20 yıllık süreçte, gaz türbini ciddi bir gelişme göstermiş ve sektörde yaygınlaşmıştır. Gaz türbini, 20 yıl önce güç üretim sektöründe yalnızca % 20'yi temsil etmesine karşın, günümüzde yeni kapasitelerin ilavesiyle % 40 seviyelerine ulaşmıştır. Gaz türbini gücü, 30 kW mikro türbin ile 250 MW endüstriyel türbin arasında değişir. Gaz türbini, maksimum kapasitede uzun süre kullanılmaktadır. Bununla birlikte, güç endüstrisindeki değişikliklerle ve artan verimle gaz türbini, temel güç üretimi için kullanılmaya başlanmıştır. Bu büyümenin çoğu, düşük sermaye maliyetli (550 \$/kW'dan az) ve yüksek ısı verimli, 50 MW büyüklüğündeki kombine çevrimlerde görülür. Üreticiler, daha yüksek verimlilikte çalışan yeni ve büyük kapasiteli seçenekler sunmaktadır. Gelecek on yıl içerisinde, ABD'nin güç üretim kapasitesinin % 80'inde gaz türbinli tesislerin yer alacağı tahmin edilmektedir (Sycom 1999).

Doğal gazın yaygın olarak kullanılması, gaz türbin teknolojisinin hızlı ilerlemesi, yatırım maliyetinin düşük olması ve çevreye minimum zarar vermesi gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinin gelişmesinde önemli rol oynamıştır. Bunlara ilave olarak, yatırım ve proje aşamasının çok kısa olması, tesis parçalarının modül halinde teslim edilmesi bu sistemlerin diğer avantajlarıdır (Hewett ve ark. 1996).

2.2.1. Teknolojik Tanım

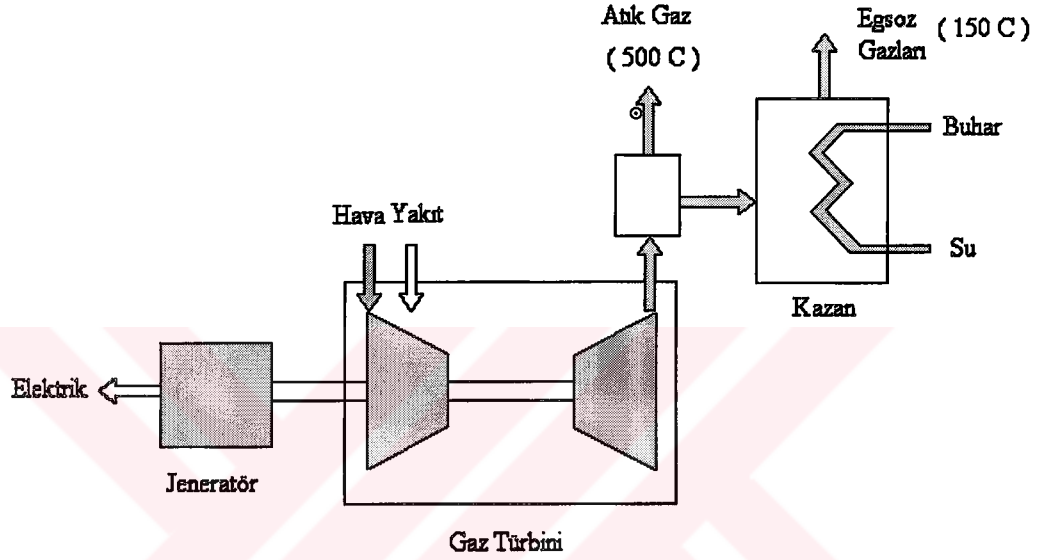
Gaz türbini, mekanik enerjinin büyük bir kısmını kompresörü çevirmek üzere kullanır. Bu yüzden, enerjinin yalnızca küçük bir bölümü, elektrik üretimi için kullanılabilir (Hewett ve ark. 1996).

Güç üreten gaz türbini iki kategoride sınıflandırılabilir:

- Uçak türevli gaz türbini,
- Endüstriyel gaz türbini.

Uçak türevli gaz türbini, adından da anlaşılacağı gibi uçak motorundan türetilmiştir. Uçak türevli gaz türbini, endüstriyel türevli gaz türbini ile karşılaştırıldığında hafif oluşu, düşük yakıt tüketimi ve yüksek güvenilirlik gibi birçok özelliğe sahiptir. Uçak türevli gaz türbinin en önemli avantajı, veriminin

yüksek ve boyutlarının küçüklüğü nedeniyle bakım için uygun bir dizayna sahip olmasıdır. Buna karşın, uçak türevli gaz türbini, oldukça yüksek yatırım maliyeti (\$/kW) yanı sıra yüksek kaliteli yakıt kullanımını gerektirir. Ayrıca, uzun çalışma süresinden sonra motordan elde edilen güç ve verim düşebilir. Gaz türbinli kojenerasyon sistemi, Şekil 2.2’de gösterilmektedir (Mohanty 2001).



Şekil 2.2. Gaz türbinli kojenerasyon sistemi (Mohanty 2001)

Sürekli çalışmaya uygun olarak sağlam parçalardan üretilen endüstriyel gaz türbininin gücü, 1 MW ile 250 MW arasında değişir. Bunlar; revizyon aralığı daha uzun olarak çalıştırılabilir. Buna karşın, daha az verimli ve uçak türevli gaz türbininden daha ağırdır. Bakımı, tesiste yapılabilir ve bakım maliyeti düşüktür. Endüstriyel gaz türbini, genellikle 16:1 sıkıştırma oranı ile çalıştırılır ve çoğunlukla harici kompresörün kullanımını gerektirmez. Endüstriyel gaz türbininin, genellikle benzeri uçak türevli gaz türbinine göre daha az bir yatırım maliyeti vardır. Ayrıca, düşük kalitede yakıt da kullanılabilir (Mohanty 2001; Hewett ve ark. 1996; Sycom 1999).

Küçük endüstriyel gaz türbini, tesislerin güç ihtiyacını karşılamak ve mekanik aletleri tahrik etmek için sanayide kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalarda, 1-10 MW arasındaki gaz türbinli motor yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin; doğal gaz boru hatlarında, gazın bir ülkeden başka bir

ülkeye uygun bir basınçta pompalanmasında kullanılan gaz türbini, kompresöre güç verir.

2.2.2. Performans Özellikleri

2.2.2.1. Verim

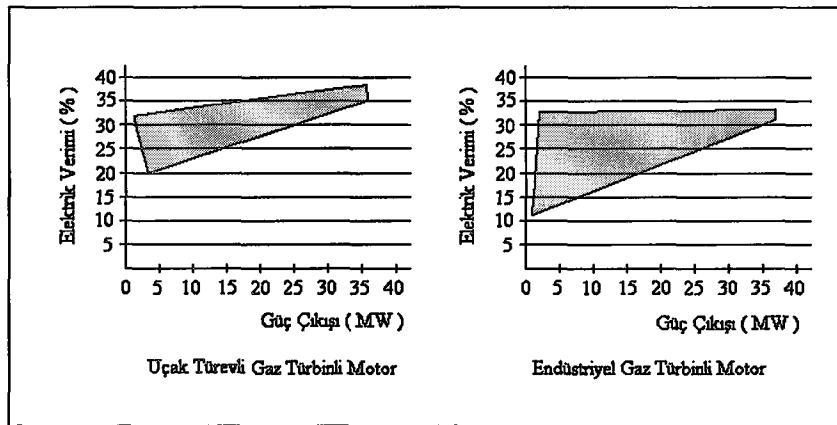
Gaz türbin çevriminin ısı verimi; basınç oranı, çevre hava sıcaklığı, türbin giriş sıcaklığı, türbin ve kompresör veriminin bir fonksiyonudur. Basit çevrim verimi, yakıtın alt ısı değeri ile % 25-30 arasında değişebilir.

Sistemde ısı enerjisinin düşük bir miktarı mekanik enerjiye çevrilir. Isının fazlası yüksek sıcaklıkta dışarı atılır. Sistemde kullanılan atık ısı, kullanıcının istediği miktardan az ise verimi arttırmak için yeteri kadar oksijene sahip egzoz gazı, doğal gaz ile tekrar yakılır.

Diğer taraftan, ısıdan çok mekanik enerjiye ihtiyaç varsa, buhar türbininden ve gaz türbininden oluşan birleşik sistem kullanılır. Gaz türbininden çıkan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazı ile buhar üretilir. Üretilen buharın, buhar türbininden geçirilmesiyle ek güç elde edilir.

Ard yanmasız gaz türbinli kojenerasyon sisteminde yararlanma oranı, 70 ile % 86 arasında değişir. Bu oran, ard yanmalı sistemde % 83 ile % 89 arasındadır (Hewett ve ark. 1996).

Gaz türbininde, doğal gaz, bütan, propan veya LPG karışımı gibi gaz yakıtlar ve motorin, nafta, fuel-oil gibi sıvı petrol ürünleri yakılabilir (Güder 2001).



Şekil 2.3. Uçak türevli gaz türbinli motor ile endüstriyel türbinli motorların elektrik verimlerinin karşılaştırılması (Mohanty 2001)

Uçak türevli gaz türbini ve endüstriyel gaz türbinlerinde, elektrik verimine karşılık güç diyagramı karşılaştırmalı olarak Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

2.2.2.2. Sermaye maliyeti

Gaz türbinli tesisin ilk kuruluş ve tesis maliyeti, tesisin kapasitesine bağlı olarak 700-900 \$/kW aralığında değişir.

2.2.2.3. Kullanılabilirlik

Gaz türbininin tahmin edilen kullanılabilirliği, doğal gaz gibi temiz gazlı yakıtla çalıştırıldığında, % 95'in üzerindedir. Kirli atık yakıtın veya diğer yakıtların kullanımı, koruyucu bakım için motorun daha sık durdurulmasını gerektirdiğinden kullanılabilirliği azaltır.

Gaz türbininin ömrü büyük ölçüde çalışma sıklığına, maksimum kapasitede çalışma süresine, yakıt kalitesine ve bölgedeki havanın temizliğine bağlıdır. Bir gaz türbininin ömrü, ortalama 120000 çalışma saati kadardır. Yılda 6000-8000 saat arasında çalıştırılan gaz türbinin ömrü yaklaşık 15-20 yıl kadardır (Ağabay 1993a; Sycom 1999).

Gaz türbin üniteleri ile atık ısı kazanı arasında bypass bacası ve damperi konulması durumunda, gaz türbini, kazan ve buhar türbini ünitelerinin tamamlanmasını beklemeden, çok kısa sürede işletmeye alınabilir. Gaz türbini, kombine çevrim grubunun devreye alınmasına kadar sürekli basit çevrimde çalıştırılır. Örneğin, Ambarlı Kombine Çevrim Santrali'nin ilk iki gaz türbin ünitesi, sözleşmenin yürürlüğe girmesinden 8 ay sonra devreye alınmıştır (Egeli ve Özgürel 1995).

2.2.2.4. Bakım

Gaz türbini, sürekli olarak çalıştırılabilir. Sürekli olarak çalıştırılan bir gaz türbinin bakım maliyeti, 1000 saat aralıkla çalıştırılan gaz türbin bakım maliyetinin hemen hemen üç katıdır. Türbin, dizayn performansı üzerinde çalıştırıldığında sıcak bölge parçalarının bakımı ve revizyon sayısı artar. Fuel-oil ile çalıştırılan türbinin bakım maliyeti, doğal gaz ile çalıştırılan türbin ile karşılaştırıldığında üç kat daha fazladır.

Gaz türbini; sürekli veya maksimum kapasite koşullarında, coğrafi şartlara bağlı olarak çeşitli yakıtlar ile çalıştırılabilir. Bu koşullar, sıcak bölüm parçalarının toplam ömrü üzerinde oldukça etkilidir. Gaz türbininde, yüksek veya düşük çevrim yorulması, aşırı yük koşulları altında çalıştırıldıktan sonra malzemede oluşan plastik deformasyon, çevresel etkilere bağlı olarak oluşan korozyon, yabancı madde hasarı, gaz akışı ve partiküllerden kaynaklanan aşınma gibi unsurlar performansın düşmesine ve bakım yapılmasına neden olur (Williams 2000).

Gaz türbininde günümüzde en çok kullanılan yöntem, periyodik bakım ve koruyucu bakımdır. Periyodik bakımda, imalatçı firma, gerek tecrübelerine dayanarak, gerekse motorun malzeme ve imalat özelliklerini ve çalışma şartlarını dikkate alarak çalışma saati esaslı periyotları belirler. Bu çalışma saatlerine göre motor bakıma alınır. Bu sistemin dezavantajı, motor çok iyi durumda olmasına rağmen bakım zamanı geldiği için gaz türbinli motora bakım yapılır. Bazı parçalar zamanından önce yenilenmiş olur. Bu da bakım ve duruş maliyetlerini arttıran bir unsurdur. Ayrıca, bazı parçalar da tam aksine periyodundan önce bakıma ihtiyaç duyabilir. Bu, plansız duruşlara, daha büyük yedek parça maliyetlerine ve bakım masraflarına neden olabilir. Koruyucu bakım, periyodik bakımın dezavantajlarını ortadan kaldıracak şekilde ortaya konulmuş bir bakım yöntemidir. Bu bakım yönteminde, gaz türbinli motordan elde edilen değerler izlenerek motor bakımının gerçek zamanı tespit edilir. Plansız duruşlar ve beklenmedik arızalar önemli ölçüde önlenir ya da daha uzun süreli periyotlarla motor bakıma alınır. İşçilik, yedek parça, duruşlar gibi bakım maliyetlerinde tasarruf sağlanır. Bu sistemin dezavantajı ise, motorda bakım sürelerini etkileyen faktörlerin hepsi ölçülememekte ya da izlenememektedir. Ölçülemeyen bazı değerlerden dolayı bakımda gecikme olabilir. Motordaki titreşim, egzoz sıcaklığı, kademeler arası sıcaklık dağılımı, baroskop kontrolü sonucu elde edilen gözlemler ve yağ analizi sonuçları dikkate alınarak koruyucu bakım yapılır.

Gaz türbininde, bakım zamanını belirlemede her iki yöntem de dikkate alınmaktadır. Motorda, yüksek sıcaklık ve yüksek devir sebebiyle meydana gelen arızalar çok büyük hasar getirebileceğinden, bakım zamanını belirlemede çalışma saatinin etkisi oldukça fazladır. Koruyucu bakım, gaz türbini bakımında yoğun

olarak kullanılan bir uygulamadır. Koruyucu bakıma göre yapılan bakımda sadece bir sonraki bakıma kadar değil, motorun daha uzun vadeli bir dönemdeki güvenilirliği ve ekonomikliği de planlanır. Örneğin, bazı parçalar tamir edilmese ya da yeni bir kaplama uygulanmasa bile 10000 saat daha çalıştırılabilir. Ama, daha sonra o parça artık tamir edilemez hale gelir ve parçayı değiştirmek gerekir (Güneş ve Özsu 2001).

Beklenmedik arızalar veya tesisin öngörülen kapasitede çalıştırılmaması, ciddi kayıplara neden olabilir. Bu yüzden, tesisin mevcut durumunu iyi bilmek gerekir. Buradaki mevcut durum, son bakımdaki durum değil, tesisteki parçaların gerçek zaman performans değerlerinin bilinmesidir. On-line teknoloji, bu verilerin gerçek zaman olarak takip edilmesini sağlar (Petek 2002).

Tesis performansının gözlenmesinin temel amacı, tesisin günlük verilerini temel performans değerleri ile karşılaştırmaktır. Bilgisayar programı, tesisin çalıştırıldığı koşulları, çevre havanın sıcaklığını, basıncını, nemini ve benzeri verileri kontrol sistemi aracılığıyla okur. Aynı zamanda, temel performans değerleri ile tesisin performans değerlerini karşılaştırır ve bu değerlerden tesisin ne kadar ve nasıl saptığı hakkında bilgi verir. Bu karşılaştırmadan elde edilen bilgilerle yapılan düzeltmeler, her yıl işletmeye yüz binlerce dolar kazandırmaktadır (Aydın 2002; MacGillivray 1996).

Gaz türbinine uygulanan düzenli kontrol ve bakım aktiviteleri ile yüksek seviyede güvenilirlik sağlanabilmektedir. Kojenerasyon tesisinde, parçaların bakımı belli bir bakım çizelgesi içerisinde yapılır.

Gaz türbin verimi, iki nedenden dolayı azalır (Bachmann ve ark. 1999):

- Kirlilik,
- Aşınma.

Gaz türbini, açık hava çevrimiyle çalışmasından dolayı kompresörde kirlilik oluşur. Kompresöre giren hava filtreden geçmesine rağmen tamamen temizlenemez. Kompresör kirliliği tesis bölgesinde çevreyle uyumlu hava filtre sistemi vasıtasıyla azaltılabilir. En çok kullanılan filtreler, iki kademeli filtre veya kendiliğinden temizlenen titreşimli filtredir. Bunlardan ikincisi, sadece kuru iklimler için uygundur.

Kompresörü tamamıyla temiz tutmak imkansızdır. Kirlilik, basit çevrim gaz türbininde birleşik çevrime göre daha fazla verim ve güç kaybına neden olur. Birleşik çevrimde kayıpların bir kısmı buhar çevriminde geri kazanılabilir.

İki tür kompresör temizliği bu kayıpları azaltır:

- Çalışırken yıkama,
- Kapalıyken yıkama.

Türbinlerde uygulanacak yıkama yöntemi ve yıkama sıklığı, sistemin çalışma koşuluna ve kompresörün kirlenme hızına bağlıdır. Türbin devrede iken yapılan yıkama, şüphesiz tam yükte çalışan sistemdeki gereksiz duruşları önleyebilir (Ayhan ve Bayraktar 2002).

Çalışırken yıkama işlemi hava akışı ile aynı yöndedir. Fakat, kompresör boyunca sıcaklık arttığı için çözelti buharlaşır ve temizlik birinci kompresör kademesi ile sınırlı kalır.

Modern gaz türbininde motor çalışmadığı zaman yapılan yıkama daha etkilidir. Düşük hızda yıkama tercih edilir. Çoğunlukla, motorun soğuması ve motor yıkandıktan sonra kuruması için motor yaklaşık olarak 24 saat çalıştırılmaz. Bu tür yıkama, bakımdan önce veya sonra yapılır. Gerekli temizleyici solüsyon miktarı her yıkama için 20 ile 200 litre arasında değişir.

Kirlilik, gaz türbinli motorun kompresörü yıkandıktan sonra ortadan kaldırılmaktadır. Verimdeki kayıplar, sistemde bir aşınma olduğunun göstergesidir. 8000 saat temiz yakıtla çalışan bir gaz türbinin performansı, aşınma nedeniyle aşağıdaki gibi değişir (Bachmann ve ark. 1999):

- Birleşik çevrimin gücü yaklaşık olarak % 0.8 ile 1.5 arasında azalır.
- Birleşik çevrimin verimi yaklaşık olarak % 0.5 ile 0.8 arasında azalır.

Türbin kirlenmesine temel olarak ağır yakıt içindeki kül, yüksek sıcaklık ve korozyonu önlemek için kullanılan katkı maddeleri neden olur. Kirlilik, özellikle fuel-oil, motorin gibi ağır yakıtlar kullanıldığında oluşmaktadır. Fuel-oil, motorin gibi ağır yakıtların kullanılmasıyla oluşan kirlilik, uygun katkı maddelerinin seçilmesi ile azaltılabilir. Ağır ve işlenmemiş petrol türevli yakıtlarla çalışan gaz türbinleri, aynı zamanda türbin yıkama sistemleriyle donatılmıştır.

Gaz türbinli motor, ağır veya işlenmemiş yakıtla 8000 saat çalıştırıldıktan sonra aşağıdaki belirtileri vermesi kirliliğin oluştuğunu gösterir (Bachmann ve ark. 1999):

- Birleşik çevrimin gücü % 4 ile 5.5 arasında azalır.
- Birleşik çevrimin verimi % 1.5 ile 1.9 arasında azalır.

Geçmişte gaz türbinli motorların yetersiz olmasının en önemli nedenlerinden biri, korozyon sorunuydu. Verimi daha yüksek türbin kanadı, malzemesi ve kaplamasının kullanılmasıyla sorun çözülmüştür. Herhangi bir vanadyum veya sodyum içeren ağır yakıt kullanıldığında, korozyona karşı katkı maddelerinin kullanılması veya yüksek sıcaklıkta korozyonu önleyici iyileştirmelerin yapılması gerekir. Yaygın olarak kullanılan katkı maddeleri, magnezyum, krom ve silikondur (Bachmann ve ark. 1999).

2.2.2.5. Isının geri kazanımı

Egzoz ısının, atık ısı kazanında kullanılmadan atmosfere atıldığı basit çevrimde, verim düşüktür. Sıcak egzoz gazının doğrudan proseste veya atık ısı kazanının ilavesi ile buhar veya sıcak su üretimi için kullanılmasıyla, sistemin toplam verimi artırılabilir.

Atık ısı kazanı, gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinin en önemli parçalarından biridir. Atık ısı kazanından atmosfere atılan yüksek ısı enerjisine sahip egzoz gazı, buhar veya sıcak su üretmek amacıyla kullanılır. 500–550 °C'deki egzoz gazı, atık ısı kazanında 150 °C'de kullanılabilir sıcaklığa soğutularak istenilen şartlarda doymuş buhar ve/veya sıcak su elde edilir. Egzoz gazının yoğuşmasını önlemek için atık ısı kazanında çıkış sıcaklığının minimum 150 °C civarında olması önerilmektedir. Düşük sıcaklıkta, SO_x ve NO_x gibi gazlar, yoğuşma sürecinde asit formunu oluşturduğundan, atık ısı kazanının malzemesi korozyona uğrar (Ağabay 1993c; Güşen ve Koçak 1998).

Basit bir gaz türbin kojenerasyon sisteminin ısı güç oranı, yaklaşık olarak 2'dir. Bununla beraber, ard yanma ile ısı güç oranı ikiye katlanabilir. Ard yanmalı atık ısı kazanı, tüm sistemin ısı üretimini artırır. Tipik olarak, % 14-16 arasında yüksek oksijen içeren egzoz gazı bunu mümkün kılmaktadır. Türbinin etkilenmemesi için yüksek gaz sıcaklığından kaçınılmalıdır. İlave yakıt

nedeniyle, yakıt tüketimi oldukça artar. Bununla beraber, buhar üretimi de önemli oranda artar. Ard yanmalı sistem, gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ağabay 1993c; Frangopubs 2001).

Gaz türbinli kojenerasyon sisteminde üretilen güç, buhar enjeksiyonu ile artırılabilir. Türbin boyunca akan kütle miktarını arttırabilmek için, atık ısı kazanında üretilen buhar, yanma odasına püskürtülebilir. Yanma odasına püskürtülen buhar, proses buhar talebine bağlı olarak değişir ve üretilen gücü, yaklaşık olarak % 15 oranında artırır (Bachmann 1999).

Isı ihtiyacı az olan gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinde üretilen gücü arttırmak için reküperatör kullanılır. Reküperatör, kompresörden çıkan havayı ısıtmak için kullanılan bir ısı eşanjörüdür. Türbinden çıkan egzoz gazı, atık ısı kazanına girmeden önce reküperatörden geçirilir. Böylece, egzoz gazındaki enerjinin bir kısmı reküperatörde kullanılır. Reküperatörlü gaz türbin kojenerasyon sistemleri, ısı eşanjörlü çevrimler olarak bilinir.

2.2.3. Uygulamalar

Gaz türbini, temel elektrik ihtiyacı 5 MW'dan daha büyük ticari ve endüstriyel uygulamalarda avantajlı bir birleşik ısı güç sistemidir. Gaz türbininden elde edilen yüksek kaliteli ısı ürün, orta basınçlı buhar sistemlerinde kullanılabilirdiği için, gaz türbini, özellikle kapalı alanların ısıtılmasında tercih edilir.

Birleşik ısı güç sistemlerinde, basit çevrimli ya da birleşik çevrimli gaz türbini kullanılır. Basit çevrim uygulamaları tipik olarak gücü 25 MW'dan küçük tesislerde yaygındır. Atık ısı, şu şekillerde kullanılabilir:

- Atık ısı kazanında yüksek veya düşük basınçlı buhar olarak,
- Absorpsiyonlu soğutma tesisinde enerji kaynağı olarak.

2.2.4. Teknolojik ilerlemeler

Türbin kanadı dizaynı ve soğutma teknikleri ile ilgili araştırma geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Ayrıca gaz türbinlerinde, yüksek ısı verim elde edilirken emisyon seviyesi tek haneli sayıya indirilmeye çalışılmaktadır.

2.3. Buhar Türbini

Buhar türbini, jeneratörü veya mekanik parçaları hareket ettirmek için kullanılan en eski ve çok kapsamlı ana güç kaynaklarından biridir. Buhar türbini, ABD ve Avrupa'daki birleşik ısı güç uygulamalarında geniş bir şekilde kullanılmaktadır (Sycom 1999).

Buhar türbini, genellikle endüstriyel veya bölgesel ısıtma amacıyla kurulan kojenerasyon tesislerinde kullanılmaktadır. Buhar türbin teknolojisi, şeker ve kağıt endüstrisi gibi elektrik ihtiyacı yüksek ve düşük basınçta büyük miktarda buhar ihtiyacı olan tesislerde kullanımı yaygındır. 100 yılı aşkın bir süredir buhar türbinleri değişik amaçlarla kullanılmıştır. Buhar türbininin gücü, birkaç kW ile 80 MW arasında değişmektedir (Hewett ve ark. 1996).

Buhar türbini, istenilen uygulama ve performans özelliklerini karşılayacak kompleks ve geniş bir dizayn seçeneğini beraberinde getirir. Sistemin yavaşlığından dolayı, buhar türbini belli aralıkla elektrik ihtiyacı olan yerlerde çalıştırılması uygun değildir (Mohanty 2001; Sycom 1999).

2.3.1. Teknolojik tanım

Buhar türbinli bir elektrik üretim tesisinde, türbine giren kızgın buhar genellikle 425 °C sıcaklığın üzerinde ve 54 MPa'dan yüksek basınçta olması nedeniyle özgül hacmi çok yüksektir. Buhar, enerjisinin bir kısmını türbinde kaybederek çıkar. Buharın kalan enerjisi, kondenserde suya dönüşürken atılır. Yoğuşma durumunda, türbin çıkışındaki buharın basıncı, atmosfer basıncından daha düşük bir değere ve sıcaklığı 30-40 °C arasına indirilir. Buhar çevriminden elde edilen buhar, tesisin proses buhar ihtiyacını karşılamak için kullanılırsa, elektrik üretimi için kullanılabilir enerji miktarı azalır (Derbentli 1998; Hewett ve ark. 1996).

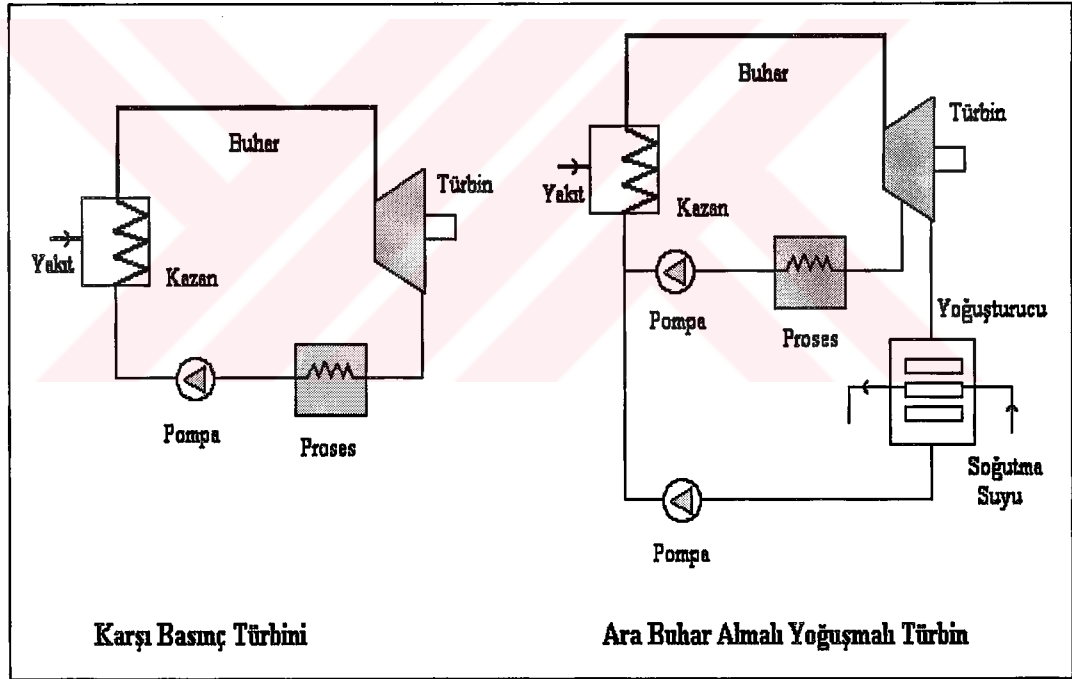
Buhar türbinleri, nükleer, kömür, yağ, doğalgaz ve atık ürünleri içeren farklı yakıt kaynaklarıyla kullanılabilir.

Birleşik ısı güç tesislerinde kullanılan buhar türbinleri, yoğuşmalı ve karşı basınçlı olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılabilir.

Karşı basınçlı türbinde (buhar, proses gereksinimi için atmosfer basıncında veya altındaki bir basınçta türbinden atılır (Sycom 1999).

Türbin, istenilen sıcaklık ve basınçta bir buhar elde edebilecek şekilde dizayn edilmektedir. Isı enerjisi, uygun basınç ve sıcaklıkta, buhar vasıtasıyla buhar çevriminden elde edilir. Bu ısı enerjisinin bir kısmı, proses buhar ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Bir kısmı da, türbin boyunca elektrik üretimi için kullanılır. Türbinde genleşen buhar, su şeklinde yoğunlaşarak buhar kazanına geri döner. Yoğuşmalı türbin, istenilen ısı enerjisi değişken olduğunda kullanılırsa avantajlıdır. Eğer, buharın tamamı türbinde kullanılırsa maksimum miktarda elektrik üretilir (Hewett ve ark. 1996).

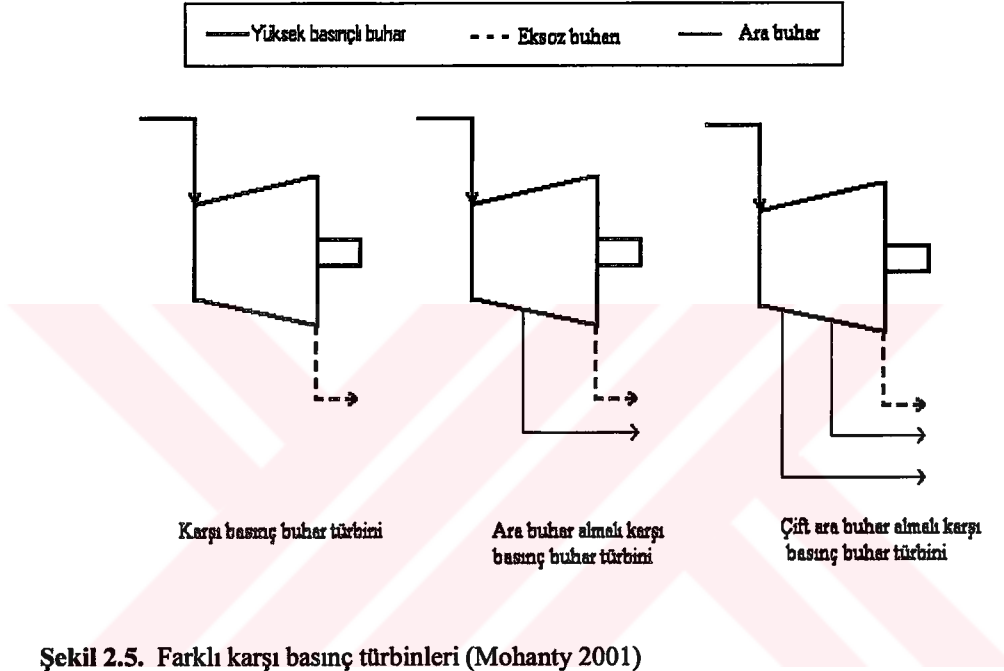
Türbinden çıkan doymuş sıvı-buhar karışımı, ısı eşanjöründen geçirilerek hava, su gibi akışkanların ısıtılmasında kullanılır. Örneğin, ısı eşanjöründen geçirilerek ısıtılan hava, yiyecek endüstrisinde kurutma amacıyla kullanılabilir. Şekil 2.4’de buhar türbinli kojenerasyon sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Buhar türbinli kojenerasyon sistemi (Mohanty 2001)

Yoğuşma basıncı, türbinin dizaynına göre otomatik olarak belirlenebilir. Buhar, ısıl ihtiyacın az olduğu süreçte elektrik üretebilmek için buhar türbinine yönlendirilir. Buhar türbininde, farklı yoğuşma noktalarında farklı basınçlar elde edilebilir (Sycom 1999).

Karşı basınçlı buhar türbini, proses ihtiyacı için gerekli buhar sıcaklığına ve basıncına bağlı olarak farklı yapılara sahiptir. En çok kullanılan karşı basınç türbinleri Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Tek ve çift buhar almalı karşı basınçlı türbinlerde, üretilen buharın bir kısmı istenilen basınç değerine genleştiği zaman türbin içerisinden alınarak proses ihtiyacı için kullanılabilir. Türbin çıkışından daha yüksek basınçta buhara ihtiyaç olduğu zaman, üretilen buharın bir miktarı türbinin ara kademelerinden alınır .



Karşı basınçlı buhar türbini, yüksek ısı güç oranına ve yüksek verime sahiptir. Buna ilave olarak, karşı basınç buhar türbinli kojenerasyon sistemi, yoğuşmalı sistemden daha az yedek donanım gerektirir ve ilk yatırım maliyeti düşüktür (Hewett ve ark. 1996).

Ara buhar almalı yoğuşmalı türbinler, karşı basınçlı türbinlerine göre daha yüksek ısı güç oranına sahiptir. Yoğuşmalı sistemlerde, yoğuşturucu ve soğutucu gibi bir çok yedek donanıma ihtiyaç vardır. Yoğuşmalı sistemler, ısı elektrik yük dağılımının sıkça dalgalandığı durumlarda işletmenin ısı ve elektrik ihtiyacını en iyi şekilde sağlayabilir.

Tekrar ısıtılmalı çevrimde buhar, türbinden alınır ve buhar kazanında tekrar ısıtılır. Tekrar ısıtılmalı çevrim yüksek ısı verim sağlayarak, türbinde basınç ve

sıcaklık düşmesinden kaynaklanan nemin oluşmasını önler. Türbinden alınan buhar, kazan suyunun ön ısıtılması için kullanılır (Hewett ve ark. 1996).

2.3.2. Performans Özellikleri

2.3.2.1. Verim

Buhar türbinli tesis, % 60-85 arasında oldukça yüksek verime sahiptir. Verim, yalnızca kısmi yük durumunda azalır. Bununla beraber, elektrik verimi % 25-42 arasında değişir. Buharın yüksek ısı enerjisi proseste kullanıldığında, elektrik verimi düşebilir. Elektrik ısı oranı, türbinden ayrılan buhar miktarına bağlı olarak, 0.25-0.4 arasındadır. Elektrik verimi, türbin girişindeki buhar sıcaklığının ve basıncının yükseltilmesiyle artırılabilir (Derbentli 1998; Frangopulos ve ark. 2001).

2.3.2.2. Sermaye maliyeti

Buhar türbinlerinin ilk tesis ve kuruluş maliyeti, genellikle 800-1000 \$/kW arasındadır. Bu miktar, çevresel sınırlamalara bağlı olarak daha da artabilir. Kojenerasyon çevrimli tesise veya mevcut ısıtıcı sistemine, buhar türbin ilavesi maliyeti, yaklaşık olarak 400-800 \$/kW arttırır (Sycom 1999).

2.3.2.3. Kullanılabilirlik

Buhar türbinli sistemler, 25-35 yıl arasında değişen uzun kullanım ömrü ile % 95-98 arasında yüksek bir kullanılabilirlik oranına sahiptir. Küçük üniteler 12 ile 18 ay arasında, büyük üniteler üç yıllık bir süre içerisinde kurulur (Frangopulos ve ark. 2001).

2.3.2.4. Bakım

Buhar türbinlerinde ısıtıcıdan geçen katı madde, türbin lülesinde tortu oluşturur ve güç üretimini düşürür. Bu nedenle, yağlama sisteminin temizlenmesi gerekir. Yağlama pompasının ve yağ filtresinin bakımı yapılır. Aşırı hız göstergesinin çalışması kontrol edilir. Buhar türbinin bakım maliyeti, tipik olarak 0.004 \$/kW'dan daha azdır (Hewett ve ark. 1996; Sycom 1999).

2.3.2.5. Isının geri kazanımı

Buhar türbininde ısı geri kazanımında egzoz buharı kullanılır. Kazanılan ısıнын kalitesi ve miktarı, giren buhar miktarı ile buhar türbininin dizaynına bağlıdır. Türbinden elde edilen egzoz buharı direkt olarak proses veya bölge ısıtması için kullanılabilir. Atılan veya türbinden alınan buhar tek veya çift etkili absorpsiyon soğutucusunda enerji kaynağı olarak kullanılabilir.

2.3.3. Uygulamalar

Endüstriyel uygulamalarda buhar türbini, elektrik jeneratörü, ısıtıcı besleme suyu pompası, hava kompresörü ve soğutucu gibi teçhizatları hareket ettirmektedir. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan buhar türbini, genellikle tek gövdeli motordur. Buhar türbini, elektrik jeneratörünü hareket ettirmek için sabit bir hızda veya soğutma kompresörünü tahrik etmek için ayarlanmış olan hız aralığında çalıştırılabilir.

Karşı basınçlı buhar türbin uygulamalarında; buhar, birleşik ısı güç uygulamaları için yeterli sıcaklıkta ve basınçta türbinden atılır. Karşı basınçlı türbin, proses gereksinimine bağlı olarak geniş bir basınç aralığında çalıştırılabilir. Egzoz buharının basıncı genellikle 0.35 ile 10.20 bar arasındadır (Sycom 1999).

2.3.4. Teknolojik ilerlemeler

Buhar türbinleri uzun yıllardır kullanılmaktadır. Günümüzde, araştırma geliştirme çalışmaları, daha çok gaz türbin teknolojisi üzerinde yoğunlaşmıştır.

2.4. Yakıt Hücresi

Yakıt hücresi, temiz, sessiz ve çok verimli güç üretimi için alternatif bir seçenektir. Yakıt hücresinin kullanımı, sabit güç ve taşımacılık uygulamalarıyla 1970'li yıllarda başlamıştır.

Birçok yakıt hücresi gelişim aşamasında olması nedeniyle, ticari olarak yalnızca fosforik asit yakıt hücresi kullanılmaktadır. Fosforik asit yakıt hücresinin ilk yatırım maliyeti 3000 \$/kW civarındadır. Bu değer, endüstriyel ve ticari uygulamalar için oldukça yüksektir (Sycom 1999).

2.4.1. Teknolojik tanım

Yakıt hücresi, yakıt kaynağında direkt yanma olmaksızın elektro kimyasal süreç boyunca piller gibi doğru akım üretir. Piller, sınırlı miktarda depolanmış enerjiden güç dağıtırken, yakıt hücresi sürekli yakıt kaynağı sağlandığı sürece çalıştırılabilir. İki elektrot, elektrolit içerisinde iyon alışverişi yaparak elektrik ve ısı üretir. Tek yakıt hücresi 0.35-0.9 volt arasında doğru akım üretir. Yakıt hücresi, pil gibi yan yana birleştirilerek kullanılabilir. Yakıt hücresi potansiyel olarak 100 W ile birkaç MW aralığında, sabit güç tesislerinde kullanılarak ev, iş ve endüstri için elektrik üretebilir (Kılıçaslan 2001; Sycom 1999).

Yakıt hücresinde kullanılan en yaygın yakıt, doğal gazdır. Bununla beraber, propan, bütan ve diğer hidrokarbonlu yakıtlar kullanılabilir. Yakıt hücresi, yakıttan hidrojeni ayıran bir sistem içerir. Hidrojen, elektrotta mevcut olan oksijenle kimyasal reaksiyona girerek doğru akım elektrik enerjisi ve su üretir. Yakıt hücresi prosesinin yan ürünü, karbondioksit, su ve atık ısıdır.

Yakıt hücresindeki doğru akım gücü, günlük hayatta kullanılmak üzere alternatif akım gücüne çevrilir. Bu, değiştirgeç adı verilen elektronik alet vasıtasıyla gerçekleştirilir.

Birçok yakıt hücresinin dizaynı, kullanılan elektrot tipi hariç benzerdir. Yakıt hücreleri içerdikleri alkaline ve elektrotlara göre tanımlanır. Bunlar; alkalın (AFC), proton değişimli membran (PEMFC), fosforik asit (PAFC), ergimiş karbonat (MCFC) ve katı oksit (SOFC) yakıt hücresidir (Sycom 1999).

Çok etkili olan alkalın yakıt hücresi (AFC), uzay çalışmalarında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Alkalın yakıt hücresi, üretilmesi çok pahalı olan saf hidrojen gerektirdiğinden, sabit güç üretim sektöründe kullanımı düşünülmemektedir.

Fosforik asit (PAFC) yakıt hücresi, günümüzde ticari olarak uygulanabilir en gelişmiş teknolojiyi temsil eder. Avrupa, Amerika ve Japonya'da 80'den fazla yerleşim alanında kullanılmaktadır.

Ergimiş karbonat yakıt hücresi (MCFC), ticari olarak kullanılan fosforik asit yakıt hücresinden daha yüksek verimde, yakıtın alt ısı değeriyle, % 55'i aşan bir verimlilikte kullanılmaktadır. Ergimiş karbonat yakıt hücresi, 1-20 MW sabit güç

uygulamalarında kullanılması düşünülmektedir. Ergimiş karbonat yakıt hücresi, endüstriyel birleşik ısı güç sistemleri için uygundur.

Birçok uzman, katı oksit yakıt hücresinin (SOFC), önümüzdeki yıllarda sabit güç uygulamalarında tercih edilen teknoloji olacağını düşünmektedir. Katı oksit yakıt hücresi, yakıtın alt ısı değeri ile % 50'yi aşan bir elektrik verimine sahiptir. Katı oksit yakıt hücresinde, proses sonucunda ortaya çıkan ısı enerjisinin değeri oldukça yüksektir. Bu ısı, atık ısı kazanına gönderilerek, buhar türbininde elektrik üretimi için kullanılabilir (Sycom 1999).

Proton değişimli membran yakıt hücresi (PEMFC), çok yüksek güç yoğunluğuna sahiptir ve hızlı bir şekilde çalıştırılarak, farklı talepleri karşılayabilir.

2.4.2. Performans özellikleri

2.4.2.1. Verim

Yakıt hücresinin elektrik verimi, yanmanın kademeli yapıldığı güç tesislerinden daha yüksektir. Günümüzde fosforik asit yakıt hücresinin elektrik verimi, % 40'tır. Hedeflenen elektrik verimi, yakıtın alt ısı değeri ile % 40-60 arasındadır. Atık ısının geri kazanılmasıyla toplam yakıt verimi % 80'lere ulaşabilir (Lenssen 2000; Hewett ve ark. 1996).

Pistonlu motor ve gaz türbinlerinde, birinci aşamada, kimyasal enerji (yakıtın yanmasıyla) ısıya; ikinci aşamada, ısı mekanik enerjiye; üçüncü aşamada da mekanik enerji, elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu süreçler, mekanik kayıpları içerir. Buna karşın yakıt hücresi, ara mekanik adım olmaksızın yakıttan doğrudan elektrik enerjisi üreten, enerji çevrim dönüştürücüsüdür. Sonuç olarak, elektrik verimi, teoride % 60'lara kadar yükselebilir (Matthey 2002).

2.4.2.2. Sermaye maliyeti

Günümüzde, yakıt hücresinin sermaye maliyeti diğer fosil kaynaklı tesislerin maliyetinden daha yüksektir. Ticari olarak kullanılan fosforik asit yakıt hücresinin günümüzdeki ilk tesis ve kuruluş maliyeti yaklaşık olarak 3000 \$/kW'dır. Yakıt hücresi maliyetinin, önümüzdeki 10 yıllık süreçte üretim hacmindeki gelişme ve artışla birlikte 500-1500 \$/kW düşmesi tahmin

edilmektedir. Sabit güç sektöründeki büyük maliyet azalmaları, ulaşım için kullanılan yakıt hücrelerindeki ilerlemelerden kaynaklanmaktadır (Lenssen 2000).

2.4.2.3. Kullanılabilirlik

Teorik olarak, yakıt hücresi, gaz türbin ve pistonlu motordan daha az hareketli parçaya sahip olduğu için daha yüksek kullanılabilirlik ve güvenilirlik oranına sahiptir. Fosforik asit yakıt hücresi, diğer güç tesisleriyle karşılaştırıldığında, kesintisiz olarak 5500 saat çalıştırılabilir. Fosforik asit yakıt hücresi ile sınırlandırılmış test sonuçları, kullanılabilirliğin % 96 olduğunu göstermiştir (Hewett ve ark. 1996).

2.4.2.4. Bakım

Yakıt hücresindeki elektronlar, zaman geçtikçe ünitelerin verimini düşüren tortular oluşturur. Yakıt hücresi, tortular kaldırılacak şekilde dizayn edilmiştir. Yakıt hücresi sürekli çalıştırıldığı zaman dört ile altı yıl arasında bir sürede elektrotların değiştirilmesi gerekir. Yakıt hücresinin rutin kontrolü, hava ve su filtresini değiştirilmesini veya temizlenmesini, pompaların yağlanmasını ve su tankının temizlenmesini içerir. 200 kW kapasiteli fosforik asit yakıt hücresi için bakım maliyeti, tortuların kaldırılması işlemi de dahil 0.02-5 \$/kW arasındadır. Gelişmelerle birlikte, ünitelerin 20 yıllık ömrü içerisinde bakım maliyeti, 0.015 \$/ kW'a indirilmesi mümkün olacaktır (Augusto 2002; Hewett ve ark. 1996).

2.4.2.5. Isı geri kazanımı

Elektrik üretimi sırasında yakıt hücresinden önemli miktarda ısı yayılır. Fosforik asit ve proton değişimli membran yakıt hücresi, düşük sıcaklıkta çalıştırılır ve ticari ve endüstriyel birleşik ısı güç sistemleri için düşük ölçekli atık ısı üretir. Ergimiş karbonat ve katı oksit yakıt hücresi, yüksek sıcaklıklarda çalıştırılır ve buhar türbininde ilave elektrik üretimi için yeterli ısı üretir. Tek ısı değiştiricili standart bir yakıt hücresi, 205 kW (738536.8 kJ/h) ısıdan 60 °C sıcak su üretebilir. Çift ısı değiştiricili ve yüksek kaliteli atık ısı kazanında, 102.5 kW (369268.4 kJ/h) ısıdan 121 °C ve 102.5 kW (369268.4 kJ/h) ısıdan 60 °C sıcak su sağlanabilir (Augusto 2002; Sycom 1999).

2.4.3. Uygulamalar

Proses sırasında serbest bırakılan akışkanın sıcaklığına ve birleşik ısı güç uygulamalarındaki uygunluğuna göre yakıt hücresinin seçimine karar verilir. Bazı yakıt hücreleri, kısmi yükte çalıştırılabilmektedir. Fakat bazı yakıt hücreleri, yalnızca çevrimin açılıp/kapanmasına izin verir. Bu nedenle, bu tip yakıt hücreleri çalıştırıldığı zaman hep tam yük durumundadır.

2.4.4. Teknolojik ilerlemeler

Yakıt hücresi ile ilgili yapılan çalışmalar, dizaynların yenilenmesini, ölçülerin küçültülmesini ve üretim tekniklerinin gelişimini kapsamaktadır. Gelecek 5-10 yıl içerisinde projelendirilmiş çalışmaları başarmak ve maliyetleri indirmek için önemli miktarlarda yatırım ve sermaye gerekli olacaktır. (Sycom 1999).

2.5. Mikro Türbin

Yeni sınıf küçük gaz türbini, mikro türbin olarak adlandırılır. Güç kapasiteleri, 25-250 kW arasında değişir. Mikro türbin komple bir ünite olup; kompresör, yanma odası, türbin, reküperatör ve jeneratörden oluşmaktadır. Tüm hareketli elemanlar tek bir mil üzerinde yer almaktadır. Yataklama tamamen hava ile sağlanmış olup 96000-120000 d/d hızlarda çalıştırılmaktadır. Yakıt olarak, doğal gaz, biogaz, propan, fuel-oil ve nafta kullanılmaktadır. Mikro türbin, birleşik ısı güç endüstrilerinde oldukça yenidir. Bu yüzden, performans özelliklerinin çoğu, temel olarak gösteri ve laboratuvar testlerine dayanır (Agaik 2001).

2.5.1. Teknolojik tanım

Mikro türbinin çalışma prensibi, reküperatörlü dizaynlar hariç gaz türbinine benzer. Reküperatör, egzoz ısının bir kısmını geri kazanarak türbine giren yanmış hava yakıt karışımının enerjisini arttırmak için kullanılır. Hava kompresör bölgesine çekilir, yanma odasında yakıtla yandıktan sonra yanmış gaz türbinde genişler ve jeneratörü döndürerek güç üretir. Yüksek frekanslı güç, elektronik güç

kontrollü aletler vasıtasıyla şebekeye uyumlu olarak 50 veya 60 Hz'e dönüştürülür (Kaarsberg 2002).

2.5.2. Performans özellikleri

2.5.2.1. Verim

Birçok mikro türbin, NO_x 'in olduğu sıcaklık seviyesinin altındaki yanma sıcaklığında çalıştırılır. Bu yüzden mikro türbinde, yüksek verim elde edebilmek için reküperatör kullanılır. Günümüzde, reküperatörlü mikro türbinin elektrik verimi % 20-30 arasında değişir. Reküperatörsüz 45 kW'lık bir mikro türbin kojenerasyon tesisinin elektrik verimi % 17'dir. Atık ısının değerlendirilmesiyle, 175.84 kW (633031.5 kJ/h) ısı enerjisi üretilir. Böylece, sistemden elde edilen toplam verim % 85'e ulaşır (Lenssen 2000).

2.5.2.2. Sermaye maliyeti

Atık gaz kullanılan bir mikro türbin tesisinde ilk tesis ve yatırım maliyeti, 2000 \$/kW iken, doğal gaz kullanılan bir tesiste 1400 \$/kW'dir. Atık gaz kullanılan tesiste, yakıtın kullanılabilecek duruma getirilmesi ve sistemde uygun basınçta kullanılabilmesi için gerekli olan kompresör maliyetinden dolayı, ilk yatırım daha fazladır (Pierce 2002).

2.5.2.3. Kullanılabilirlik

İmalatçılar sektör deneyimleri sınırlı olmasına rağmen, kullanılabilirliğin diğer güç üretim teknolojilerinde olduğu gibi % 90-95 aralığında olduğunu iddia etmektedir (Sycom 1999).

2.5.2.4. Bakım

Mikro türbin, motora göre oldukça az hareketli parçaya sahiptir. Hava yataklı tek şaftlı dizaynda, yağlama yağı/suyuna gerek yoktur. Bu yüzden, bakım maliyetleri, geleneksel gaz türbininden daha azdır. Yağlama yağı kullanılan mikro türbinde yağ, yanma ürünleri ile temasta olmadığı için (yanma ürünlerinden izole edildiği için) sık sık yağ değişimi gerekmemektedir. Mikro türbin için yalnızca

yıllık programlı bakım aralığı planlanır. Bakım masrafları, 0.015-0.020 \$/kW arasındadır (Agaik 2001; Pierce 2002).

2.5.2.5. Isının geri kazanımı

Türbin bölümündeki sıcak egzoz gazı, birleşik ısı güç uygulamaları için uygundur. Birçok dizayna reküperatör montaj edilmiştir. Bu, birleşik ısı güç sistemleri için kullanılabilir ısı miktarını sınırlamaktadır. Kazanılan ısı, sıcak su ihtiyacın karşılamak için veya düşük basınç buhar uygulamalarında kullanılabilir. 100 kW'lık bir mikro türbinin egzoz sıcaklığı 520 °C civarındadır. Atık ısı kazanı ile 146.5 kW'lık (527526.3 kJ/h) bir ısı enerji kazanılabilir (Lenssen 2000).

2.5.3. Uygulamalar

Mikro türbin sektörü, ticari ve hafif endüstriyel tesise hizmet etmektedir. Bu kuruluşlar, elektriğe büyük sanayi kuruluşlarından daha fazla para öder. Bu yüzden, mikro türbin ticari ve hafif endüstriyel tesise maliyet açısından önemli avantajlar sağlar. Mikro türbinin ısıl ürünü, işletmelerin düşük basınçlı buhar ve sıcak su ihtiyaçlarını karşılayabilir. İmalatçılar mikro türbinini, ısı geri kazanımlı veya ısı geri kazanımsız olarak işletmelerin temel güç ihtiyacını ve yedek güç ihtiyacını karşılayacak şekilde dizayn eder.

2.5.4. Teknolojik gelişmeler

Mikro türbinler, yakın zamanda gelişme göstermesi ile 10 ppm'den daha az bir NO_x emisyon yaymış ve % 30 elektrik verimi sağlayarak başarılı sonuçlar vermiştir. Performans ve bakım ihtiyacının başlangıçta değişkenlik gösterebileceği tahmin edilmektedir. Uzun dönemdeki hedefler, seramik parçaların kullanımı ile yanma verimini arttırarak, % 35-50 arasında elektrik verimine sahip mikro türbin geliştirmektir (Sycom 1999).

3. KOJENERASYON TESİSLERİNDE KULLANILAN YAKITLAR

Yakıt kalitesi, enerji üretim tesislerinin bakım ihtiyacı duymadan uzun süre çalıştırılabilmesini ve kullanılabilmesini sağlayan önemli bir faktördür.

Tüm yakıtlarda yanıcı element olarak karbon, hidrojen ve bunların yanında yakıt cinsine göre değişen miktarlarda kükürt ve benzeri madde bulunur. Yine tüm yakıtlarda, yanabilir madde yanında yanmayan bileşenler de vardır. Yakıtın kalitesi, bu yanmayan bileşenlerin miktarı ile ölçülmektedir. Yakıtlarda depolanmış kimyasal enerji, yanma işlemi sırasında oksijen ile birleşerek ısı biçiminde açığa çıkmaktadır (Pekin 1999).

Üretimin aksamaması için yakıtların, üreticiden veya tedarikçiden kalitesi bozulmadan ve zamanında tüketiciye teslim edilmesi gerekmektedir. Doğal gaz kullanılacak şekilde kurulan tesislerde LPG, nafta veya fuel-oil de kullanılabilir. Bu tesislerde, özellikle yedek yakıt olarak naftanın kullanımı, fiyat avantajı ve daha temiz yakıt olması nedeniyle giderek artmaktadır. Doğal gaz olmayan bölgelerdeki tesisler ise LPG, nafta, kalorifer yakıtı veya fuel-oile göre tasarlanmaktadır (Acar 2000).

3.1. Doğal Gaz

İnsanoğlu tarafından binlerce yıldan beri bilinmesine rağmen doğal gaz, 1960'lı yıllardan sonra yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Organik teoriye göre, diğer fosil yakacaklar gibi, doğal gaz da milyonlarca yıl önce yaşamış hayvan ve bitki atıklarından oluşmuştur. Yeryüzüne gömülen bu atıklar, basınç ve sıcaklık etkisiyle kimyasal değişikliklere uğrayarak doğal gazı meydana getirmiştir.

Doğal gaz, esas olarak metan (CH_4) ve metana göre daha az oranda olmak üzere etan (C_2H_6), bütan (C_4H_{10}) ve propan (C_3H_8) gibi hidrokarbonlardan meydana gelen renksiz kokusuz bir gazdır (Topuz 1998) ve bir metreküpü 33472-35982 kJ alt ısı değerine sahiptir (Genceli 1988). Mavi bir alevle yanar ve hava ile belirli bir oranda karıştığında patlayıcılık özelliği kazanır.

Doğal gazın içinde yanmayan madde bulunmadığı için tümü yanar. Sıvı ve katı yakacaklarda egzoz gazı ile sürüklenen kurum, kül gibi yanmamış maddelerin ısı transferi yüzeylerine yapışarak meydana getirdiği ısı direnç problemi doğal

gazda yoktur. Dağıtım şebekesinden geldiği için depolama sorunu yoktur (Topuz 1998).

Doğal gaz, gaz türbinli ve pistonlu motor gibi kojenerasyon teknolojilerinde kullanılabilir. Doğal gaz, özellikle gaz türbinli kombine çevrim santrallerinde egzoz gazının atık ısı kazanına girmeden önce tekrar yakılması sırasında kullanılır. Buhar çevrimli güç santrallerinin uzun süre çalışması ve maliyetinin pahalı olması nedeniyle bu tür santrallerde kullanılmaz (Hewett ve ark.1996).

Yüksek verimi, ucuzluğu ve çevreye dost özelliği ile doğal gaz yakıtlı kombine çevrim santralleri günümüzde en çok tercih edilen fosil yakıtlı santral konumuna gelmiştir (Egeli ve Özgürel 1995).

3.2. Fuel-oil

Petrol, dünyanın bir çok yerinde kullanılmakta ve yeni petrol yatakları bulunmaya devam edilmektedir. Dünyanın bir çok bölgesinde çıkarılan ham petrolün genelde bileşiği hep aynıdır. Ham petrol; % 84 karbon, % 13 hidrojen ve % 3 sülfürden meydana gelir (Baysal 1998).

Ham petrolün rafine edilmesiyle ve hidrokarbonların tekrar farklı şekilde birleştirilmesiyle fuel-oil, diğer adıyla ağır yakıt gibi ürünler elde edilir.

Kojenerasyon tesislerinde, genellikle ısı değeri 41840 kJ/kg olan 6 numaralı ve 35564 kJ/kg olan 2 numaralı fuel-oil kullanılır. 6 numaralı fuel-oil ısı değeri yüksek olması nedeniyle piston motorlu kojenerasyon tesislerinde büyük ölçüde kullanılmaktadır (Hewett ve ark.1996).

Fuel-oil; ucuzluğu, kolay kullanımı ve dizel motorlarda kullanılabilirliği sayesinde yüksek verimde elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Diğer gaz yakıtlara oranla, tehlikesiz taşınması ve depolanmasına karşın içinde yüksek oranda kükürt bulundurmaktadır. İçerdiği kükürtten dolayı, bacadan atılan egzoz gazından kükürt oksit oluşmaktadır. Oluşan kükürt oksitler, temizlenmediği takdirde çevreye zarar verir (Topuz 1998).

Egzoz gazındaki yüksek SO₂ içeriği, De-SO_x (desülfürizasyon-baca gazı kükürt yıkama) ünitesi ile atmosfere atılmadan önce istenilen limitlere getirilmelidir. Yüksek basınç ve sıcaklık altında oluşan yanma reaksiyonu

sırasında hava içerisindeki azotun oksijenle birleşmesi veya belirli hallerde yakıt içerisinde bulunan bağlı azotun tekrar oksijenle reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler oluşmaktadır. Buradaki ikilem şudur; sistem veriminin yüksek olması için yanma başlangıcında, yanma odasındaki basınç ve sıcaklığın yüksek olması gereklidir. Öte yandan, yüksek yanma sıcaklığı NO_x oluşumunu artırır. Ayrıca, motorun yanma rejiminin NO_x oluşumunu azaltmak üzere optimum seviyede kullanılmaması, eksik yanma sonucunda egzoz içerisindeki CO ve yanmamış hidrokarbon gibi diğer zararlı bileşenlerin aşırı düzeyde oluşmasına neden olur (Baysal 1998).

3.3. LPG

LPG (Liquefied Petroleum Gases-Sıvı Petrol Gazı) sıvılaştırılmış petrol gazıdır. LPG; metan, etan, propan ve bütan gazının kompresyon yöntemiyle ayrılması ve rafinerilerde ham petrolün rafineri esnasında propan, bütan, izobütan gazının karışımından elde edilir. Alt ısı değeri, 46860 kJ/kg olan ve % 90-92 verimle yakılabilen bir yakıttır. LPG fiziksel özelliklerinden dolayı sıvı olarak tüplerde ve tanklarda depolanabilir. Şu anda, LPG ticari olarak karışım (mix) LPG (% 70 bütan, % 30 propan) ve propan olarak piyasaya sürülmektedir (Lange 1996).

Pistonlu motorda, % 95 saflıkta ve izo-bütanlardan arındırılmış veya istenilen düzeye indirilmiş oranda propan kullanılmaktadır. Ancak, verimden biraz kaybetmeyi göze almak ve hesapları buna göre yapmak gereklidir. Aynı hacimde ve büyüklükte bir pistonlu motordan doğal gaz ile 1 MW enerji sağlanılırken, propan gazı ile 700-800 kW enerji sağlanabilir. Bu yüzden, yatırımın geri dönüşü gecikebilir (Kızılkaya 1999).

Pistonlu motorda kullanılan propan, motora belli basınç ve sıcaklık aralığında gaz olarak gönderilmektedir. Sıcaklığın belli bir seviyenin üzerinde olması, propan içerisindeki ağır hidrokarbonların ayrışmasına ve yeşil yağ diye adlandırılan sıvının oluşmasına neden olur. Bu sıvının motora ulaşması motorun düzenli çalışmasını etkiler ve motorun kendini korumaya alması ile duraklamalar yaşanır. Sistem bu problemler düşünülerek tasarlanmalı ve kurulmalıdır (Kızılkaya 1998).

Karışım LPG'nin gaz türbininde yakılmasında herhangi bir sorun, zorluk bulunmamaktadır. Karışım LPG'nin yoğunlaşma sıcaklığını çok iyi tespit etmek gerekmektedir. Stok tankı ile yüksek basınç pompası sonrasında, türbine gönderilen gazın basıncı ve debisinin yeterli düzeyde olması gerekir. Bu yüzden, yerleşim planı buna göre yapılması gerekir. Bunun dışında, yine karışım LPG'nin gaz türbinine % 100 kuru buhar olarak ulaşması için tüm tedbirler alınmalıdır. Sıvı damlacıkları, yanmanın kontrolsüzlüğüne yol açar. Bu yüzden, alev boyları dengesizleşir ve kanatlarda hasara neden olur (Kızılkaya 1998).

LPG; yüksek yanma verimi, kullanım kolaylığı, temiz, ekonomik ve çevre dostu olması gibi avantajlarıyla sadece pişirmede değil, tüm enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında da tercih edilmektedir. LPG, renksiz ve kokusuz olup, yanıcı ve parlayıcı özelliklere sahip kimyasal bir maddedir. Bir kaçak olduğunda fark edilebilmesi için içine özel koklandırıcılar atılır (Lange 1996).

Ülkemizde, LPG fiyatının kısa vadede hızla yükselmesi, kojenerasyondaki payını azaltmıştır. Türkiye'de enerji sektöründe LPG kullanımı % 5 seviyelerinden % 1'in altına düşmüştür.

3.4. Nafta

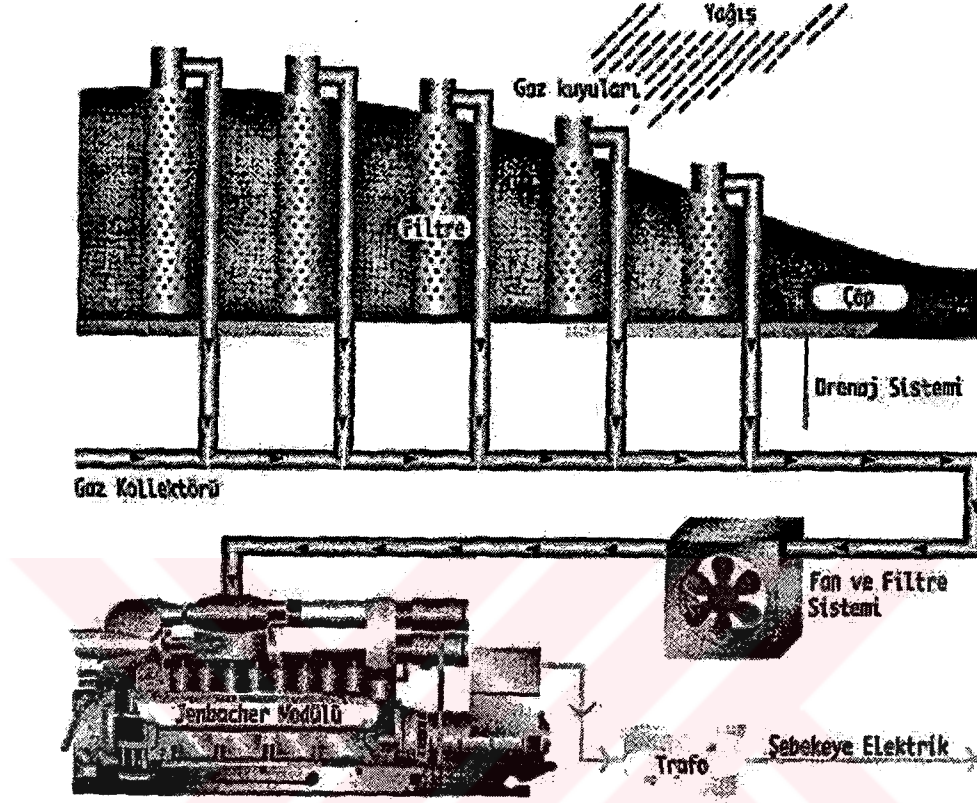
Nafta, genel olarak rafinerilerde doğrudan ham petrolden veya ağır ürünleri parçalayan dönüşüm ünitelerinden elde edilmektedir. Üretilen naftanın büyük bölümü benzin üretiminde veya petrokimyada kullanılmaktadır. 46024 kJ/kg ısı değere sahip olan kullanım fazlası nafta, enerji üretiminde yakıt olarak kullanılmaktadır (Kındergen ve Van 1999).

Naftanın daha çok benzin üretiminde yakıt olarak kullanılması nedeniyle kojenerasyon teknolojilerinde çok kullanılan bir yakıt değildir. Bu nedenle, Türkiye'de nafta kullanan kojenerasyon tesisi % 3 civarındadır (Lange 1996).

3.5. Çöplük Gazı

Çöplüklerde dayanılmaz kokusuyla dikkat çeken gaz, aslında değerli bir enerji kaynağı durumundadır. Çöpler, içerdikleri organik maddelerin mikroplar tarafından zaman içerisinde ayrıştırılmasıyla gaz çıkarır. Bu gazın bileşimi; % 45-65 metan (CH_4), % 25-35 karbondioksit (CO_2) ve % 10-20 azot (N_2)

şeklindedir. Bir ton çöpten, 15-20 yıllık süreçte 150-200 m³ çöplük gazı elde edilebilmektedir (Turna 1999, Zor 1996).



Şekil 3.1 Çöplük gazının elde edilmesi (Zor 1996)

Çöplük gazı, mikrobiyolojik proseslerde oluşan hidrokarbon ve hidroflorokarbon gazıdır. Zehirli ve kısmen kanserojendir. Çöplük gazı, tesis ekipmanlarında korozyona neden olur. Bu yüzden, farklı kuyulardan toplanan gaz kullanılmadan önce filtre edilir. Motoru korozif etkilerden korumak ve kullanılabilirlik oranını yüksek tutmak için şu önlemler alınmalıdır:

- Korozif gaz, belirlenen limitleri tutacak şekilde farklı kuyulardaki gaz ile karıştırılır ve kontrol edilir.
- Yağlama sisteminde, özel yağlayıcı yağlar kullanılır.
- Yağ değişim süreleri kısa tutulur ve daha yüksek oranda yağ sirkülasyonu sağlanır.
- Motor yağı periyodik olarak analiz edilir.

Çöp gazı uygulamalarında pistonlu motor, çöp gazının yanmaya eğiliminin doğal gaza göre daha düşük olması nedeniyle özel bujilerle donatılmalıdır (Turna 1999).



4. TÜRKİYE’DE VE DÜNYADA ÇEŞİTLİ KOMBİNE ÇEVİRİM VE KOJENERASYON UYGULAMALARI

Türkiye’ de sanayi tesislerinde kojenerasyon için son derece geniş uygulama alanları mevcuttur. Örneğin; alüminyum tesislerinde, şeker fabrikalarında, gübre fabrikalarında, rafinerilerde, kağıt sanayilerinde, tekstil fabrikalarında, demir-çelik fabrikalarında yapılacak kojenerasyon uygulamaları en fazla 4-5 yıl içerisinde yatırım bedelini ödeyecek kadar büyük gelir getirebilir. Aksa, Yalova Elyaf, Sifaş, Çolakoğlu Metalürji, Şahinler Holding, Çerkezköy ve Bursa Sanayi Bölgeleri kendi fabrikalarında kojenerasyon uygulamalarını ilk başlatan sanayi kuruluşlarıdır. Bunları, Koç Holding ve Sabancı Holding takip etmiştir (Ağış 1995).

04/09/1985 tarihinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından çıkartılan “Otoprodüktörlük Yönetmeliği”, 3096 sayılı yasaya dayanarak, özel sektörün kojenerasyon tesisleri kurmalarını teşvik etmiştir. Böylece Türkiye’de, başta tekstil sektörü olmak üzere çeşitli sanayiciler fabrikalarının elektrik ve ısı ihtiyacını karşılamak için kendi kojenerasyon tesislerini kurmaya başlamıştır. Yani, kojenerasyon uygulamaları Türkiye’de endüstriyel kojenerasyon olarak başlamıştır. Esasında, Avrupa’da kojenerasyon, toplu konutların bir merkezden ısıtılması şeklinde yani ısı üretim amaçlı olarak başlatılmış, elektrik üretimi bir yan ürün olarak ortaya çıkmış ve değerlendirilmesi yönüne gidilmiştir. Elektrik ve/veya ısı ihtiyacını karşılamak amacıyla kendi kojenerasyon tesisini kuran kişiye otoprodüktör, bu tesislere de otoprodüktör tesisi denir. Otoprodüktör tesislerin verimi % 50-60 arasındadır. Bu oran, kombine çevrimli gaz santralin verimine eşdeğerdir. Bu tesisler, ısı amaçlı olarak büyük şehirlerin yakınına kurulursa ve konutların ısıtılması sağlanırsa, elektrik üretimi de konutların yakınındaki fabrikalarda değerlendirilebilir. Böylece, en yüksek oranda enerji tasarrufu sağlanır, çevrim verimi de % 90 seviyesine ulaşılır (Ağış 1998).

Hepbaşlı (2001) tarafından, otoprodüktörlerin tesis kapasitesinin 2663 MW olduğu bildirilmiştir. Yaklaşık olarak bunun 600 MW’ı konvansiyonel kojenerasyon tesislerinden oluşur. Bu sistemler, fabrikaların bulunduğu yerde, ayrı bir şirket kurulmaksızın fabrikaların bir parçası olarak kurulmuştur. Bu

tesislerin çoğu, 1985 Ağustos ayından önce onaylanmıştır. 85/9799 sayılı kararname ile kanunlaşan ve girişimcilere otoprodüktör tesisi kurmalarına ve fazla gücü elektrik şebekesine satmalarına izin verilmiştir. Mart 2000 itibariyle, toplam kapasitesi 2079 MW olan 80 otoprodüktör tesis işletmeye alınmıştır. Bu tesislerde, 1999 yılında üretilen yıllık enerji, 10848 GWh'tır ve Türkiye'de üretilen yıllık enerjinin % 9.3'ünü oluşturmuştur. Hesaplamalara göre, toplam kapasitesi 6800 MW olan 222 tesis 2003 yılından önce işletmeye alınacaktır. Kojenerasyon tesislerinin, 2002 yılı sonunda ülkede üretilen toplam güç kapasitesinin % 18'ini karşılayacağı tahmin edilmektedir. Otoprodüktörlerin toplam kapasitesi, 2005 yılına kadar Türkiye'nin toplam kapasitesinin % 22'sini oluşturması beklenmektedir (Hepbaşlı 2001; Hepbaşlı ve Özalp 2002).

Türkiye'de kojenerasyon alanında gelişme, sanayide kullanılan elektrik enerjisi fiyatının yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Sanayicilerimiz TEDAŞ'ın (eski TEK) yüksek elektrik faturaları karşısında (özellikle elektrik tüketiminin yoğun olduğu sanayilerde) bunalmış ve elektrik fiyatının yüksekliği nedeniyle dünyadaki rekabet üstünlüklerini kaybetmek durumuyla karşılaşmıştır. Onlar için kojenerasyon, yüksek elektrik tarifelerinin baskısından kurtuluş ve güvenli elektrik sağlama yolu olmuştur.

Seydişehir Alüminyum Tesisleri'nde ise devletin sübvansiyonu ile kojenerasyondan vazgeçilmiştir. 1991 yılında yapılan ön fizibilite raporunun sonucuna göre, elektrik TEK'ten alınan 0.07 \$/kWh yerine 0.045 \$/kWh'a üretililebileceği (%35 daha ucuz) ayrıca buhar maliyetinin de 0.04 \$/kWh'dan 0.025 \$/kWh'a düşeceği görülmüştür (Ağış 1995).

Sanayi için elektrik ve buhar, sanayi tesisleri civarına kurulmuş olan konutlar için sıcak kullanma suyu üreten, böylece hem elektriği hem de sıcak suyu çok ekonomik maliyetlerde üreten kojenerasyon tesisleri dünyada 30-40 yıldan beri hizmet vermektedir. Finlandiya'da, İsveç'te ve Kanada'da şehirler bu sisteme göre ısıtılmakta ve aydınlatılmaktadır. Bu uygulama, İstanbul'da Esenyurt (Bahçeşehir) ve Çorlu'da başlatılmıştır (Ağış 1995).

4.1. Kombine Çevrim Uygulamaları

4.1.1. Trakya (Hamitabat) kombine çevrim santrali

Yüksek kapasiteli ve verimli endüstriyel gaz türbini, Türkiye enerji sektörünün gündemine 1984 yılında, Trakya (Hamitabat) Kombine Çevrim Santrali ile girmiştir. İlk gaz türbin ünitesi, Kasım 1985 tarihinde devreye alınan santralde, her biri 95 MW kapasiteli toplam 8 adet GT 13D model ABB gaz türbini bulunmaktadır. 1200 MW kurulu gücündeki santralde iki adet gaz türbin-jeneratör ünitesi, iki adet atık ısı kazanı ve bir adet buhar türbin-jeneratör ünitesi bulunmaktadır. Yakıt olarak doğal gaz kullanılan santralin verimi, kombine çevrim olarak çalışması durumunda % 50, yalnız gaz türbininin basit çevrimde çalıştırılması durumunda ise % 32.25 mertebesindedir (Ağış ve Okutan 1999).

4.1.2. Ambarlı kojenerasyon santrali

Ambarlı kojenerasyon santrali, Trakya santrali gibi iki adet gaz türbin-jeneratör ünitesi, iki adet atık ısı kazanı ve bir adet buhar türbin-jeneratör ünitesi olarak tasarlanmıştır. Toplam olarak her biri 450 MW gücünde üç adet kombine çevrim grubuna sahiptir. Bu santralde, gaz türbini ile atık ısı kazanları arasında bypass bacaları yer almaktadır. Brülörler, hem doğal gaz hem de 6 numaralı fuel-oil yakabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Gaz türbin giriş sıcaklığı 1050 °C, egzoz çıkış sıcaklığı ise 558 °C'dir. 16 kademeli kompresör ile 4 kademeli türbin tek shaft üzerinde ve aynı gövde içinde yer almaktadır. 1987 yılında ihale edilen ve toplam kurulu gücü 1350 MW olan santralde her biri 138.8 MW gücünde altı adet V94.2 model Siemens-KWU gaz türbini bulunmaktadır. Yakıt olarak, doğal gaz kullanıldığında santralin verimi; kombine çevrim olarak çalışması durumunda % 52, yalnız gaz türbininin basit çevrimde çalıştırılması durumunda ise % 32.25 mertebesindedir (Ağış ve Okutan 1999; Özgürel ve Egeli 1994b).

4.1.3. Bursa doğal gaz kombine çevrim santrali

TEAŞ'ın üçüncü büyük kombine çevrim santrali, Bursa'da kurulmuştur. Toplam kurulu gücü, 1409.8 MW olan santralde, her biri iki adet gaz türbin-jeneratör ünitesi, iki adet atık ısı kazanı ve bir adet buhar türbin-jeneratör ünitesinden oluşan iki adet kombine çevrim grubu bulunmaktadır.

Santralde bulunan 4 adet gaz türbini, 701 F model Mitsubishi gaz türbini olup, her biri 239 MW gücündedir. 17 kademeli kompresör ile 4 kademeli türbin tek şaft üzerinde olup, türbin etrafında çevresel olarak dizilmiş 20 adet boru tipi yanma odası bulunmaktadır. Gaz türbin sıcaklığı 1150 °C, egzoz çıkış sıcaklığı ise 557.5 °C'dir (Ağış ve Okutan 1999).

4.1.4. Taranaki kojenerasyon santrali

615 MW kapasitedeki Taranaki kojenerasyon santrali, Yeni Zelanda'da elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulmuştur. Santralde, ana yakıt olarak doğal gaz, yedek yakıt olarak fuel-oil kullanılmaktadır. Santralin elektrik verimi, % 57.5'dir (Bachmann ve ark. 1999).

4.2. Endüstriyel Buhar ve Elektrik Üretim Kojenerasyon Santrali

4.2.1. Entek kojenerasyon santrali

Entek kojenerasyon santrali, 1995 yılında Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesinde kurulmuştur. Santral çevresindeki fabrikalara, özellikle iki sanayi tesisi olan Tofaş ve Sönmez Tekstil'e ısı ve elektrik enerjisi sağlamakta, arta kalan elektrik TEAŞ şebekesine satılmaktadır.

Tesisin kuruluşundaki temel amaç, endüstriyel tesisler için ekonomik bir çözüm sağlamak ve garantili bir şekilde elektrik ve ısı enerjisi elde etmektir. Tesislerin buhar ihtiyacı, egzoz gazının atık ısı kazanında kullanılmasıyla karşılanır.

Entek, birleşik çevrim esasına göre çalışmaktadır. Sistemde iki adet uçak türevli gaz türbini, iki adet atık ısı kazanı ve bir adet buhar türbini bulunmaktadır. Santral kapasitesi 104 MW'tır. Elektrik üretimi 850000 kWh/yıl olarak gerçekleşmektedir. Buhar üretim kapasitesi iki farklı basınçta (24 ve 8 bar) 115 ton /yıl olarak gerçekleşmekte ve santralin genel verimi % 80 civarındadır (Arıkan ve Varal 2002).

4.2.2. Kentsa kojenerasyon santrali

Enerjisa 120 MW kapasiteli kojenerasyon santralıyla, Sabancı Grubu'na ait 4 sanayi tesisinin yer aldığı İzmit'te Kentsa olarak isimlendirilen sanayi

bölgesinde 10 Ekim 1997 tarihinden itibaren işletme faaliyetlerini yürütmektedir. Çizelge 4.1’de Enerjisa kojenerasyon tesisinin özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 Enerjisa kojenerasyon tesisinin özellikleri (http-1)

Gaz Türbini			
GT-1		GT-2	
Güç	40 MW	Güç	40 MW
İmalatçı Firma	GE	İmalatçı Firma	GE
Model	FRAME 6 PG 6551	Model	FRAME 6 PG 6561
İşletmeye Alınış Tarihi	Ekim 1997	İşletmeye Alınış Tarihi	Aralık 1999
Buhar Türbini			
Güç	40 MW		
İmalatçı Firma	ABB		
İşletmeye Alınış Tarihi	Haziran 2000		
Kazanlar			
HRSG-1		HRSG-2	
Buhar	62 t/h	Buhar	62 t/h
Kapasitesi		Kapasitesi	
Basınç	80 bar	Basınç	80 bar
İmalatçı Firma	DESA	İmalatçı Firma	BWG
İşletmeye Alınış Tarihi	Mart 1998	İşletmeye Alınış Tarihi	Haziran 2000
Yakıt			
Ana Yakıt	Doğalgaz	Yardımcı Yakıt	Nafta, Motorin

Gaz türbininden çıkan yüksek ısıya sahip egzoz gazı atık ısı kazanlarında buhar elde etmek için kullanılmakta, elde edilen buhar, buhar türbinine gönderilerek elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Kentsa Fabrikaları’nın buhar ihtiyacı, buhar türbininin ara kademelerinden çekilen buhar ile sağlanmaktadır. Kentsa kojenerasyon tesisinin, doymuş buhar kapasitesi 120 t/h, kızgın buhar kapasitesi 155 t/h’dir. Fabrikalarda prosesde kullanılan buhar, kondens hatlarıyla tekrar Enerjisa’ya gönderilmektedir. Yoğuşmuş buhar, su arıtma ünitesinde temizlendikten sonra su besleme tankına pompalanmaktadır.

Buhar türbininin işletme dışı olduğu durumlarda, atık ısı kazanlarında üretilen buhar doğrudan proses tüketimine gönderilmektedir. Atık ısı kazanlarının işletme dışı olduğu durumlarda, konvansiyonel yardımcı kazanlar devreye girerek bölgedeki diğer sanayi kuruluşlarının buhar ihtiyacını karşılamaktadır. Böylelikle, buhar arzında yüksek emniyetle çalışarak, sanayi kuruluşlarının üretiminde süreklilik sağlanmaktadır.

Gaz türbini ve buhar türbininde üretilen elektrik enerjisi direkt bağlantılı dahili hatlarla Kentsa müşterilerine ve TEDAŞ hatları kullanılarak diğer sanayi kuruluşlarına nakledilmektedir (http-1).

4.2.3. Alaplı kojenerasyon santrali

Zonguldak ili, Alaplı ilçesinde 1996 yılında devreye alınan santral, toplam 6.3 MW elektrik üretim ve 12 t/h buhar üretim kapasitesi ile Akal firmasına buhar ve elektrik temin etmektedir. Sistemde bir adet 6176 kW kapasiteli gaz türbini ünitesi ile bu ünitenin egzoz gazından yararlanarak, doymuş buhar üretimini gerçekleştiren bir adet atık ısı kazanı ünitesi bulunmaktadır (http-2).

4.2.4. Çerkezköy kojenerasyon santrali

Ak Enerji Çerkezköy Santrali, 2 gaz türbini, 1 buhar türbini ve 2 atık ısı kazanı ile 98 MW elektrik, 135 t/h buhar üretimi yapabilen bir kapasiteye sahiptir. Yılda ortalama 700 milyon kWh elektrik enerjisi ve 1 milyon ton buhar üretimi bulunan santral, Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesi'nin elektrik enerjisi ihtiyacının büyük bir kısmını karşılamaktadır.

1993 yılında işletmeye alınan 20.8 MW kapasiteli ilk gaz türbini, santral toplam kurulu gücünün % 22' sini oluşturmaktadır. 43.5 MW kapasiteli ikinci gaz türbini 1995 yılında işletmeye alınmıştır.

Santralde bulunan buhar türbini 33 MW gücünde olup, 1996 yılında faaliyete geçmiştir (http-2).

4.2.5. Bozüyük kojenerasyon santrali

Bilecik ili Bozüyük ilçesinde kurulu bulunan santral, 2 adet gaz türbini, 1 adet buhar türbini ve 2 adet atık ısı kazanından oluşmaktadır. 132 MW elektrik ve

130 t/h buhar üretim kapasitesi bulunan Bozüyük Santrali'nde ana yakıt olarak doğalgaz, yedek yakıt olarak da nafta kullanılmaktadır.

Üretilen elektriğin bir kısmı doğrudan bağlantılı dahili hatlarla, bir kısmı da TEDAŞ enerji nakil hatları kullanılarak diğer ortaklara iletilmektedir.

Her biri 43.5 MW kapasiteli 2 adet gaz türbini ve 38.9 MW gücündeki buhar türbini 1997 yılında devreye girmiştir.

Santralde bulunan iki adet atık ısı kazanı tarafından üretilen buhar, buhar türbininde ve santralin ısıtma sistemlerinde kullanılmakta, ayrıca yakın çevredeki ortaklara ısıtma ve proses buharı olarak verilmektedir.

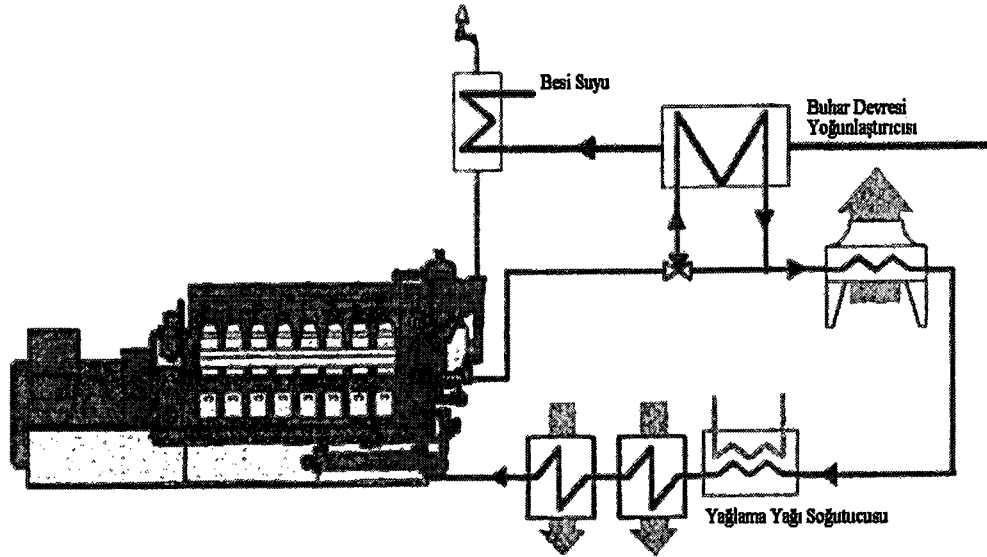
4.2.6. Hemeraj kojenerasyon santrali

Hemeraj kojenerasyon santrali, yerel bölgenin elektrik enerjisi ve endüstriyel tesislerin proses buhar ihtiyacını karşılamak amacıyla Tayland'da kurulmuştur. Santral, 119 MW elektrik enerjisi ile beraber, 78 MW proses buharı üretimi gerçekleştirmektedir. Proses buharı üretimi yapılmadığı zaman 136 MW'lık elektrik enerjisi üretilmektedir. Ana yakıt olarak doğal gaz kullanılan tesiste, yalnızca elektrik üretimi yapıldığında elektrik üretim verimi % 68.1'dir. Elektrik üretimi ile beraber proses buharı üretildiğinde, elektrik verimi % 59.3'e düşmektedir (Bachmann ve ark. 1999).

4.3. Sera Isıtması ve Elektrik Üretim Kojenerasyon Santrali

4.3.1. Kemberburgaz kojenerasyon santrali

Kemberburgaz kojenerasyon tesisinde, Kemberburgaz çöplüğünden elde edilen çöplük gazı kullanılmaktadır. Kemberburgaz kojenerasyon santralinde elektrik üretimine 2001 yılında başlanmıştır. Bu çöplükteki, yaklaşık 8.2 milyon metreküp çöpün çıkardığı gazı toplamak için 180 kuyu açıldı. Bu kuyulardan çıkan metan gazı ile saate 6 MW elektrik üretilmektedir. Elektrik verimi % 38'dir. Atık ısının, tesise yakın bir serada kullanılmasıyla toplam verim % 80'e çıkmıştır (http-3; http-4). Şekil 4.1'de çöplük gazı uygulamasının tesis şeması gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Çöplük gazı uygulamasının tesis şeması (Topuz 2001)

4.4. Merkezi Isıtma ve Elektrik Üretim Kojenerasyon Santrali

4.4.1. Esenyurt kojenerasyon santrali

Esenyurt kojenerasyon tesisi, 180 MW elektrik ve 180 MW ısı enerjisi üreten bir santraldir. Sağlanan elektrik, ulusal elektrik şebekesine ve üretilen ısı Esenkent merkezi ısıtma sistemine hizmet vermektedir. Santralde, üç adet gaz türbin-jeneratör, üç adet atık ısı kazanı ve buhar türbin-jeneratör ünitesi bulunmaktadır. 17 kademeli kompresör ve 3 kademeli türbin tek şaft üzerinde olup, 10 adet boru tip yanma odası bulunmaktadır. Ana yakıt olarak doğal gaz, yedek yakıt olarak fuel-oil kullanılmaktadır (Gence ve ark 1999).

4.4.2. John F. Kennedy kojenerasyon santrali

100 MW gücündeki santral, John F. Kennedy Havaalanı'nın elektrik ve ısı enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır. Isı enerjisi, havaalanı merkez terminalinin yazın soğutulmasında, kışın ısıtılmasında enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Sitemin soğutma kapasitesi 28000 t/h, ısıtma kapasitesi 237 GW'dir. İhtiyaç fazlası elektrik, yerel şebekeye satılmaktadır. Ana yakıt olarak, doğal gaz kullanılmaktadır (Payne 1997).

4.4.3. Diemen kojenerasyon santrali

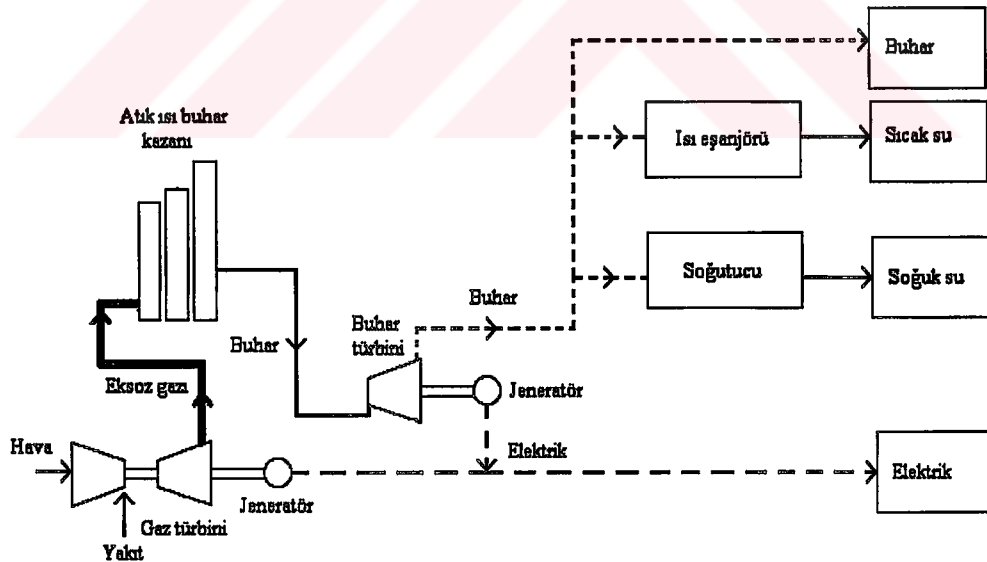
Hollanda’ da kurulmuş olan santral, yerel elektrik şebekesinin elektrik ihtiyacını ve Amsterdam’ın güney kısmında konutların ısıtılması için gerekli ısı enerjisini karşılamaktadır. Santral, yazın yalnızca elektrik üretimi için kullanıldığında 249 MW elektrik enerjisi üretir. Kışın, 218 MW elektrik enerjisi ile beraber 180 MW ısı enerjisi üretimi yapılır. Kojenerasyonda ana yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Santralin, kışın elektrik verimi % 47.9, yazın % 54.7’dir (Bachmann ve ark. 1999).



5. TRİJENERASYON

Trijenerasyon, ana güç kaynağından üç farklı formda (ısıtma, soğutma ve güç üretimi) enerji üreten bir sistemdir. Trijenerasyon, ısıtmanın yanında soğutma şeklinde de enerjiye ihtiyaç duyulan alanlarda büyük işlevsel esneklik sunar. Bu, özellikle binaların klima ve birçok endüstrinin de soğutma işlemine gereksinim duyduğu sıcak ülkelerde söz konusudur.

İki temel tip soğutma tekniği vardır. Bunlar sırasıyla, kompresörlü (sıkıştırılmalı) soğutma ve absorpsiyonlu soğutmadır. Bunlar arasındaki temel fark, kompresörlü soğutmada enerji kaynağı olarak elektrik kullanılır. Termodinamik açıdan absorpsiyonlu soğutmanın kojenerasyon sistemlerine ilave edilmesi, verimin yüksek oranda artmasını sağlar. Çünkü, absorpsiyonlu soğutma sistemi için egzoz ısısı, enerji kaynağı olarak kullanılır. Normal bir trijenerasyon sistemi, bir kojenerasyon sisteminden elde edilen ısının bir kısmını kullanarak soğutma yapan bir buhar absorpsiyonlu soğutucu bulundurmaz. Şekil 5.1’de gaz türbinli bir trijenerasyon tesisinin sistemi gösterilmektedir (Berkyürek 2001; Havelksy 1999).



Şekil 5.1 Gaz türbinli bir trijenerasyon tesisi (Hewett 1996)

Trijenerasyonda kullanılan absorpsiyonlu soğutucuları ısı kaynağına bağlı olarak dörde ayırabiliriz:

- Sıcak su,
- Düşük basınçlı buhar,
- Orta basınçta buhar,
- Gaz türbininden gelen egzoz gazının doğrudan yakılmasıyla elde edilen atık ısı (Elzen 1998).

Absorpsiyonlu soğutma tesisinin avantajları şunlardır:

- Çevre dostu bir teknolojidir (Ozona zararlı soğutucu akışkan H_2O kullanılır).
- İşletme maliyeti, kompresörlü sistemlere göre düşüktür (4850 kW soğutmaya karşılık 25 kW elektrik tüketimi).
- Hareket eden parça sayısının az olması nedeniyle (solüsyon ve soğutucu akışkan pompası) servis/ bakım maliyeti düşüktür.
- Sistem, sessiz ve titreşimsiz çalışır.
- Sistemin kullanım ömrü uzundur.

Dezavantajları şunlardır:

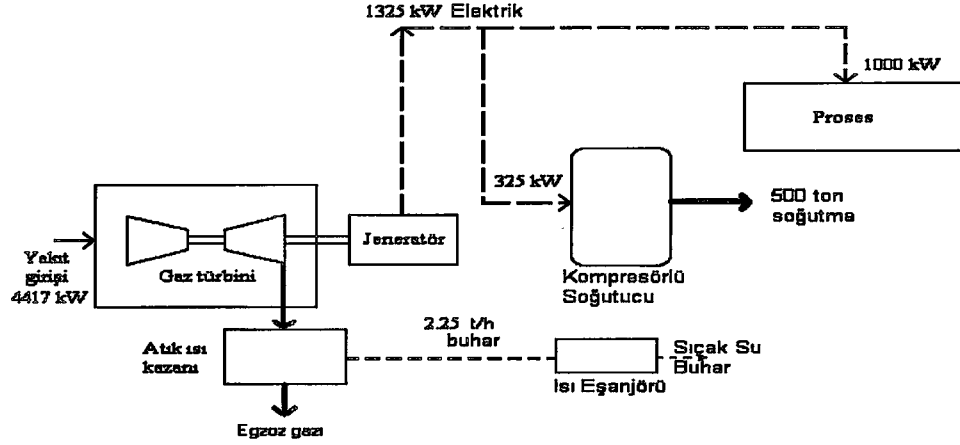
- Su tüketimi yüksektir (Odabaşı 2001).

Trijenerasyon tesisleri uzun zaman sabit kalan yüklerde en iyi işletimi sağlamaktadır. Trijenerasyon tesisi ve absorpsiyonlu soğutma tesisleri arasındaki bağlantı iki şekilde sağlanmaktadır. Bunlar sırasıyla, dolaylı ve doğrudan bağlantı şeklindedir.

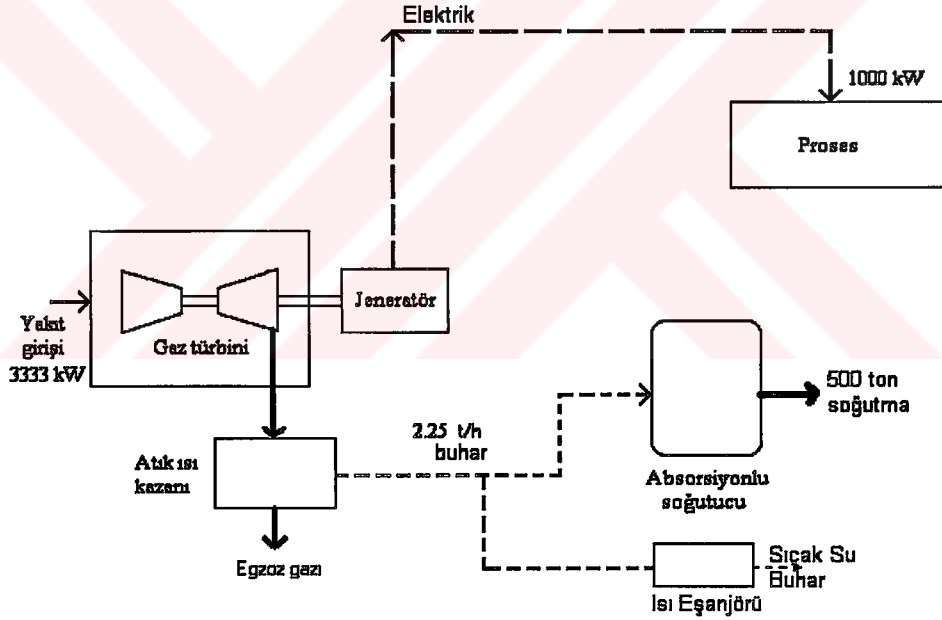
Dolaylı bağlantıda, enerji kaynağı olarak buhar veya sıcak su kullanılmaktadır. Bu sistemin avantajı, absorpsiyonlu soğutma tesisinin çalışmasında, buhar veya sıcak suyun sadece soğutma için kullanılmaması, başka amaçlar için alternatif olabilmesidir.

Doğrudan bağlantılı sistemde, atık gaz direkt olarak absorpsiyonlu tesisin çalışması için kullanılmaktadır. Böylece, ilave bir kazan kullanılmasının önüne geçilerek ilk tesis ve kurulum maliyetini azaltılırken, kullanılacak ek kazanın oluşturacağı bakım ve işletme maliyeti önlenir. Doğrudan bağlantılı sistemde, absorpsiyonlu soğutma tesisinin çalışması, durması veya çeşitli yüklerde çalışması gibi talepler yoktur. Absorpsiyonlu soğutma tesisinin kontrol sistemi, kojenerasyon tesisinin kontrol sisteminden bağımsızdır. Atık gaz, soğutma talebi olmadığında bypass hattı boyunca atılır (Öztürk 2001).

Aşağıdaki örnekte, aynı miktarda güç ve soğutma talebini karşılayan absorpsiyonlu sistem ve kompresörlü sistem karşılaştırılmıştır (Şekil 5.2) (Berkyürek 2001).



a. Kompresörlü soğutma



b. Absorpsiyonlu soğutma

Şekil 5.2 Kompresörlü sistem ve absorpsiyonlu sistemin karşılaştırılması (Berkyürek 2001)

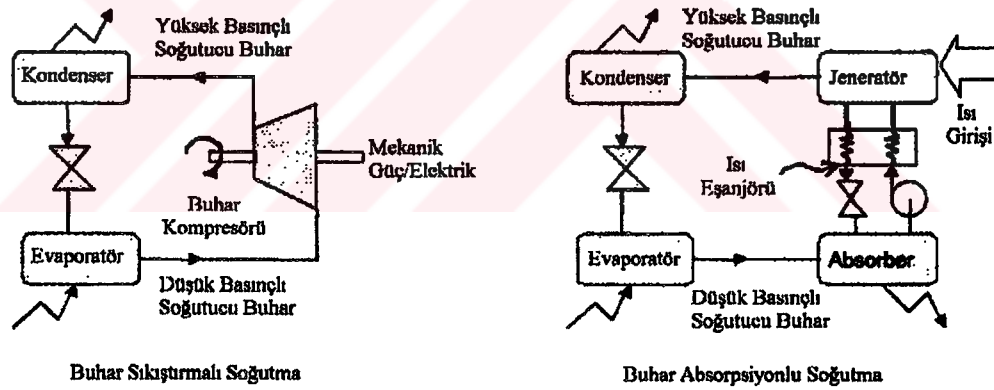
Bir fabrikada, 1 MW elektrik ve 500 ton soğutmaya ihtiyaç duyulmaktadır. İlk olarak, proses ve kompresörlü soğutucu için gerekli elektrik enerjisi hesaplanmıştır. 1 ton soğutma için 0.65 kW elektrik kullanıldığı varsayılırsa, kompresörlü soğutucu, 500 ton soğutma için 325 kW elektriğe ihtiyaç duyar. Yani, bu fabrikaya 1325 kW elektrik sağlanmalıdır. Eğer, gaz

türbininin % 30 verimliliği varsa, birincil enerji tüketimi 4417 kW olacaktır. Ancak, absorpsiyonlu soğutucuya sahip bir trijenerasyon sistemi, yalnızca 3333 kW birincil enerji tüketerek aynı enerjiyi üretebilir (güç, soğuma ve ısı).

Kolaylıkla görülebilir ki, bir absorpsiyonlu soğutucu kullanan kojenerasyon sistemi, buhar kompresörlü soğutucu güç üretim sistemine oranla yaklaşık % 24.5 birincil enerji tasarrufu sağlar.

5.1. Absorpsiyonlu Soğutucuların Genel Çalışma Prensibi

Buhar sıkıştırımlı soğutucuda gibi, buhar absorpsiyonlu soğutucuda da, soğutulacak yere konan evaporatör, ısıyı çeker ve bu ısı kondenserde dışarıya verilir. Ancak absorpsiyonlu soğutucu, tahrik kaynağı olarak bir ısı kaynağı kullanırken, buhar sıkıştırımlı soğutucu aynı iş için mekanik güce veya elektrik kaynağına ihtiyaç duyar. Şekil 5.3’ de buhar sıkıştırımlı ve buhar absorpsiyonlu soğutma sisteminin karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 5.3 Buhar sıkıştırımlı ve buhar absorpsiyonlu soğutma sistemin karşılaştırılması (Berkyürek 2001)

Buhar absorpsiyonlu soğutucunun gelişmiş versiyonu, genellikle çift etkili tip olarak bilinir. Çift etkili bir buhar absorpsiyonlu soğutucunun enerji tüketimi, aynı soğutma etkisi için, tek etkili buhar absorpsiyonlu soğutucunun enerji tüketiminin neredeyse yarısına eşittir. Ayrıca, kondenserde açığa çıkan ısı da azaltılmıştır. Böylece, daha küçük bir kondenser ve soğutma kulesi gerekecektir. Absorpsiyonlu soğutucuların performansı, büyük oranda çalışan soğutucu madde çiftinin ısı ve fiziksel özelliklerine dayanır (Berkyürek 2001).

Trijenerasyon tesisinde en fazla kullanılan tip, tek etkili absorpsiyonlu gruptur. Etkinlik katsayısı (soğutma gücü/ısıl enerji oranı), 0.7 ve kapasitesi 158–4853 kW arasındadır. Enerji kaynağı olarak, 80 – 130 °C sıcaklıktaki kızgın su ve maksimum 1 bar da düşük basınçlı buhar veya egzoz gazının yakılmasıyla elde edilen atık ısı kullanılır. Kapalı alan soğutmasında kullanılan +5 °C'deki soğuk hava ihtiyacı tek etkili absorpsiyonlu soğutucu ile karşılanabilir (Berkyürek 2001; Öztürk 2001; Odabaşı 2001).

Çift etkili modellerde, yalnızca 4.5 kg/h buhar kullanır. Ancak, tek etkili modele göre 6-8 bar daha yüksek bir basınç gereklidir. Etkinlik katsayısı (soğutma gücü/ısıl enerji oranı), 1.2'dir. Bu modellerde, LiBr-H₂O karışımının birbirinden ayrılması için iki ayrı ısı eşanjörü kullanılmaktadır. Kapasitesi 320 kW–5280 kW arasındadır. Bu modeller, daha çok buhar türbini uygulamalarında kullanılmaktadır (Berkyürek 2001).

NH₃-H₂O ile çalışan tesisler –60 °C'ye kadar düşük sıcaklık üretebilir. Bu tesisler, daha çok endüstriyel soğutma amaçları için uygun olmaktadır. Amonyaklı absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin kapasiteleri 200 kW'lara çıkmaktadır (Mohanty 2001).

5.3. Trijenerasyon Tesisinin Sektördeki Yeri

Trijenerasyon absorpsiyonlu soğutma tesis sistemleri için en önemli uygulama alanı gıda endüstrisidir. Çünkü, gıdanın işlenmesi için elektrik enerjisine, proses için ısı enerjisine ve ürünün depolanması için güvenilir soğutma enerjisine ihtiyaç vardır. Özellikle, kırsal yerlerde güvenilir enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da, şebekeden bağımsız trijenerasyon absorpsiyonlu soğutma tesislerinin kurulmasının zorunlu kılar. Ayrıca, güç dalgalanmalarına ve yüksek elektrik ücretlerine karşı emniyet sağlanmasına olanak verir.

Rotterdam' da bir margarin üretim tesisinde bazı imalat prosesleri devre dışı olduğunda buhar fazlalığı oluşmuştur. Bu nedenle, türbin işletmesini sabit şartlar altında tutmak için, yeni buhar kullanıcılarına ihtiyaç duyulmuştur. Daha önceleri, –28 °C sıcaklıkta soğutma sağlamak için yedi adet elektrikle işleyen kompresörlü soğutucu kullanılmaktayken, 1400 kW gücündeki soğutma kapasiteli absorpsiyonlu soğutma tesisinin montajı ile birlikte kompresörlerden

altı tanesinin devre dışı tutulması sağlanmıştır. Yedinci halen maksimum yükleri karşılamak için kullanılmaktadır.

Atık gaz, trijenerasyon ünitesindeki absorpsiyonlu soğutma sistemini çalıştırmak için kullanılan tek enerji kaynağı değildir. 100 °C'den büyük herhangi bir ısı kaynağı, absorpsiyonlu soğutucu sisteminin çalıştırılması için kullanılabilir.

Kimyasal tesislerde, proses sonucunda ortaya çıkan ısı, absorpsiyonlu tesislerde ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Bu yolla, daha düşük sıcaklıkta soğutma sağlanmasıyla, tesisin ömrü boyunca karlı olabileceği kanıtlanmıştır (Öztürk 2001).



6. KOJENERASYONUN EKONOMİK VE ÇEVRE AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. Kojenerasyonun Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi

Kojenerasyon sistemleri, sistemin ekonomikliğı, teknik açıdan toplam sistem verimliliğı ve kullanıcının gereksinimleri dikkate alınarak, uygun bir şekilde seçilmelidir. Kojenerasyon oldukça büyük bir yatırım olduğı için sistemin fizibilitesinin çok ayrıntılı olarak yapılması gerekir (Gülşen ve Koçak 1998).

Kojenerasyonun ekonomik olarak elverişli olması, elektrik ve kullanılacak yakıtın maliyetine bağlıdır. Sayıları artan birçok örnekte, gaz türbinli kojenerasyon tesisinin riskinin düşük olduğı ve ilk yatırımı kısa sürede amorti ettiğı görölmektedir.

Bir kojenerasyon tesisinden yıl içerisinde tamamen yararlanabilmek için potansiyel kojenerasyon seçenekleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır (Payne 1997):

- İşletmenin elektrik ihtiyacını karşılamalıdır.
- İşletmenin temel olarak ısı ihtiyacını karşılamalıdır.

Kojenerasyon sistemi, yalnızca maksimum yükleri karşılayacak şekilde dizayn etmek ekonomik değildir. Uygulanabilir projeler şu özelliklere sahip olmalıdır:

- Zaman zaman maksimum kapasite ile beraber ortalama talebi karşılamalıdır.
- Düşük kapasitede çalıştırıldığında, işletmenin ihtiyaç duyduğu enerjiyi karşılamalıdır.

Kojenerasyon tesisinin, kısmi yük ile çalıştırılmasından kaçınılmalıdır.

6.1.1. Kojenerasyonun avantajları

Kojenerasyonun ülke ekonomisi açısından avantajları şunlardır;

- Kojenerasyon, birincil enerji kaynağı kullanımında yüksek verimlilik sağlayarak yerel veya ithal enerji kaynaklarında tasarruf sağlar.

- Enerji üretiminin, tüketim yerinde gerçekleştirilmesi sonucunda elektrik enerjisi iletim ve dağıtım kayıplarının önüne geçilir (Tolmasquim ve Szklo 2001).
- Kojenerasyon tesisinde, üretilen yararlı ısı enerjisi ve elektrik enerjisi için çevreye atılan katı, sıvı ve gaz madde miktarı, yalnız elektrik üreten merkezi enerji santrali veya yalnız buhar üreten bir endüstri kazanına göre, daha azdır.
- Sanayi tarafından tüketilen elektrik enerjisinin az sayıda merkezi santral yerine, dağılmış şekilde endüstriyel tüketim yerlerinde üretilmesi ulusal güvenlik sağlar (Tüten 1988).

İşletme bazında sağladığı avantajları şunlardır;

- İşletmenin azalan toplam enerji giderleri, nihai ürün kalitesini düşürmeden maliyeti azaltarak, şirketin rekabet gücünü artırır (Minett 2000).
- İşletmenin enerji ihtiyacı güvence altına alınarak, üretimin durması önlenir (Tüten 1988).

Kojenerasyon tesislerinin diğer avantajları şöyle sıralanabilir:

Konvansiyonel termik santrallere göre tesisin inşaat süresi daha kısadır. Modüler yapısı daha basit olan kombine çevrim santrallerinin işletilmesi daha kolaydır. Bundan dolayı, işletme için personel ihtiyacı daha az olmaktadır.

Santralin bütünü için ihtiyaç duyulan alan, konvansiyonel termik santrallerden daha küçüktür. Örneğin; kül stok sahası hariç santral ana yapıları, ve kömür park sahası için 4x340 MW'lık Afşin-Elbistan Santrali'nde yaklaşık 120 hektar kullanılırken, 3x450 MW'lık Ambarlı Kombine Çevrim Santrali'nde santral ana yapıları, yerleşim alanı ve fuel-oil arıtma sistemi dahil yalnızca 23 hektar kullanılmıştır (Sınar1998).

Gaz türbinli kojenerasyon santrali, 15-20 dakikada tam yüke ulaşarak konvansiyonel santrale göre daha çabuk devreye girer.

Kojenerasyon tesisleri, küçük yerleşim alanı ihtiyacı nedeniyle istenirse şehir merkezlerinin çok yakınında kurulabilme olanağı vardır.

Birleşik ısı güç sistemi, % 80 ve üzerinde bir verime sahiptir. Gaz türbin esaslı birleşik ısı güç santrallerini, fosil yakıtlı veya buhar kazanlı sıradan

sistemlerle karşılaştırdığımızda, gaz türbinli sistemlerin yaklaşık % 30 daha az ana enerji kaynağına ihtiyacı olduğu gözlemlenmiştir (Ateş 1994; Mohanty 2001).

Kombine çevrim santralinde, konvansiyonel bir termik santrale göre yaklaşık % 60 daha az soğutma suyuna ihtiyaç vardır.

Elektrik iç ihtiyaç oranı, üretilen elektriğin tesis içindeki kullanım oranı olup, kojenerasyon tesislerinde düşüktür. Konvansiyonel kömürlü termik santrallerinde elektrik iç ihtiyaç oranı % 9-10 iken doğal gaz kombine çevrim santrallerinde % 1.4-1.8 arasındadır (Sınar 1998).

Kojenerasyon tesislerinde, çoklu yakıt yakma sistemleri sayesinde doğal gazın bulunmadığı anlarda diğer yakıt türleri ile doğal gaz işletme moduna göre düşük verim ve yük ile üretimi sürdürme olanağı vardır.

Doğal gaz kullanılan kojenerasyon tesislerinde, yakıt stoklamaya ve bununla ilgili yatırıma ihtiyaç yoktur.

Doğal gaz kombine çevrim santralleri, konvansiyonel termik santrallere göre çevreye çok daha az negatif etkilidir. Zararlı emisyon değerleri, çevre mevzuatlarında istenilen limitlerin çok altındadır. Kömürlü termik santrallerde karbondioksit emisyonu, doğal gaz kombine çevrim santrallerine göre iki kat daha fazladır. Doğal gazda, kükürt olmadığından kükürt dioksit emisyonu ve kül olmadığından da partikül emisyonu yoktur. Doğal gazdaki azot miktarı, çok düşük olduğundan doğal gaz kombine çevrim santrallerinde oluşan NO_x emisyonu ısı reaksiyon kökenlidir ve % 3 oksijen değerine göre en fazla 250-300 mg/kWh değerine ulaşmaktadır. Çizelge 6.1’de, aynı güçteki iki farklı tip santralin emisyon yönünden karşılaştırılması yapılmaktadır (Sınar 1998).

Çizelge 6.1 Aynı güçteki iki farklı tip santralin emisyon yönünden karşılaştırılması (Sınar 1998)

Birim	600 MW Doğal gaz yakıtlı kombine çevrim santrali	600 MW kömür yakıtlı klasik buhar santrali
Verim %	53	42
CO ₂ (g/kwh)	375	830
NO ₂ (mg/kWh)	125-300	600
CO (mg/kWh)	33	75

6.1.2. Kojenerasyonun önemli teknik parametreleri

Kojenerasyon sistemi seçilirken pek çok parametre göz önüne alınmalıdır. Farklı kojenerasyon sistemlerinin seçiminde teknik parametreler yardımcı olur.

6.1.2.1. Isı güç oranı

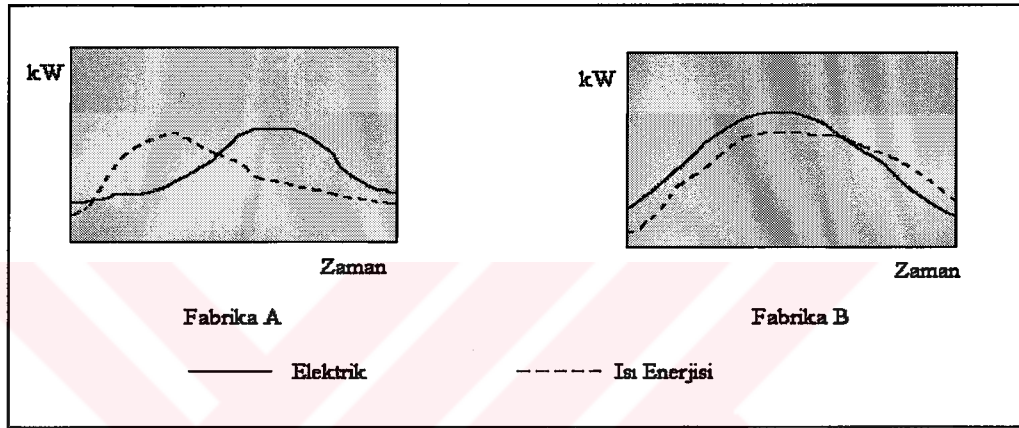
Isı güç oranı, tesisin ihtiyacı olan ısı enerjisinin elektrik enerjisine oranıdır. Isı güç oranı, kojenerasyon sisteminin seçimine etki eden en önemli teknik parametrelerden biridir. Tesisin ısı güç oranı, kurulacak olan kojenerasyon sisteminin ısı güç oranı ile karşılaştırılmalıdır. Pistonlu motorda ısı güç oranı 1.1-2.5 arasındadır. Ayrıca, kojenerasyon amaçlı birleşik çevrimlerin ısı güç oranı da düşüktür. Eğer, gerekli ısı miktarı elektrik talebine oranla yüksek ise, genellikle buhar türbinleri veya ard yanmalı gaz türbinleri kullanılır (Ağabay 1993b).

Kojenerasyon santralinin ürünleri, elektrik, proses buharı ve ısıtma buharıdır. Kojenerasyon sahibi, bu üç ürüne olan talebi ayrı ayrı tespit eder. Ürünlerden herhangi birisi tesisin talebini tam olarak karşılarken diğer talepler tam olarak karşılanmayabilir veya fazla üretim olabilir. Bu durumda, talep noktalarından birisinin tam olarak karşılanacağı model tanımlanır. Talebi karşılamayan ürün bir başka kuruluştan ithal edilebilmeli, fazla üretilen ürün bir başka kuruluşa ihraç edilebilmelidir. Bir kojenerasyon santralinin öncelikli ürünü, proses buharı olmalıdır. Çünkü proseste kullanılan yüksek basınç ve sıcaklıktaki buharın özelliğini sabit tutmak çok zor, hatta olanaksızdır. Çizelge 6.2’de, kojenerasyon sistemlerinin ısı güç oranı ve toplam verimi gösterilmektedir (Mohanty 2001).

Çizelge 6.2 Kojenerasyon sistemlerinin ısı güç oranları ve verimleri (Mohanty 2001)

Kojenerasyon Sistemleri	Isı Güç Oranı (kW _{th} / kW _e)	Güç Çıkışı (Sisteme giren yakıtın %)	Toplam Verim (%)
Karşı Basınç Türbini	4.0-14.3	14-28	84-92
Ara Buhar Almalı Yoğuşmalı Türbin	2.0-10.0	22-40	60-80
Gaz Türbinli	1.3-2.0	24-35	70-90
Birleşik Çevrim	1.0-1.7	34-40	69-83
Piston Motorlu	1.1-2.5	33-53	75-85

Şekil 6.1’de iki tesisin yük modelleri gösterilmiştir. İki tesisin de farklı büyüklükte ve çeşitte kojenerasyon sistemi seçtiği görülmüştür. Eğer, yük eğrisi; günün, haftanın, yılın çeşitli zamanlarında çok dengesiz oluyorsa, bu yük eğrisini birden fazla aralığa bölerek, tüketim birden fazla modül ile karşılanır. Örnek olarak, gün içinde 400 kW, gece ise 200 kW elektrik enerjisi ihtiyacı olan bir hastanenin elektrik tüketimini karşılamak üzere, 200 kW’lık iki tane pistonlu motor kullanmak çalışma şeklinin daha verimli olması sağlayacaktır (Mohanty 2001; Gülşen ve Koçak 1998).



Şekil 6.1 Farklı iki fabrika için ısı ve elektrik yükü modeli (Mohanty 2001)

6.1.2.2. Isı enerjisinin kalitesi

Isı enerjisinin kalitesi, gerekli olan buhar veya gazın, sıcaklık ve basınç değeridir. Isı enerjisinin kalitesi, kojenerasyon sisteminin seçiminde önemli bir faktördür. Şeker üretimi için gerekli sıcaklık değeri 120 °C civarında olduğundan bu tesislere öncelikle elektrik enerjisi üretim çevrimi önerilirken, 1450 °C civarında sıcaklık gerektiren çimento tesisleri gibi tesislere de öncelikli ısı enerjisi üretim çevrimli sistem önerilir.

Kojenerasyon santralının ürünlerini kullanacak olan sektörler ve her bir sektörün bu ürünleri kullanacağı alanlar belirlenmelidir. Örneğin; tekstil sektöründe, iplik terbiyesi için 8 bar basınç ve 170 °C sıcaklıkta proses buharı; gıda sektöründe, konserve fabrikası için 5 bar basınç ve 155 °C sıcaklıkta proses buharı ile 3 bar basınç ve 135 °C sıcaklıkta alan ısıtma buharı; servis sektöründe, bir ticaret merkezinin ısıtılması için 6 bar basınç ve 160 °C sıcaklıkta buhar gerekir. Tüketicilerin, elektrik güç talebi de tespit edilmelidir. Bundan başka,

kojenerasyon ürünlerinin tüketiminde beklenen artış hızı, bu ürünlerin üretim maliyetleri ile hangi enerji kaynağından elde edilecekleri tespit edilmelidir (Bayrak 1998).

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, bilgisayar, vs.) frekans ve gerilim değerlerinin toleransı çok azdır. Tesiste bu türden sorunlar varsa, kojenerasyon bu kuruluş için kaçınılmaz olur. Tolerans miktarı azaldıkça, sistem seçimi pistonlu motordan gaz türbinli sisteme doğru kayar (Gülşen ve Koçak 1998).

6.1.2.3. Yakıtların kullanılabilirliği

Yakıtların kullanılabilirliğine bağlı olarak bazı kojenerasyon sistemleri tercih edilmeyebilir. Yakıtın elde edilebilirliği, maliyeti, uzun dönem tedariki ve atık ürünlerin yakıt gibi kullanılması ana güç kaynağının seçimini etkileyen önemli bir faktördür. Ana güç kaynakları farklı yakıtlar ile çalıştırıldığından, yakıt değişikliği göz önünde tutulabilecek bir seçenek olabilir. Bu, rekabet içerisindeki kojenerasyon sistemlerinin seçiminde önemli faktördür.

Kojenerasyon sistemlerinde birden fazla, örneğin iki veya üç yakıtlı sistem kullanılabilir. Bazı tesislerde ise kojenerasyon sistemi doğrudan yakıttan yola çıkılarak seçilir. Çöplük gazı ve arıtma gazı ile çalışan sistemler bunlara örnek verilebilir. Bu tesislerde, birincil enerjinin işletme maliyeti sıfır olacağından, özellikle arıtma tesisi bulunan kuruluşlar için kojenerasyon sistemi çok cazip hale gelmektedir.

Türkiye için özellikle doğalgaz kullanılan yerlerde sistem çok ekonomik olmaktadır. Doğal gaz kojenerasyon sistemleri, ilk tesis ve kuruluş maliyetini üç yıl hatta daha kısa sürede amorti edebilmektedir.

Kullanılmak istenen yakıt türü sayısı arttıkça seçilen sistem gaz türbinine doğru yönelmektedir. Endüstriyel gaz türbini, uçak türevli gaz türbinine göre daha fazla tür yakıt yakabilme özelliğine sahiptir (Gülşen ve Koçak 1998).

6.1.2.4. Sistemin güvenilirliği

Enerji tüketen tesisler güvenilir ısıya ve güce ihtiyaç duyar. Kojenerasyon tesisinin dizaynında, gelecekteki olası enerji talebi göz önüne alınmalıdır. Bu, uygun ekipmanın seçimine ve ihtiyaç durumunda yapılacak değişikliklere göre yapılan planlara yardımcı olur.

Tesiste, devamlı çalışma aktivitesi için yardımcı güç gerekebilir. Bunun için, ek yatırım yapılarak ilave bir üretim tesisi kurulabilir. Alternatif olarak, kamu elektrik üretim şirketi ile yedek bir anlaşma yapılabilir. Böylece, kojenerasyon tesisi her durduğunda şebekeden kontratta talepte bulunulan elektrik kullanılabilir (Mohanty 2001).

6.1.2.5. Elektrik alımı ve satımı

Kojenerasyon sistemi kurulurken yerel elektrik dağıtım kuruluşunun otoprodüktörlerden elektrik satın alıp almadığı dikkate alınmalıdır. Eğer, elektrik alımı söz konusu ise kojenerasyon sisteminin tipi ve büyüklüğü farklı olmalıdır (Mohanty 2001).

Kojenerasyon sistemi, tesisin hem elektrik hem ısı talebini karşılayacak şekilde kurulabilir. Yerel güç şebekesi, tesiste üretilen fazla elektriğin satılmasına izin verdiğinde, alım satım oranlarının kojenerasyon tesisindeki fazla üretimi yeterince cazip kılacak ölçüde olması gerektiğine dikkat edilmelidir.

Tesisin ısı ve elektrik yükü, zamanla değiştiğinde kojenerasyon sistemi, eksik elektrik ihtiyacını karşılayabilmek için şebekeden elektrik satın alabilir. Benzer şekilde, herhangi bir ısı enerjisi eksikliği, gaz türbin veya pistonlu motordaki egzoz gazının sistemde yakılmasıyla ya da ek kazanlar gibi yardımcı kaynaklar vasıtasıyla karşılanabilir.

6.1.2.6. Bölgesel çevre kuralları

Bölgesel çevre kuralları, kojenerasyon tesisi için gerekli yakıtların kullanımını sınırlayabilir. Eğer, bölgesel çevre kuralları çok katı ise kullanılacak bazı yakıtlar değerlendirmeye alınmaz (Mohanty 2001).

6.1.3. Kojenerasyonun ekonomik analizinde anahtar parametreler

Kojenerasyon tesisinde, işletme maliyeti ve tesis yatırımından daha yüksek düzeyde gelir elde edilirse ve farklı formda enerji üretilirse ekonomik olduğu düşünülebilir. Bazı durumlarda, fazla elektrik ve ısıdan satışından gelir elde edilir.

Kojenerasyon projesinin ekonomik sürecinde aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır (Mohanty 2001):

- İlk yatırım,
- İşletme ve bakım maliyeti,
- Yakıt maliyeti,
- Satın alınan ve satılan enerji maliyeti.

6.1.3.1. İlk yatırım

İlk yatırım, kojenerasyon tesisinin maliyetini içeren çok önemli bir değişkendir. Başlangıçta, ön mühendislik ve planlama maliyeti dikkate alınmalıdır. Birkaç istisna durum haricinde otoprodüktör, ekonomik analiz için elde bulundurulmuş uygun alternatifleri tanımlamadan önce projenin teknik fizibilitesinin tamamlanması için bir danışman firmadan yardım alabilir. Kojenerasyon teçhizatının ithal edilmesi gerekiyorsa, geçerli olan vergiler, teçhizat maliyetine ilave edilmelidir. Bir işletme sahibi, kojenerasyon tesisinin parçalarını farklı imalatçılardan satın alabilir. Bu durumda, mekanik ve elektrik işleri, elektrik bağlantısı, yoğunlaştırıcı, soğutma kulesi ve kontrol teçhizatı gibi yardımcı parçaların oluşturacağı maliyet, ilk tesis ve kurulum maliyeti içerisinde yer almalıdır (Gülşen ve Koçak 1998; Sycom 1999).

Kullanılan alan maliyeti, kojenerasyon tesisi özellikle şehir içinde bir bölgede hizmete sokulacaksa veya yakıtın depolanması ve kullanımı için ek alan gerekliyse önemli bir faktör olabilir.

6.1.3.2. İşletme ve bakım maliyeti

İşletme ve bakım maliyeti, kojenerasyon tesisinin işletilmesindeki doğrudan ve dolaylı maliyetleri içermelidir. Örneğin; servis, ekipman bakım-

onarımı, parça değişimi gibi. Ayrıca, yeni bir tesisin çalıştırılması için ek personel ihtiyacının oluşturacağı maliyete ilaveten eğitim giderleri de dikkate alınmalıdır. Yıllık maliyetler, kojenerasyon tesisine bağlı olarak oluşur. Örneğin, sigorta maliyeti ve varlık vergileri, analizler içerisinde yer almalıdır. Bunlar, genellikle başlangıç yatırımının sabit bir yüzdesi olarak hesaplanır.

6.1.3.3. Yakıt maliyeti

Yakıt maliyeti, işletme maliyetlerinin en büyük parçasını oluşturabilir. Kojenerasyon tesisi uzun bir süre için çalıştırılması düşünüldüğü için, zaman içerisinde yakıt fiyatlarındaki yükselme gerçekçi olarak göz önünde tutulmalıdır.

6.1.3.4. Satılan ve satın alınan enerji maliyeti

Satılan ve satın alınan enerji fiyatları, önemli parametredir ve zamana bağlı tarife, yedek fiyat, elektriğin alım satım oranlarını ve benzeri durumları içerir. Yakıta bağlı olarak, elektrik fiyatlarında zamanla artış için bir koşul madde olmalıdır. Bu durum özellikle, güç üretiminin ciddi şekilde yakıta bağlı olan yerlerde önemlidir.

6.1.4. Kojenerasyon tesislerinin kurulması

Bir kojenerasyon tesisinin kurulmasına karar verildikten sonra, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ile yatırımcı işletme arasında yapılması gereken resmi işlemler kısaca aşağıda belirtilen sıra ile gerçekleşmektedir.

Yatırım kararı alındıktan sonra öncelikle ETKB'na kurulması düşünülen tesisle ilgili bilgiler içeren bir ön başvuru yapılır. Bu başvuru üzerine ETKB başvuru sahibinden tesis için bir ön fizibilite raporu ister. Daha sonra, Bakanlık bu ön fizibilite raporunu görüşlerini almak üzere TEDAŞ, TEAŞ ve tesiste yakıt olarak doğalgaz kullanılacaksa BOTAŞ gibi ilgili kuruluşlara gönderir. Bu kuruluşlardan, yatırımın olumlu olduğuna yönelik bir sonuç gelirse Bakanlık bu kez başvuru sahibinden tesisin mimari, inşaat, makine ve elektrik özelliklerini içeren komple bir proje ister. Ayrıca, Bakanlık tesisin onaylanması durumunda elektriğin satılabilmesi için TEDAŞ ile elektrik satış anlaşması yapılmasını da ister. Bundan sonraki aşamada, incelenmek üzere Bakanlığa gelen proje uygun bulunduğu takdirde tasdik edilir. Bakanlıktan bir kabul heyeti tesise gelerek

gerekli incelemeyi yaptıktan sonra bütün şartlar olumluysa tesis için işletme izni verir. Bu aşamadan sonra, tesis yapımına başlanabilmesi için ilgili kurum ve kuruluşlarla gerekli izinlerin alınması ve anlaşmaların yapılması çalışmalarına başlanması gerekir (Uludağ 2002).

6.4.1.1. Ön başvuru raporu

Kojenerasyon tesisinin kurulabilmesi için ETKB'na gönderilecek olan ön başvuru raporunda bulundurulması gereken bazı hususlar vardır. Bu raporda şunların bulunması gerekir (Uludağ 2002):

1. Başvuru dilekçesi,
2. Tesisin ne gibi araç ve gereçlerle gerçekleştirileceği ve tesiste kullanılacak teknolojiyi içeren tesis hakkındaki genel bilgiler,
3. 1 / 25000 ölçekli harita üzerinde işaretli santral yerleşim planı,
4. Tesisin yapımına iştirak eden ortakların sayısı, açık listesi ve adresleri,
5. Tesisten elektrik enerjisi alacak diğer kuruluşların isimleri ve adresleri,
6. Tesisin üreteceği, satacağı veya satın alacağı elektrik enerjisi ile güçlerini gösteren tablo,
7. Yatırımın tutarı, tahmini gerçekleşme süresi ve tesisin işletileceği süre,
8. Tesisin bağlı olduğu elektrik şebekesini de içine alan basitleştirilmiş elektrik şebeke bağlantısı ve tek hat şeması.

6.4.1.2. Ön fizibilite çalışması

Bir tesiste kojenerasyon uygulamasının ön fizibilitesinin yapılması için ana enerji girdilerinin ve ilgili bilgilerin yerinde incelenmesi gerekir. Ön fizibilite çalışmasının en önemli nedeni, kurulacak sistemin geri ödeme süresinin hesaplanmasıdır. Genel kabul ise bu sürenin üç yılın altında çıkıp çıkmadığıdır. Özel durumlar hariç, basit ödeme süresi üç yılın altında çıkan tesisler için kojenerasyon değerlendirme kriterlerine göre doğru olacağı gerçeğidir (Türkel 2002).

ETKB'na yapılan başvurunun ardından Bakanlık tarafından yatırımcıdan istenen ön fizibilite raporu içerisinde şu bilgilerin bulunması gerekir.

- Seçilen bölgeye uygun olarak belirlenen ekipmanların listesi,
- Kurulacak üretim tesisinin teknik modellendirilmesi,
- Finansal analizlerinin yapılması,
- Yatırım maliyetinin belirlenmesi,
- Yatırım finansman modellerinin değerlendirilmesi,
- İşletme gelir ve giderlerinin belirlenmesi,
- Gelir tablosunun hazırlanması,
- Nakit akım tablosunun hazırlanması,
- Net bugünkü değer ve iç verimlilik oranının tespiti.

6.4.1.3. Fizibilite çalışması

Ön fizibilite çalışması, uygulanabilir çıkan tesisler için bu çalışmalar fizibilite raporu hazırlanacak seviyeye çıkartılır. Fizibilite raporları sonucunda oluşacak geri ödeme süreleri ve diğer finansal metotlar, bir kojenerasyon tesisi için bulunabilecek en önemli yatırım kriterini oluşturur (Türkel 2002).

Türkiye'de özel hukuk hükümlerine tabii yerli ve yabancı sermaye şirketlerine elektrik enerjisi üretim tesisi kurma ve işletme izni verilmesine dair esas ve usulleri belirleyen 85 / 9799 sayılı yönetmelik, böyle bir tesis kurulması durumunda hazırlanması gereken fizibilite raporunun içeriğinde ne tür bilgiler olması gerektiğini de belirlemiştir. Yönetmelikte hidroelektrik, termik, jeotermal, rüzgar ve güneş enerjisi santralleri için hazırlanması gereken fizibilite raporlarında yer alacak ana başlıklar belirlenmiştir. Bir kojenerasyon santrali kurmak için hazırlanması gereken fizibilite raporu ise buna en yakın olan termik santraller için belirlenen fizibilite raporu esas alınacak biçimde hazırlanır.

Kojenerasyon tesisi için hazırlanması gereken fizibilite raporunun içeriğinde şu bilgiler yer almaktadır (Uludağ 2002):

Proje Teknik Bilgileri

- Ekipman listesi,
- Ekipman yerleşim planı,
- Termal enerji dağıtım planı,

- Kısa devre hesapları,
- Tek-hat şeması,
- İşletme giderleri analizi,
 - Yakıt kullanımı,
 - Sarf malzemelerinin kullanımı,
 - Gerekli personel sayısının tespiti,
 - Elektrik hatları ile satılacak elektrik miktarının tespiti,
 - Bakım şartlarının ve giderlerinin belirlenmesi,

Proje Finansal Bilgileri

- Yatırım tutarının, dış ve yerli kısmının belirlenmesi,
- Nakit / kredi oranının belirlenmesi,
- Finansman modellerinin ve kredi şartlarının analizi,
- Maliyet kalemlerinin analizi,
- İşletme gelir ve giderlerinin belirlenmesi,
- Amortisman ve yatırım indirimi hesapları,
- Gelir tablosu hazırlanması ve vergi hesapları,
- Nakit akım tablosu hazırlanması,
- Net bugünkü değer ve iç verimlilik oranının tespiti,

Yakıt Bilgileri

- Seçilen ana ve yedek yakıt ile ilgili teknik bilgiler,
- Yakıt tedarik planlaması,

Arazi Bilgileri

- Arazinin yapısı ile ilgili bilgiler,
- Arazinin tedarik şartları,

Çevre Etki Değerlendirme Raporu Bilgileri

- Projenin tanıtımı ve amacı,
- Proje için seçilen yerin konumu,
- Projenin ekonomik ve sosyal boyutları,
- Projeden etkilenecek alanın belirlenmesi ve bu alan içindeki mevcut çevresel özelliklerin açıklanması,

- Projenin tanımlanan alan üzerindeki etkileri, sıvı, katı ve gaz atıklar bilgileri ve alınacak önlemler,
- İşletme faaliyete kapatıldıktan sonra olabilecek ve süren etkiler ve bu etkilere karşı alınacak önlemler,
- Projenin alternatifleri,
- İzleme programı,
- Sonuçlar.

85 / 9799 sayılı yönetmelikle belirlenen termik santraller için hazırlanan fizibilite raporu örneği ise Ek-1'de görülmektedir. Fizibilite raporunun, ETKB tarafından onaylanmasından sonra yapılacak işlem, gerekli yerlerden tesisin yapımıyla ilgili izinlerin alınması ve resmi kurumlarla sözleşmelerin imzalanmasıdır.

6.4.1.4. Kojenerasyon tesisi için alınması gereken izinler

Kojenerasyon tesisinin kurulabilmesi için çeşitli resmi kurumlardan birtakım izinlerin alınması gereklidir. Bu izinler olmadan kojenerasyon tesisinin inşası mümkün değildir. Bu izinlerin neler olduğu ve hangi kurumlardan alınacağı aşağıda belirtilmiştir.

- 300 MW üzeri tesisler için ÇED (Çevresel Etki ve Değerlendirme) raporu,
- 300 MW altı tesisler için ön ÇED raporu,
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığından tesis kurma izni (Üretim tesisi ile ilgili her detay projenin Bakanlık tarafından onaylanması),
- Çalışma Bakanlığından tesis kurma izni,
- Sıvı yakıt için Petrol İşleri Genel Müdürlüğü'nden depolama ve yakıt ithalat izni,
- Yer seçim izni (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı),
- Deşarj izni (Çevre Bakanlığı),
- Emisyon izni (Çevre Bakanlığı),
- Tatil günleri çalışma ruhsatı (Çalışma Bakanlığı),
- Fazla mesai yapma izni (Çalışma Bakanlığı),
- İtfaiye raporu,

- Gayri sıhhi müessese ruhsatı (Çevre Bakanlığı),
- Periyodik kontrol raporları (yetkili firma),
- İnşaat ruhsatları (Belediye),
- İskan (Belediye).

6.4.1.5. Kojenerasyon tesisi için yapılan sözleşmeler ve alınan teşvikler

Kojenerasyon tesisi için gerekli izinlerin alınmasından sonra yapılacak işlem, ilgili resmi kurumlarla gerekli sözleşmelerin imzalanmasıdır. Fizibilite raporunun ETKB'na sunulmasından sonra ETKB, TEAŞ, TEDAŞ, BOTAŞ, TPAO gibi ilgili kuruluşlardan tesis hakkındaki görüşleri alınır. Bunun ardından ETKB ile sözleşme görüşmeleri yapılarak sözleşme imzalanır. Bakanlık ile yapılan sözleşmenin ardından ise TEAŞ, TEDAŞ, BOTAŞ ve TPAO gibi idareler ile görüşmeler yapılarak bunlarla da gerekli sözleşmeler imzalanır.

Bu sözleşmelerin ardından, hazineye başvurularak yatırım bilgi formuyla birlikte ithal ve yerli global listeler, proforma faturalar ve Merkez Bankası fon makbuzu gibi diğer belgeler teslim edilir ve teşvik belgesi alınır (http-5).

6.4.1.6. Kojenerasyon tesisinin ihale, inşaat, montaj ve işletmeye alınması

Kurulum için gerekli resmi prosedürler tamamlandıktan sonra, Bakanlık tarafından verilen izin yazısındaki şartlar dikkate alınarak, projenin ön mühendislik işlerinin revizyonu ve temel özellikleri belirlenir. Bu şartlar, dikkate alınarak ihale şartnameleri hazırlanır. Tekliflerin alınması ve değerlendirilmesinin ardından, müteahhit firma ile sözleşme imzalanarak tesisin projelendirilmesi yapılır. Müteahhit firmanın hazırlayacağı projeler ile diğer inşaat, elektrik ve koruma projelerini içeren, uygulama projeleri dosyası onaylanması için ETKB'na gönderilir. ETKB'nın onayından sonra imalat, inşaat ve montaj işleri gerçekleştirilir. Bakanlık başkanlığında, tesis fonksiyon ve performans testleri yapılarak geçici kabul işlemleri tamamlanır ve Bakanlıktan işletme izni alınarak ticari işletmenin başlaması sağlanır.

Kurulacak tesis bir taraftan ortaklarının tesislerine, diğer taraftan da mevcut ya da yenilenecek bağlantı ile TEAŞ, TEDAŞ veya görevli şirketlerin sistemlerine

bağlanacaktır. Böylece, tesisin bakım veya diğer nedenler ile durması halinde firma elektrik ihtiyacını diğer taraftan sağlayabilecektir.

Otoprodüktör şirketi ortaklarının tesise doğrudan bağlanması mümkün değilse, üretilen elektrik enerjisinin TEAŞ, TEDAŞ veya görevli şirketlerin iletim ve dağıtım tesislerini kullanarak uzaktaki ortaklara nakli mümkündür. Bu durumda, nakledilen elektrik enerjisi miktarı üzerinden, dağıtım veya iletim tesislerinin kullanılması ve mesafeler dikkate alınarak sanayi tarifesinin % 3'ü ile % 17'si oranında nakil bedeli ödenir (Akar 1994).

6.1.5. Örnek bir proje çalışmasında maliyetlerin analizi

6.1.5.1. İncelenen gaz türbinin teknik özellikleri

Trakya Tekstil Anonim Şirketi'nin Lüleburgaz'daki tesisinde kurulmuş olan, 4.7 MW gücündeki gaz türbini ve 1 MW gücündeki pistonlu motordan oluşan kojenerasyon sistemi incelenmiştir.

Türbin start sistemi hidroliktir. Türbine start verildiğinde, ön yağ yağlamadan sonra sistem % 30 kapasitede çalışırken yakıt da devreye girer. Yanan ve genişleyen hava-yakıt karışımı, türbin kanatçıklarına çarparak türbin hızının artmasına neden olur. Sistem % 65 kapasitede çalışırken, hidrolik start pompası devreden çıkar ve sadece hava-yakıt karışımıyla türbin tam kapasiteye (% 100) ulaşır. TREDAS (Trakya Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi) ulusal şebekesiyle senkrona girildikten sonra tam yüke geçilir. Tam kapasitede, 15 °C çevre sıcaklığında 4700 kW/h elektrik üretebilmek için 14.5 bar basınçta 1425 m³/h doğalgaz, 70 bar basınçta 1300 kg/h dizel veya 1185 kg/h LPG ve kompresör tarafından 10.8 bar sıkıştırılan 57500 m³/h hava kullanılmaktadır. Türbin hızı 14944 d/d'dır. Türbin şaftına bağlı dişli kutusunda bu yüksek hız 1500 d/d düşürür. Jeneratörün 6.3 kV 50 Hz de elektrik üretmesi sağlanır.

Maksimum yanma odası sıcaklığı 675 °C iken, egzoz gazı sıcaklığı 565 °C' dir. 167040 m³/ h debide ve 106.7 m/sn hızındaki egzoz gazı, atık ısı kazanına girer ve 90 °C' de kondanser besleme suyunu ısıtarak 8 bar basınçta 11 t/h debide buhar üretilmesini sağlar. Kazan girişinde ve bypass bacası girişinde emniyet klapeleri mevcuttur. Kazan basıncı yükseldiğinde veya kazanda bir arıza meydana geldiğinde kazan klapesi kapatılıp bypass klapesi açılarak türbinin elektrik üretimine devam edilir.

Türbinin ana yakıtı doğalgazdır. Doğalgaz basıncında meydana gelebilecek ani değişikliklerde, otomatik yakıt değişimi yapılmakta ve dizel yakıtı geçilmektedir. Bu şekilde, elektrik üretiminin durması engellenmektedir. İstenildiğinde, manuel olarak LPG veya doğalgaza geçilebilmektedir.

Türbinin üretim performansı çeşitli kriterlere bağlıdır. Bunlar; ortam sıcaklığı, giriş ve çıkış kayıpları, deniz seviyesinden yükseklik ve kompresör basıncının düşmesi gibi kriterlerdir. Türbin -10°C 'de 5505 kW elektrik üretirken, $+40^{\circ}\text{C}$ 'de 3800 kW elektrik üretebilmektedir. Bu nedenle, sıcak yaz aylarında daha fazla elektrik üretebilmek için türbin yanma havasına giren havanın sıcaklığının düşürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla, kompresör hava filtresinin önüne içinden 20°C 'de kuyu suyu geçecek olan serpantinler yerleştirilmiştir. Böylece, hem daha fazla enerji üretilcek hem de üretim kaybı azaltılacaktır. Çizelge 6.3'de incelenen gaz türbinin ekonomik analizi gösterilmektedir (Tekkeli 2000).

Çizelge 6.3. İncelenen gaz türbinin maliyet analizi (Tekkeli 2000)

Sistemin ilk yatırım maliyeti (Türbin, jeneratör, atık ısı kazanı, trafolar, orta ve alçak gerilim tesisleri, inşaat maliyeti, montaj ve devreye alma...)	\$ 3000000
Senelik yakıt maliyeti	\$ 2100000
Senelik bakım masrafı (Yılda iki kez yağ ve yakıt filtrelerinin değişimi, sensörlerin kalibrasyonlarının yapılması, gerekiyorsa yağ ilavesi veya değişimi)	\$ 150000
Üretilen elektrik enerjisinden senede elde edilecek kar	\$ 2400000
Üretilen ısı enerjisinden senede elde edilecek kar	\$ 1435000
Amortisman Süresi	1.8 yıl
Türbin toplam verimi	% 90.4
1 kWh elektriğin maloluş fiyatı	\$0.0518

6.2. Kojenerasyonun Çevre Açısından Değerlendirilmesi

Sanayi ve binalarda ısı veya proses buharı elde edilirken, termik ve kojenerasyon santrallerinde elektrik üretilirken atmosfere atılan kükürt oksit (SO_2), azot oksit (NO_2), karbondioksit (CO_2), karbon monoksit (CO) ve partikül maddeler çevre kirliliğine neden olur. Yanma sonucu oluşan kirletici emisyonlar; kullanılan yanma ünitesi boyutuna, yakma yöntemine, kullanılan teknolojiye, yakıtın bileşimine, kullanılan kontrol yöntemlerinin etkinliğine ve işletme biçimlerine bağlı olarak değişmektedir.

Özel önlemler alınmaması durumunda fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan kükürt oksit miktarı, yakıtın yanan kükürt içeriği ile doğru orantılı olarak değişir. Kükürt içeriği yüksek olan yakıtların yakılması sonucu önemli ölçüde kükürt dioksit emisyonu oluşmaktadır.

Enerji tesislerinden atmosfere verilen kükürt oksit, su ile birleşerek sülfürik asit oluşturur. Kükürt oksidin sudaki çözünürlüğü yüksek olduğu için yağmur damlacıkları ile birleşerek asit yağmurları olarak yeryüzüne ulaşır. Asit yağmurlarının, bitkilerde yaprak dökülmesine, toprağın, yer altı ve yer üstü sularının kirlenmesine neden olduğu bilinmektedir. Kükürt oksit kuru olarak da bitkiler, toprak ve diğer maddeler tarafından emilmektedir. Şiddetli tahriş, görüş mesafesinde azalma, solunum yolu ile kalp hastalıkları kükürt oksidin insanlarda yarattığı olumsuz etkileri arasında olduğu gözlemlenmiştir.

Fosil yakıtların yakılması sonucunda, yanma ünitesinde sıcaklık 1300°C 'nin üzerinde olması halinde azot oksit emisyonları oluşmaktadır. Azot oksit de atmosferde yağmur damlacıkları ile tepkimeye girerek asit oluşturur ve kirliliğe neden olur. Azot oksit seviyesinin, son yıllarda atmosferdeki artışı sera etkisine ve stratosferik ozonun azalmasına neden olmuştur.

Azot oksit, akciğer tahriş edicisidir ve akciğer dokularının kırılganlaşmasına neden olarak, akciğer kanseri gibi çok tehlikeli hastalıklara yol açabilir. Kandaki hemoglobinle birleşerek kanın oksijen taşıma kapasitesini düşürür.

Karbondioksit, atmosfere hem insan aktiviteleri sonucunda hem de doğal kaynaklardan yayılmaktadır. Daha çok fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere bırakılan karbondioksit emisyonu, atmosferde birikerek dünya yüzeyine gelen kısa dalgalı güneş ışınlarını emmektedir. Bu da, atmosferin kimyasal özelliklerini

etkileyerek, uzun vadede sera etkisi nedeni ile küresel ölçekte iklim değişikliklerine neden olmaktadır.

Karbon monoksit, yanmanın verimli olmamasından kaynaklanmaktadır. Yanma, maksimum verimle tam olarak gerçekleştirilirse karbon monoksit emisyonu minimum seviyeye iner. Atmosfer kimyası üzerine etkisi dolaylı yoldan olup, CO konsantrasyonundaki artış, atmosferdeki hidroksit iyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, atmosferde metan (CH_4) ve kloroflorokarbon birikimi gözlenmektedir.

Toz emisyonu, kükürt dioksit ile birlikte en çok görülen atmosferik kirleticidir. Özellikle, büyük kapasiteli enerji tesislerinde toz emisyonu, uçucu küller açısından çevreye olumsuz etkiler yapmaktadır. Tozların filtrelerle kontrol edilemediği veya filtrelerin verimli bir şekilde çalıştırılmadığı takdirde, baca uçucu külleri kül yağmuru olarak toprağa yağmakta, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını değiştirmekte, doğal ve kültür bitkilerinin yapraklarını örterek bunların fotosentez yapma olanağını ortadan kaldırmaktadır. Genellikle, tanecik boyutu 15 mm'den küçük olan ve uzun süre atmosferde kalan tanecikler solunum ile vücuda girer. Kömür yakılan sistemlerden yayılan taneciklerin % 33'ü 3 mm'den küçüktür ve ortalama tanecik çapı 4.9 mm civarındadır. Fuel-oil yakılan sistemlerden yayılan taneciklerin % 77.5'i 3 mm'den küçüktür ve ortalama tanecik çapı 0.38 mm'dir.

Konvansiyonel kömür santrallerinden kaynaklanan hava kirliliğinin azaltılmasına yönelik, ülkelerce getirilen baca gazı emisyon limitlerini sağlamak amacıyla, baca gazında bulunan zararlı SO_2 , NO gazının temizlenmesi gereği ortaya çıkmıştır. Bu da, konvansiyonel kömür santrallerine ek yatırım ve işletme maliyetleri getirmektedir. Konvansiyonel kömür santralinde, baca gazı arıtma tesisi, yatırım maliyetlerini üçte bir oranında arttırmaktadır. Fosil yakıt ile çalışan modern bir güç santralinin maksimum ısı verimi, % 35 civarındadır. Yani, sisteme giren ısı enerjisinin minimum % 65'i atık ısı olarak çevreye verilmektedir. Termik santrallerde atık olarak çevreye verilen ısının yaklaşık % 15' i baca gazı ile doğrudan atmosfere atılırken % 85'i su ile uzaklaştırılmaktadır (Bilgili 1997).

Birleşik ısı güç üretimi çerçevesinde sağlanan birincil enerjideki tasarruf, aynı oranda çevresel açıdan da olumlu etki yaratacaktır. Konvansiyonel olarak,

bir birim elektrik enerjisi üretebilmek için 3 birim ısı enerjisi gerekmektedir. Halbuki, birleşik ısı güç üretiminde bir birim elektrik üretimi için 1.5 birim ısı enerjisi gerekmektedir. Kullanılan daha az enerji daha az CO₂, SO₂ ve partikül madde demek olacağından atmosfere verilen kirlетici emisyon miktarı toplamında da % 50 civarında azalma olacaktır. Atmosfere verilen değişik kirlетicilerin miktarı kullanılan yakıtın tipine bağlı olarak değişmektedir. Birleşik ısı güç üretim tesislerinde yakıt olarak yaygın şekilde doğal gaz kullanılmaktadır. Bunun sonucunda, kömürün yarattığı kül ve kükürt oksitler ile fuel-oilin neden olduğu diğer emisyonlar kendiliğinden ortadan kalkmaktadır. Bunun da ötesinde, karbondioksit emisyonlarının yaptığı olumsuz çevresel etki büyük oranda azaltılabilmektedir (Bilgili 1997; Okutan 1998).

Eğer, gaz emisyonlarını azaltmak üzere hiçbir tedbir alınmazsa, yeryüzünün 10 yılda 0.3 °C ısınması kaçınılmaz olacaktır. Bu, gelecek yüzyılda 2-5 °C'lik (ortalama 3 °C) bir sıcaklık artışı demektir. Sıcaklık ve yağışlardaki değişikliklerin sonucunda, iklim bölgeleri tarıma ve ekosisteme zarar verebilecek biçimde kutuplara doğru yüzlerce kilometre hareket edebilir, besin üretimi tarıma ve ekosisteme zarar verebilecek biçimde düşebilir ve kutupların yakınlarında mevsimler uzayabilir. Küresel ısınma, deniz seviyesinin yükselmesine sebep olarak, okyanus sirkülasyonu ve deniz ekosistemlerini değiştirebilecektir. 2030 yılına kadar deniz seviyesinde 20 cm, 2100 yılına kadar da 65 cm'lik yükselme beklenmekte olup, deniz seviyesinde olan adalar ile kıyı alanlarının sular altında kalacağı, tarım alanlarının yok olarak su kaynaklarının kirlenebileceği ve birçok insanın evsiz kalacağı tahmin edilmektedir (Tekkeli 2000).

7. GAZ TÜRİN TEKNOLOJİSİNİN KOJENERASYON TESİSLERİNDE KULLANILMASI

Gaz türbinleri 1930'lu yıllarda jet uçaklarındaki itki sistemlerinde hızlı ilerlemeler kaydetti. 1980'li yıllara kadar, gaz türbinlerinin güvenilirliği ve verimliliği sabit güç uygulamaları için yeterince gelişmemiştir. Geçmişte gaz türbini korozyon problemi nedeniyle güç üretiminde tercih edilmiyordu. Yeni malzemelerin, kaplamaların geliştirilmesiyle ve daha verimli türbin palelerinin kullanılmasıyla, gaz türbinleri, güç üretim tesislerinde işletmelerin tercih ettiği teknoloji seçenekleri arasında yer almaya başlamıştır.

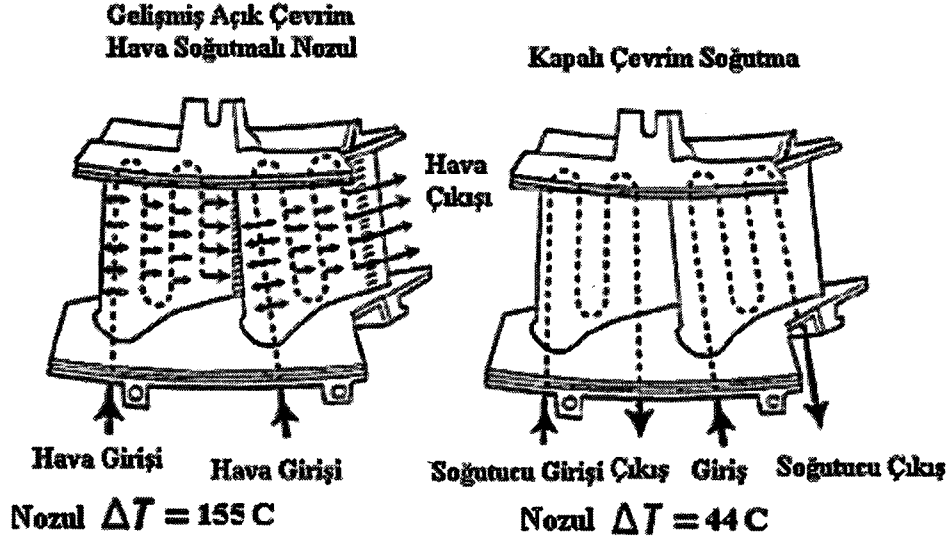
Günümüzde gaz türbinlerinin kapasite aralığı, 25 kW ile 250 MW arasında değişmektedir. Kojenerasyon tesislerinde kullanılan gaz türbinleri, uçak türü ve endüstriyel türü gaz türbinleri olarak sınıflandırılmaktadır. Günümüzde en büyük uçak türü gaz türbinin kapasitesi 40 MW' tır. Uçak türü gaz türbinin ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına karşın, endüstriyel türü gaz türbinine göre verimi daha yüksek ve yakıt tüketimi daha düşüktür.

Güç üretiminde kullanılan gaz türbinlerinin yanma odasında seramik malzemelerinin kullanılmaya başlanması ve yanmanın kademeli olarak gerçekleştirilmesiyle sistemden elde edilen verim artırılmıştır (Bachman ve ark. 1999). Geçmişte, uçağın kalkışında itkiyi arttırmak için yanma odasına buhar püskürtülmesi gözden geçirilerek, bu yöntem, elektrik üretiminde kullanılan gaz türbinlerinde de kullanılmıştır. Böylece, türbinden geçen kütle miktarının artmasıyla daha yüksek verimler elde edilmiştir (Saad ve Cheng 1997).

Uçak türü gaz türbinlerinde havacılıkta kullanılan açık çevrim hava soğutmalı nozullar kullanılmaktadır. Böylece, türbin malzemesi ile yüksek sıcaklıktaki yanmış gaz karışımı arasında bir film tabakası oluşturulmuştur. Ayrıca, gaz türbininin yüksek sıcaklıkta çalıştırılmasıyla sistemden elde edilen verimin artırılması sağlanmıştır. Şekil 7.1'de açık ve kapalı çevrim soğutma gösterilmektedir (Chase ve Kehone 2000).

Gaz türbini teknolojisinin güç üretiminde yaygın olarak tercih edilmesinde, yatırım ve proje aşamasında çok kısa olması, diğer teknolojilere göre yatırım maliyetinin düşük olması ve çevreye minimum zarar vermesi önemli rol oynamıştır. Ayrıca, gaz türbinlerinin farklı yakıtlar ile kullanılabilmesi, işletme ve

bakım maliyetinin kullanılan diğer teknolojilere göre düşük olması, işletmeler için önemli avantajlar sağlamıştır (Chase 2001).



Şekil 7.1 Açık ve kapalı çevrim soğutma (Chase 2001)

Kojenerasyon tesislerinin işletme maliyetlerini oluşturan en önemli parametrelerden biri, bakım maliyetidir. Havacılık sanayinin gelişimi esnasında kullanılan bakım yöntemleri referans alınmış, güç üretiminde kullanılan gaz türbinli kojenerasyon tesislerine minimum seviyede bakım yapılması sağlanarak tesislerin optimum seviyede çalıştırılması sağlanmıştır. Ayrıca, üretici firmalar, havacılık sanayindeki tecrübelerden yararlanarak, güç üretiminde gaz türbini kullanan işletmelerin bakım maliyetlerini minimuma indirmişlerdir. Teknolojinin gelişmesiyle kolay bakım yapılabilecek küçük, hafif ve daha verimli gaz türbinleri geliştirilmiştir.

Gaz türbinleri teknolojisi altında incelenen kojenerasyon teknolojisi, havacılık sanayindeki gelişmelerin paralelinde sistemden elde edilen verimin artırılmasıyla, dünyada ve Türkiye’de artan güç talebinin karşılanmasında ihtiyaca kısa sürede cevap verebilmesi nedeniyle güç üretim sektöründe daha yüksek oranlarda yer alacaktır.

8. TARTIŞMA, SONUÇ, ÖNERİ

Kojenerasyon tesisleri, çabuk devreye alınabilmesi, alternatif bir elektrik üretim kaynağı olması, ilk yatırım maliyetinin iki ile üç yıl gibi kısa bir sürede amorti etmesi, emisyon değerlerinin sınırlamaların altında olması nedeniyle dünyada ve Türkiye’de kullanılmaktadır. Ülkemizde elektrik enerjisi ihtiyacı artarken, bu soruna kısa sürede çözüm bulunması amacıyla kurulan kojenerasyon tesisleri gittikçe yaygınlaşmaktadır. Kojenerasyon tesisleriyle, elektrik üretiminin yanı sıra, sanayinin ihtiyacı olan buhar da sağlanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, kojenerasyon hakkında bilgi verildikten sonra kojenerasyon tesislerinde kullanılan güç teknolojilerinin tanıtımı yapılmış ve performans özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Günümüzde, en fazla kullanılan pistonlu motor, gaz türbinli motor ve buhar türbinleri ile yakın bir gelecekte yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanacak yakıt hücreleri ve mikro türbinler, özellikle verim, sermaye maliyeti, bakım, kullanılabilirlik ve ısı geri kazanım başlıkları altında karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın sonuçları Çizelge 7.1’de özetlenmiştir.

Kojenerasyon tesislerinde kullanılan teknolojilerde, elektrik veriminin % 30-40. arasında değiştiği görülmektedir. Atık ısının buhar türbininde değerlendirildiği gaz türbinli kombine çevrimde ise elektrik verimi % 60 civarındadır. Elde edilen ısı enerjisi, proses buharının temini ve kapalı alan ısıtılması için kullanıldığında sistemden elde edilen toplam verim % 90’lara yaklaşmıştır. Kojenerasyon teknolojilerindeki, güç aralığı genellikle birkaç kW ile 250 MW arasında değişmektedir. Gaz türbinli tesis, ilk tesis kuruluş ve bakım maliyeti açısından diğer teknolojiler ile karşılaştırıldığında en iyi seçenek olduğu görülmektedir. Güç teknolojilerinin, kullanılabilirlikleri genellikle % 90’nın üzerindedir. %100’e yakın kullanılabilirlik oranıyla buhar türbinini, gaz türbini ve pistonlu motor takip etmektedir. Kojenerasyon teknolojileri, tam kapasite çalışmaya başlama süresi açısından karşılaştırıldığında 10 saniye ile pistonlu motor ve revizyon aralığı açısından karşılaştırıldığında ortalama 40000 saat çalışma aralığı ile gaz türbini iyi bir seçenek oluşturmaktadır. Kojenerasyon tesislerinde, farklı yakıtların kullanılabileceği ve atık ısının kullanımı açısından gaz türbinli tesisin daha çok alternatif sunduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 7.1 Kojenerasyon tesislerinde kullanılan teknolojilerin karşılaştırılması

	Dizel Motor	Doğal Gazlı Motor	Buhar Türbini	Gaz Türbini	Mikro Türbin	Yakıt Hücresi
Elektrik verimi	30-50 %	25-45 %	25-42 %	25-30 % (basit) 40-60 % Birleşik	20-30 %	35-40 %
Kapasite (MW)	0.05-5	0.05-5	Birkaç kW ile 80	3-250	0.025-0.25	0.2-2
İlk tesis ve kuruluş maliyeti (\$/kW)	800-1500	800-1500	800-1000	700-900	1400-2000	>3000
Bakım maliyeti (\$/kW)	0.005-0.008	0.007-0.015	0.004	0.002-0.008	0.015-0.02	0.02-5
Kullanılabilirlik	90-95 %	92-97 %	95-98 %	90-98 %	90-95 %	96 %
Revizyon Aralığı	25000-30000	24000-60000	>50000	30000-50000	5000-40000	10000-40000
Çalışmaya başlama süresi	10 saniye	10 saniye	1 saat-1 gün	10 dakika-1 saat	60 saniye	3 saat-2 gün
Yakıtlar	dizel ve fuel oil, nafta	doğal gaz, biogaz, propan	doğal gaz, biogaz, propan, fuel oil, nafta, biyo kütle	doğal gaz, biogaz, propan, fuel oil, nafta	doğal gaz, biogaz, propan, fuel oil, nafta	hidrojen, doğal gaz, propan
Gürültü	orta-yüksek arası (izole edilmesi gerekebilir)	orta-yüksek arası (izole edilmesi gerekebilir)	orta-yüksek arası (izole edilmesi gerekebilir)	orta (izole edilerek)	orta (izole edilerek)	düşük (izole gerektirmez)
Atık ısının kullanımı	sıcak su, düşük basınç buhar, kapalı alan ısıtması	sıcak su, düşük basınç buhar, kapalı alan ısıtması	yüksek basınç ve düşük basınç buhar, kapalı alan ısıtması	sıcak su, proses ısısı, yüksek basınç ve düşük basınç buhar, kapalı alan ısıtması	sıcak su, proses ısısı, düşük basınç buhar	sıcak su, yüksek basınç ve düşük basınç buhar

Kojenerasyon tesislerinde, pistonlu motor genellikle ısı, sıcak su olarak tercih edildiğinde kullanılmıştır. Fakat, endüstriyel kojenerasyonda ısı, buhar olarak istenildiğinde, gaz türbini veya birleşik çevrimler kullanılmıştır.

Egzoz ısısı, gaz türbinli ve pistonlu motorda doğrudan proseste kullanılacak şekilde değerlendirilmiştir. Gerekli ısı miktarı, elektrik talebine göre yüksek olduğu durumlarda, buhar türbinleri veya ard yanmalı gaz türbinleri kullanılmıştır.

Tesislerin, genellikle ana yakıt olarak doğal gaz kullanılacak şekilde kurulduğu, yedek yakıt olarak fuel-oil veya naftanın tercih edildiği görülmüştür. Emisyon açısından çevresel sınırlamaların olmadığı bölgelerde, yüksek veriminden dolayı pistonlu motorda fuel-oilin tercih edildiği ve çöplük gazının enerji kaynağı olarak değerlendirildiği görülmüştür.

Türkiye’de ve dünyada kojenerasyonun gelişimi incelendiğinde; dünyada, kojenerasyon tesislerinin bölgesel ısıtma amaçlı kurulduğu ve yan ürün olarak düşünülen elektriğin, elektrik şebekesine verildiği gözlemlenmiştir. Türkiye’de ise, endüstriyel ve sanayi tesisleri, özellikle yüksek elektrik fiyatları nedeniyle uluslararası alanda pazar paylarını kaybetmekle karşı karşıya kalmıştır. Bu yüzden, işletmeler kojenerasyon tesisleri kurma yoluna gitmiştir. Ayrıca, elektrik şebekesindeki kesintiler ve düşük kalitedeki elektrik nedeniyle üretim kaybına uğrayan işletmeler için kojenerasyon tesisi kurmak kaçınılmaz hale gelmiştir. Özel teşebbüs, kendi kojenerasyon tesisini kurarak, hem ürün kalitesini hem de % 40 daha ucuz enerji maliyeti ile dünya piyasasında rekabet şansını arttırmıştır. Ek-2’de şu an değerlendirme aşamasında olan kojenerasyon tesislerinin başvuruları gösterilmektedir.

Trijenerasyonun, elektrik ve ısı ihtiyacının yanında soğutma talebi de olan tesis ve binalarda, özellikle sanayi uygulamalarında, talepleri karşılayabilecek bir teknoloji olduğu görülmüştür. Absorpsiyonlu soğutuculu sistemlerin, kojenerasyon tesislerine entegre edilmesiyle sistemin toplam veriminin arttığı ve kompresörlü sistemlerle karşılaştırıldığında % 24.5 oranında birincil yakıtın kullanımında tasarruf sağladığı gözlemlenmiştir

Kojenerasyon tesisinin kapasitesi ve teknolojisi değerlendirilirken ısı güç oranı ve eğrisi, ısı enerjisinin kalitesi, yakıtların kullanılabilirliği, sistemin

güvenirliliği, elektrik şebekesinden elektrik alış ve satışı, bölgesel çevre kurallarının dikkate alındığı gözlemlenmiştir. Bir kojenerasyon tesisi kurulurken, ön fizibilite çalışmasında sistemin geri ödeme süresi üç yıl ve altında çıkması durumunda proje değerlendirilmeye alınmaktadır. Bir kojenerasyon santrali kurmak için hazırlanması gereken fizibilite raporu ise, buna en yakın olan termik santral için belirlenen fizibilite raporu esas alınacak şekilde hazırlanmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, TEDAŞ, TEAŞ, BOTAŞ, TPOA ve ilgili kuruluşların tesis hakkındaki görüşünü aldıktan sonra tesis için işletme izni vermektedir.

Kojenerasyon tesisleri, elektrik üretimi gerçekleştirirken atmosfere atılan kükürt oksit, azot oksit, karbondioksit, karbon monoksit ve partikül maddeleri ile çevre kirliliğine neden olmaktadır. Azot oksit ve kükürt oksit, atmosferde su ile tepkimeye girerek asit yağmurları olarak yeryüzüne ulaşmaktadır. Bu yüzden, baca gazında bulunan NO₂ ve SO₂ gazının temizlenmesi için baca sistemine filtrelerin takılması gerekmektedir. Yanma olayı, maksimum verimle gerçekleştiğinde karbon monoksit emisyonunun minimum seviyeye indiği ve yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında partikül emisyonunun olmadığı görülmüştür. Konvansiyonel kömür santrallerinin yerine, kojenerasyon santrallerinin kullanılmasıyla yakıt tüketiminin % 30 azalacağı ve bunun sonucu olarak daha az emisyon yayımı olacağı görülmüştür.

İleriki çalışmalarda, kojenerasyon tesislerinin bakım planlaması incelenerek, karşılaşılan programsız bakımların önlenmesi için yapılacak önleyici bakım yönteminin toplam verim ve maliyetler üzerindeki etkisi incelenebilir.

Havacılık sektörü için yetiştirilen kişiler, pistonlu motor ve gaz türbinli motorun bakım ve çalışmasıyla ilgili teknik eğitim almaktadır. Sonuç olarak, ülkemizde artan elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulan kojenerasyon tesislerinde, havacılık sektöründeki deneyimli teknik personel bakım ve işletim anlamında görev alabilecek niteliktedir.

KAYNAKLAR

- ACAR, G., *Enerji üretim tesislerinde kullanılan yakıtlar ve yakıt kalitesinin önemi*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 54-57 (2000).
- AGAİK, Ş., *Mikro türbin teknolojilerine dayalı kojenerasyon çözümlerinin avantajları*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 124-131 (2001).
- AUGUSTO, P., *Fuel cell: a pioneering experience in the southern hemisphere*, Cogeneration and On-site Power Production, **5**, 21-25 (2002).
- AĞABAY, Ö., *Kojenerasyon teknolojileri*, Doğal gaz, **25**, 51-56 (1993a).
- AĞABAY, Ö., *Kojenerasyon teknolojileri*, Doğal Gaz, **28**, 110-111 (1993b).
- AĞABAY, Ö., *Kojenerasyon teknolojileri*, Doğal Gaz, **26**, 46-51 (1993c).
- AĞIŞ, Ö. ve OKUTAN, H., *Kojenerasyonun çevre korumaya katkısı*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 136-146 (1999).
- AĞIŞ, Ö., *Şehrin aynı merkezden ısıtılması ve aydınlatılması*, Doğal Gaz, **41**, 171- 179 (1995).
- AKAR, Y., *Türkiye’de Elektrik Enerjisi Sektörünün Hukuki Sorunları ve Otoprodüktör Şirketlerin Kuruluş Ve Proje Aşamaları*, Doğal Gaz, **50**, 154-157 (1994).
- ARIKAN, N. ve VARAL, V., *Kojenerasyon enerji santrallerinde üretilen buharın ön yalıtımlı boruların kullanılarak taşınması*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 51-58 (2002).
- ATEŞ, M.B., *Genel enerji planlamasında kojenerasyonun önemi*, Doğal Gaz, **33**, 79-83 (1994).
- AYDIN, Y., *Enhancement in plant profitability through operation and maintenance strategies*, ICCI bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 102-106 (2002).
- AYHAN, N. ve BAYRAKTAR, Y., *Gaz türbinlerinde devrede devre dışı yıkama teknikleri ve güç kaybı izlenerek kompresör kirliliğinin tespiti*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 109-120 (2002).
- BACHMANN, R., KEHLHOFER, R.H., NEILSEN H. ve WARNER, J., *Combined-cycle gas turbine power plants*, Pennwell, USA (1999).

BAYRAK, Y., *Kojenerasyon santrallerinin planlama modellerinde temsil edilmesi*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 74-80 (1998).

BAYSAL, C., *Doğalgaz jeneratörleri ve birleşik elektrik ve ısı üretimi*, Doğal Gaz, 1, 22-24 (1988).

BAYSAL, M., *Dizel güç ve kojenerasyon santrallerinde yüksek kükürt ihtiva eden 6 numara ağır yakıtların yüksek verimle yakılması ve egzozlarından kükürtdioksit arıtım teknolojileri*, Doğal Gaz, 56, 178-186 (1998).

BAYSAL, M., *Orta Anadolu'da yüksek verimli bir dizel kojenerasyon santrali uygulaması*, Cogeneration World, 1, 34-38 (2001).

BERKYÜREK, Ç., *Kojenerasyonda teknik gelişmeler, trijenerasyon*, Cogeneration World, 5, 30-31 (2001).

BİLGİLİ, S., *Enerji çevre ilişkisinde kojenerasyonun yeri*, Doğal Gaz, 49, 82-88 (1997).

CHASE D.L. ve KEHONE P.T., *GE Combined-cycle product line and performance*, www.gepower.com, GER-3574G (2000).

CHASE D.L., *Combined-cycle development evolution and future*, www.gepower.com, GER-4206 (2001).

EGELİ, M.S. ve ÖZGÜREL, B., *Doğal gaz yakıtlı kombine çevrim santralleri*, Doğal gaz, 41, 194-206 (1995).

ELZEN, A.D., *Fuel independent cogeneration and trigeneration*, ICCI Bildiriler Kitabı Teknik Yayıncılık, İstanbul, 52-53 (1998).

DERBENTLİ, T., *Bölgesel ısıtma ve kojenerasyonun ekonomik olurluğu*, Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı, 61-69 (1998).

FISK, R.W. ve VANHOSEN, R.L., *Cogeneration application consideration*, www.gepower.com, GER-3430F (1996).

FRANGOPOULOS, P. ve RAMSAY, B., *Educogen: the european educational tool on cogeneration*, www.cogen.org (2001).

GENCE, İ., GENÇ, Y., JOSTIN, S.J. ve URAL, A., *Doğa enerji Esenyurt kojenerasyon santrali tesis gezisi*, Doğal Gaz, 60, 119-123 (1999).

GENCELİ, O.F., *Doğal gaz özellikleri ve kullanım alanları*, Doğal Gaz, 1, 11-13 (1988).

GÜDER, A., *Kojenerasyon tesis yatırımında danışmanlık hizmetleri*, TTMD, 15, 24-25 (2001).

GÜLŞEN, O. ve KOÇAK T., *Kojenerasyon nedir? Kojenerasyon Teknikleri ve sistem seçimi*, Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı, 35-58 (1998).

HAVELSKY, V., *Energetic efficiency of cogeneration sysstems for combined heat, cold end power production*, International Journal of Refrigeneation, 22, 479-485 (1999).

HEPBAŞLI, A., *Performance evalution criteria for cogeneration systems and energy efficiency regulations in Turkey*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 141-151 (2001).

HEPBAŞLI, A. ve ÖZALP, N., *Development of cogeneration in Turkey*, Energy Sources, 24, 195-204 (2002).

HEWETT, M.J., LINNER, K.L., BRIEEFER, A. ve STROM, S.D., *Oppurtunities to expand cogeneration in Minesota*, Center for Energy and Environment, CEE/TR96-1CM, USA (1996).

http-1: [http:// www.enerjisa.com.tr](http://www.enerjisa.com.tr)

http-2: [http:// www.akenerji.com.tr](http://www.akenerji.com.tr)

http-3: <http://www.arkitera.com/haberler/2002/08/26/gungoruras.htm>

http-4: <http://www.ibb.gov.tr/ibbtr/140/14010/cevre/kemerburgaz.htm>

http-5: [http:// www.argesenerji.com.tr](http://www.argesenerji.com.tr)

KAARSBERG, T., *Power Parks: a new solution for local energy*, Cogeneration and On-site Power Production, 2, 33-38 (2002).

KILIÇASLAN, İ., *Power generation with fuel cell*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 168-172 (2001).

KINDERGEN, J.M. ve VAN, Y.P., *Catalytic combustion concepts for industrial gas turbines and alternative fuels*, Agard Propulsion, 47 (1999).

KIZILKAYA, A., *Birleşik ısı güç santralleri ve otoprodüktörlerde LPG kullanımı*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 63-65 (1999).

KIZILKAYA, A., *Birleşik ısı güç santrallerinde LPG kullanmanın teknik zorlukları*, Doğal Gaz, 58, 120-122 (1998).

KOLANOWSKI, B.F., *Small-scale cogeneration handbook*, The Fairmant Press, Inc., USA (2000).

KÜLÇE, N. ve TOPUZ, G., *Kojenerasyon sistemi seçimi ve Türkiye örneği*, Doğal Gaz, **45**, 205-208 (1996).

LANGE, S., *Gaz motorlarında güvenilir güç kaynağı değişik yakıtlar bazında örnekleri*, Doğal Gaz, **46**, 122-125 (1996).

LENSSSEN, N., *Small scale cogeneration: the next energy evaluation*, Cogeneration and On-site Power Production, Directory Issue, 32-43 (2000).

LINDBERG, A. ve TOPUZ, G., *Latest development in reciprocating engine driven cogeneration plant*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 95-102 (1999).

MACGILLIVRAY, W., STOLL, H.G. ve WHITE, A.C., *Operation and maintenance strategies to enhance plant profitability*, www.gepower.com, GER-3952A (1996).

MATTHEY, J., *Stationary fuel cells*, Cogeneration and On-site Power Production, **2**, 49-52 (2002).

MINETT, S., *The quality of energy supply: cogeneration's role in sustainable development*, Cogeneration World, Release, 20-29 (2000).

MOHANTY, B., *Energy Efficiency*, United Nation, USA (2001)

OKUTAN, H., *Hava kalitesinin korunması yönetmeliği ve kojenerasyon tesisleri için emisyon sınırları*, Doğal Gaz, **57**, 120-126 (1998).

ÖNEL, Z., *Birleşik güç ve ısı santrallerinde işletme şekilleri ve ısı akümülatörlerinin kullanılması*, Doğal Gaz, **50**, 161-163 ve 229-230 (1997).

ÖZGÜREL, B. ve EGELİ, S., *Kombine Çevrim, Yüksek Verim*, Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliği, (1994a).

ÖZGÜREL, B. ve EGELİ, S., *Ambarlı ve Trakya Kombine Çevrim Santralleri*, Doğal Gaz, **33**, 91-98 (1994b).

ÖZSU, S.S. ve GÜNEŞ, H., *Gaz türbinleri periyodik bakımları ve tecrübeleri*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 115-119 (2001).

ÖZTÜRK, M., *Absorbsiyonlu soğutma sistemleri ve kojenerasyon*, Cogeneration World, **2**, 60-62 (2001).

ÖZTÜRK,B., *Kojenerasyonda Amaç Sadece Elektrik Kesintisinden Etkilenmemek Değil*, Doğal Gaz, **44**, 99-103 (1996).

PAYNE, F.W., *Cogeneration management reference guide*, The Fairmont Press, USA (1997).

PEKİN, H., *Kojenerasyon tesislerinde doğal gaza alternatif yakıtlar*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 60-62 (1999).

PETEK, J., *On-line technology to improve maintenance, operation and prediction of combined cycle power plants*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 107-108 (2002).

PIERCE, J.F., *Microturbine distributed generation using conventional and waste fuel*, Cogeneration and On-site Power Production, **1**, 43-46 (2002).

SAAD M.A. ve CHENG D.Y., *The new LM2500 Cheng cycle for power generation and cogeneration*, Energy Convers. Management, **38**, 1637-1646 (1997).

SARAÇ, H., *Danimarka'da birleşik ısı güç santrali örneği*, Doğal Gaz, **37**, 130-139 (1995).

SINAR, H., *Türkiye'de elektrik enerjisi üretiminde doğalgaz kullanımı*, Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı, 87-94 (1998).

SÖĞÜT, M., *Enerji sisteminde yenilikler*, MSB Araştırma Teknolojisi ve Faaliyetler Bülteni, **8**, (1999)

SYCOM, O., *Review of combined heat and power technologies*, The California energy commission, No: 98R020974, USA (1999)

TEKKELİ, Ö., *Birleşik Isı ve güç sistemleri*, Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Fakültesi Bölümü, Edirne, Türkiye (2000).

TOLMASQUIM, M.T. ve SZKLO, A.S., *Strategic cogeneration fresh horizon's for the development of cogeneration in Brazil*, Applied Energy, **96**, 257-268 (2001).

TOPUZ, G., *Çeşitli kojenerasyon uygulamaları*, Tesisat Dergisi, **70**, 194-199 (2001).

TOPUZ, G., *Doğal gaza alternatif yakıtlardan ağır yakıtın incelenmesi*, Doğal Gaz, **54**, 81-86 (1998).

TUNA, M.H., *Kojenerasyon sistemlerinde koruyucu bakım*, Doğal Gaz, **51**, 154-156 (1997).

TURNA, T., *Çöplük tesisleri*, ICCI Bildiriler Kitabı Teknik Yayıncılık, İstanbul, 103-105 (1999).

TÜRKEL, M.U, *Kojen erasyon ve otoprodüktörlük için danışmanlık hizmetleri*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 28-30 (2002).

TÜTEN, T., *Endüstriyel elektrik üretimi ve gaz türbinli birleşik ısı-güç santralleri*, Doğal Gaz, 4, 16-19 (1988).

ULUDAĞ, M., *Kojenerasyon Teknolojileri, Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Eskişehir, Türkiye (2002).

VOGTLE, V., *Diesel power for industrial zones by way of the example of a 37 MW Diesel power station with two 18V 48/60*, ICCI Bildiriler Kitabı, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 81-85 (1998).

WILLIAMS, A., *The Overhaul of hot section gas turbine components, cogeneration and on-site power production*, Cogeneration World, Directory issue, 54-57 (2000).

ZOR, A., *Çöplük gazı kojenerasyon tesisleri: Kullanılmayan enerjinin değerlendirilmesi*, Doğal Gaz, 44, 104-106 (1996).

ZOR, A., *Yüksek verimle çalışan gaz motoru kojenerasyon sitemlerine mükemmel bir endüstriyel uygulama örneği: Hayat kimya*, Cogeneration World, Release, 30-34 (2000).

**TERMİK SANTRAL TESİSLERİ
FİZİBİLİTE RAPORUNDA YER ALACAK
ANA BAŞLIKLAR**

BÖLÜM 1. YATIRIM MAHİYETİ VE NEV'İ

- 1.1. Genel Bilgiler
- 1.2. Proje Gerekçesi

BÖLÜM 2. PROJE SAHASININ TANITILMASI

- 2.1. Doğal Durumu (Topoğrafya, Koordinatlar, Genel Jeoloji, Deprem ve İklim Durumu)
- 2.2. Sosyal Durumu (Nüfus, Kültür, Sağlık, Ulaşım, Haberleşme)
- 2.3. Ekonomik Durum (Tarım, Endüstri, Turizm, Ticaret)
- 2.4. Varsa Daha Önce Yapılmış Etüdler Hakkında Bilgi

BÖLÜM 3. GELİŞME PLANI

- 1.1. Gelişmeyi Gerektiren Sebepler
- 1.2. Mevcut Tesisler
- 1.3. Enerji Talebi Tahmini
- 1.4. Teklif Edilen Tesisler
- 1.5. Planın Etkinliği

BÖLÜM 4. HAMMADDE KAYNAĞI

- 1.1. Hammadde Kaynağı Rezerv Bilgileri
 - 4.1.1. Kömür yatağı karakteristikleri
 - 4.1.2. Maden işletme sistemi mukayesesi seçimi ve makine teçhizat seçimi
 - 4.1.3. Maden işletmesi için yatırımlar, yıllara göre dağılımı
 - 4.1.4. Finansman planı
 - 4.1.5. İşletme sermayesi
 - 4.1.6. İşletme dönemi giderleri
 - 4.1.7. İşletme dönemi kredi taksitleri ve faizleri
 - 4.1.8. Fon akış tablosu

4.1.9.Mali rantabilite

4.1.10.İç karlılık oranı

4.2.Hammadde İşletme Bilgileri

4.3.Hammadde Kullanma Bilgileri

4.4.Hammadde Tedarik Bilgileri

4.5.Soğutma Suyu Hakkında Bilgiler

BÖLÜM 5.TESİSİN KURULACAĞI YER HAKKINDA BİLBİLER

5.1.Jeolojik Yapı

5.2.Temel Etüdleri (Zemin Mekaniği)

5.3.Deprem Durumu

5.4.Ulaşım Yolu

BÖLÜM 6.KURULACAK TESİS

6.1.Kapasite Seçimi

6.2.Optimum Kurulu Güç, Ünite Sayısı ve Kapasitesi

6.3.Türbin Tipi, Ünite Gücü

6.4.Jeneratör Tipi, Kapasitesi

6.5.Transformatör Tipi, Adedi

6.6.Santral Binası ve Yardımcı Tesisleri

6.7.Şalt Sahası ve Sisteme İrtibatı

6.8.İnşaat problemleri

6.9.Yıllık Enerji Üretimi

6.10.Bakanlıkça İstendiği Taktirde Frekans Tutma ve Senkron
Kompansatör Çalışma Özelliği

6.11.Stok Sahası Tesisleri

6.12.Stok Kontrol ve Stoklama Programı

6.13.Kül Atma ve Kül Stok Tesisleri

6.14.Soğutma Suyu Tesislerinin Tipi

6.15.artıkların Değerlendirilme Olasılığı

6.16.Birleşik Isı Elektrik Santral Alternatifi

6.17.Çevre Sorunları Çözümü

6.18.İşletme Politikası

BÖLÜM 7. PROJENİN GERÇEKLEŞME SÜRESİ

7.1.Kesin Proje Hazırlama Süresi, İnşaat, İşletmeye Alma İçin
Başlangıç ve Bitiş Tarihleri

BÖLÜM 8. TESİS MALİYETİ

8.1.Giderlerin Hesaplanmasındaki Esaslar

8.2.Tesis Keşif Özeti

8.3.Yıllık Giderler

8.4.Döviz İhtiyacı

8.5.Yatırım Bedeli

BÖLÜM 9. ÇOK MAKSATLI PROJELER İÇİN MALİYET TAKSİMİ

BÖLÜM 10. DUYARLILIK ANALİZİ

BÖLÜM 11. TESİS YATIRIM PLANI VE EKONOMİK DEĞERLENDİRME

11.1.Yatırım Yıllara Dağılım Tablosu

11.2.Yatırım Dönemi Faizleri

11.3.Finansman Planı

11.4.İşletme Sermayesi

11.5.İşletme Dönemi Giderleri

11.6.İşletme Dönemi Kredi Taksitleri ve Faizleri

11.7.Fon Akış Tablosu

11.8.Mali Rantabilite

11.9.İç Karlılık Oranı

BÖLÜM 12. ALTERNATİF ÇÖZÜMLER

EK-2

Değerlendirilmesi devam eden otopodüktör müracaatları				
Sıra No	Tesisin Adı	Tesisin Yeri	Kurulu Güç (MW)	Üretim (GWh/yıl)
1	Akça-Tevsii	Denizli	60	170
2	Akdeniz	Mersin	740	
3	Akdeniz	Gebze-Kocaeli	370	
4	Akenerji	Balıkesir-Bandırma	25	76
5	Akenerji	Bursa-İnegöl	10.2	
6	Akenerji	Bilecik-Bozüyük	127.2	1005
7	Akenerji	Bilecik-Pazaryeri	127.2	965
8	Akenerji	İzmir-Kemalpaşa	127.2	1005
9	Akenerji	Uşak O. S. B.	10.5	73.3
10	Akenerji	Lüleburgaz	5.2	42
11	Akenerji	Samsun	220.6	1.8
12	Akenerji	Trabzon	220.6	1853
13	Akenerji	Balıkesir-Susurluk	5.2	42
14	Akenerji	Çorlu	15.6	126
15	Akenerji	Yalova-Armutlu	5.1	71
16	Akın Holding	Çanakkale-ayvancık	15	
17	Akın Holding	Afyon	100	
18	Akın Holding	Konya	200	
19	Akın Holding	Mersin	200	
20	Akın Holding	Balıkesir	150	
21	Akın Holding	Samsun	100	
22	Akın Holding	Denizli	100	
23	Akın Enerji	Kırklareli-Pınarhisar	40	318
24	Akteks	G.Antep O.S.B.	12.2	96
25	Anadolu Gıda A.Ş.	Ankara	10	80
26	Anadolu Efes Biracılık	Ankara	4	31.7
27	Arenko	Denizli	13	104
28	Arenko	İzmir-Kemalpaşa	13	104
29	As Enerji A.Ş.	Kırklareli-Armağan	6.8	17
30	As Enerji A.Ş.	Kırklareli-Çokal	4	

31	As Enerji A.Ş.	Kırklareli	2.5	6.5
32	As Enerji A.Ş.	Kırklareli-Kaylıköy	5.1	12.8
33	As Enerji A.Ş.	Muğla-Fethiye	5.5	32.8
34	As Enerji A.Ş.	Karabük-Suçatı	15	
35	As Enerji A.Ş.	Karabük-Konarı	18	
36	As Enerji A.Ş.	Tekirdağ-Çukuryurt	30	
37	Bağcı Su Ürünleri A.Ş.	Muğla-Beyobası I-II-	3.15	19.5
38	Bağfaş	Bandırma	32	232
39	Başak A. Ş.(Özyazıcı)	İstanbul/ İkitelli	12	
40	Berdan Tekstil	Tarsus/İçel	10.4	78
41	Bereket	Adana- Ceyhan Hes	48	165
42	Bereket	Adana- Seyhan Hes	40	163
43	Bereket	Muğla-Gökyar	11	43.4
44	Bares	Balıkesir	165	575.2
45	Bilenerji	Ankara	60	450
46	Bosen	Bursa	10	77
47	Bis Enerji	Bursa O.S.B.	240	1900
48	Bozok	Çanlırı-Çerkeş	7.5	59
49	Camiş	Mersin	25	187.5
50	Cargill	Bursa	10	81.5
51	Çalık	Malatya	15	50
52	Çalık	Malatya- Göksu	100	20
53	Çamsan	Ordu	5.2	38
54	Çerkezköy O.S.B.	Çerkezköy	80	600
55	Çiltuğ	Osmaniye-Kalealtı	15	51.7
56	Çolakoğlu İnş.	K.Maraş-Hacerıрмаğı	5.6	22
57	Doğan Holding	İstanbul	30	240
58	Ege Tarım Ürünleri	Aydın	5	37.5
59	Ege Enerji	İzmir-Aliağa	386	3250
60	Ekinciler Holding	İskenderun	60	450
61	El-ka	Antalya	3.6	12.5
62	Elta	Denizli/Dodurgalar	3.7	12.3
63	Enda	Bursa-Ulubat	120	5.5
64	Enerji Grubu	Adana-Kozan Barajı		
65	Enerji Grubu	Adana-Kadirli		
66	Entaş	Kayseri	27	230
67	Enak	Seydişehir	740	6003

68	Enak	İskenderun	1200	9800
69	Enak+B22	Hopa	420	3346
70	Enak	Denizli	1200	9197
71	Ereğli Demir Çelik	KDZ. Ereğli	4	32
72	Ersa İnş.	Alanya-Obaçağı	4.4	20
73	Ersoy	K. Maraş	10	27
74	Ere Mühendislik	Antalya/Kızıldüz	9	31.6
75	Ere Mühendislik	Mersin/ Karaçay	23.4	65.4
76	Ere Mühendislik	Antalya/Şahmallar	8.6	26.7
77	Eti holding	Kütahya/Emet	(.9	69.8
78	Ezse Ltd. Şti.	Osmaniye- Kaman	60	
79	Ezse Ltd. Şti.	Osmaniye-Yukarıdere	60	
80	Fe-Pal	İstanbul	100	
81	Gülle Entegre	Telirdağ- Çorlu	6.2	49.6
82	Fkk Güney Oto	Samsun	1.5	
83	Güney Sanayi	Adana	10	72
84	Hayat Kimya A.Ş.	İzmit	5.2	41.6
85	Hadosan A.Ş.	Düzce	400	3160
86	İçtaş	Erzincan-Yukarı Mercan	14	44
87	İhlas Holding	Yalova- Armutlu	18	27
88	İpaş	Düzce	400	3160
89	Kaptan Demir Çelik A.Ş.	Kırklareli/ Balaban	2.8	20
90	Kardemir	Karabük	100	
91	K. Entegre Ağaç Sanyı A.Ş.	Kastamonu	2.3	
92	Konya Enerji	Konya	34.8	250
93	Koroza Ambalaj S. A.Ş.	Beylikdüzü/ İstanbul	4	
94	Koroza Ambalaj S. A.Ş.	Kıraç Bül. / İstanbul	4.1	
95	Körfez Enerji	İzmit	15	120
96	Köseoğlu	Kayseri	4.1	30.8
97	Köytaş	Aydın/Nazilli	3	24.8
98	Kroman Çelik	Gebze-Kocaeli	112	840
99	Kulak A.Ş.	Ermanek- Daran I Hes	15	85
100	Kulak A.Ş.	Ermanek- Daran II Hes	7.5	41
101	Kulak A.Ş.	Adana Pozantı Çakıt I	30	116
102	Kulak A.Ş.	Adana Pozantı Çakıt II	24	92
103	Kulak A.Ş.	Adana Pozantı Çakıt III	23	97
104	Kulak A.Ş.	İçel-Azrak Ref. Kırpılık	17	

105	Kulak A.Ş.	Karaman-Damlapınar	12	
106	Laçın Ltd. Şti.	Adıyaman-Bulam	7	26
107	Metemteks	Çorlu	8.5	68
108	Moden Enerji	Tekirdağ-Çorlu	29	244
109	Molu	Avanos Reg.-Cemel Hes	9.6	77.1
110	Molu (Nur I-II-III)	Adana -Kozan	30.06	134.7
111	Molu (ZamantıBahçeli)	Kayseri	3.5	24.7
112	Molu Merih Hes	Adana/Kozan	2.5	20.3
113	Molu-Yamanlı-I	Adana		
114	Molu-Yamanlı-II			
115	Molu-Yamanlı-III			
116	Natural	Antalya-Düden	10.4	
117	Nuh-Tm Enerji	Gebze-Kocaeli	107	
118	Nurol-Ener Grubu	Sivas	19	
119	Ottoman	İzmir-İliç	115	916
120	Öztakım Enerji A.Ş.	Bursa	5.3	
121	Öztakım Enerji A.Ş.	Bursa-İnegöl	5.2	
122	Pak Gıda	İzmit-köseköy	2.1	16.5
123	Pak Gıda	Bolu-düzce	2.1	16.5
124	P&T Elektrik Ltd. Şti.	Balıkesir	45	
125	P&T Elektrik Ltd. Şti.	İstanbul-Şile	45	
126	P&T Elektrik Ltd. Şti.	Urfa -Birecik	45	
127	P&T Elektrik Ltd. Şti.	İstanbul-Silivri		
128	Rotor A.Ş.	Osmaniye	135	
129	Rumeli Holding	Edirne-Lalapaşa	120	900
130	Rumeli Holding	Mersin	550	
131	Ser Enerji A.Ş.	Tekirdağ-Çerkezköy	5	37.3
132	Sanko	Gaziantep OSB	227.7	207
133	Sel Enerji	Aydın/Nazilli	16	
134	Sarkuysan (Tevsii)	Gebze/ Çayırova	7.7	61'5
135	Suta İnşaat ve Müh.	Konya- Apa	5	
136	Suta İnşaat ve Müh.	Kars- Arpaçay	10	
137	Suta İnşaat ve Müh.	Burdur/Yapraklı	2.5	
138	Toprak Kağıt	Bozüyük	9	61
139	Tunç Gıda	Artvin	13.6	65.3
140	Tunç Gıda	Artvin-Taşlıca	23.5	114.5

141	Tunç Gıda	Mardin	45	
142	Türkse Perenko	Diyarbakır	36.5	274
143	T. Şeker Fab.	Eskişehir	12.8	32
144	T. Şeker Fab.	İlgın	214.4	36
145	Üçgen	Antalya/Alakır bar.	4.5	11
146	Ülker	İstanbul-Topkapı	10	75
147	Ülküm	Mersin	1.5	
148	Yapısan	Adana	270	1080
149	Yapısan	Elazığ	34	130
150	Yapısan	Elazığ	100.2	400
151	Yer-su	Diyarbakır/Şahaban	30	
152	Yurtbay Seramik	Eskişehir	10.5	82
153	Yuvam	İzmit	10	84
154	Yüksel İnşaat	Ürgüp	20.4	
155	Yüksel İnşaat	Aydın-Söke	5.1	
156	Yüksel İnşaat	Adana	30	
157	Zorlu Enerji (Tevsii)	Bursa	59	462
	Toplam		11413.2	53842.9