

**KOJENERASYONUN BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİ VE KLASİK BÖLGESEL ISITMA İLE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Sirer ALBAYRAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Eylül-2007
ANKARA**

Sirer ALBAYRAK tarafından hazırlanan “KOJENERASYON BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ VE KLASİK BÖLGESEL ISITMA İLE KARŞILAŞTIRILMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Y. Doç. Dr. Kurtuluş BORAN

Tez Danışmanı, Makina Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Adnan SÖZEN

.....

Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Y. Doç. Dr. Kurtuluş BORAN

.....

Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Y. Doç. Dr. Musa Galip ÖZKAYA

.....

Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Y. Doç. Dr. Hüseyin USTA

.....

Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Y. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

.....

Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Tarih: 12/09/2007

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sirer ALBAYRAK

**KOJENERASYONUN BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİ VE KLASİK BÖLGESEL ISITMA İLE
KARŞILAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Sirer ALBAYRAK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2007**

ÖZET

Bu çalışmada; kojenerasyonun başka bir deyişle, bileşik ısı ve güç sistemlerinin termodinamik analizi yapılmış, bileşik ısı güç santrallerinde sistem seçimini etkileyen faktörler ve kojenerasyon teknolojilerinin nasıl verimli kullanılacağı kojenerasyonun bölgesel ısıtmada kullanılabilirliği ve ekonomik olurluğu araştırılmıştır.

Esenyurt kojenerasyon termik santralinin gerçek işletme verileri kullanılarak enerji ve ekserji analizleri ünite ünite uygulanarak her ünitenin giriş ve çıkışlarındaki toplam ekserjileri (termomekaniksel ekserji + kimyasal ekserji) ve kayıp ekserjiler belirlenmiş, yıllık elektrik-ısı üretimi ve klasik bölgesel ısıtma santrali ile yakıt maliyeti karşılaştırılması yapılmıştır.

Bilim Kodu : 708.1.033
Anahtar Kelimeler : Kojenerasyon, Bölgesel Isıtma
Sayfa Adedi : 109
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç.Dr. Kurtuluş BORAN

**COGENERATION REGIONAL HEATED SYSTEM EMPLOYABILITIES
AND COMPARED WITH CLASIC REGIONAL HEATED**

(M. Sc. Thesis)

Sirer ALBAYRAK

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

September 2007

ABSTRACT

In this study; thermodynamic analyses of cogeneration, or in another term, compound heat and power systems were carried out, the factors that influence the system preferences of compound heat - power plants, how to use cogeneration technologies efficiently, availability of cogeneration in regional heating and economical feasibility of cogeneration were investigated.

By using the real manipulation data of Esenyurt cogeneration thermal plant and applying energy and exergy analyses unit by unit, each units' total exergy input and output (thermo – mechanical exergy + chemical exergy) and lost exergy were determined; comparison among annual electricity - heat production and classical regional heating plant and fuel costs were conducted.

Science Code	: 708.1.033
Key Words	: Cogeneration, Regional heated
Page Number	: 109
Dissertation Administrator	: Asist. Prof. Dr. Kurtuluş BORAN

TEŞEKKÜR

Çalışmam da bana her türlü imkanı ve desteği sağlayan çok kıymetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Kurtuluş BORAN ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK beyfendiye şükranlarımı sunar çok teşekkür ederim. Aileme ve sevdiklerime de bana verdikleri destekten dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
3. KOJENERASYONUN BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ	9
3.1. Giriş	9
3.2. Kojenerasyon Tanımı.....	10
3.3. Kojenerasyon ve Bölgesel Istmanın Tarihsel Gelişimi	12
3.4. Kojenerasyonun Termodinamik Analizi.....	14
3.4.1. Buhar türbinli çevrim	17
3.4.2. Gaz türbinli çevrim	19
3.4.3. Bileşik gaz buhar güç çevrimi.....	20
3.5. Kojenerasyonun Uygulama Alanları	22
3.5.1. Endüstriyel	22
3.5.2. Merkezi	22
3.5.3. Küçük ölçekli	22
4. KOJENERASYON TEKNOLOJİLERİ	23
4.1. Giriş	23
4.2. Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemleri	23
4.3. Buhar Türbinli Kojenerasyon Sistemi	26
4.4. Gaz ve Buhar Türbinli Sistemler.....	27
4.5. Gaz Motorlu Kojenerasyon Sistemleri.....	29

Sayfa

4.6.	Kojenerasyonda Sistem Seçimi	33
4.6.1.	Yakıt.....	34
4.6.2.	Elektrik ısı oranı	35
4.6.3.	Yük eğrisi	35
4.6.4.	Start sayısı	35
4.6.5.	Ortam sıcaklığı	36
4.6.6.	Toplam sistem kapasitesi.....	36
4.6.7.	Elektriğin kalitesi	36
4.7.	Kullanılan Yakıtlar	36
5.	BÖLGESEL ISITMA	39
5.1.	Giriş	39
5.2.	Bölgesel Isıtmanın Tanımı	39
5.3.	Bölgesel Isıtma Sisteminin Elemanları	40
5.3.1.	Isı merkezi	41
5.3.2.	Kompakt ısı ünitesi.....	43
5.3.3.	Blok ısı merkezi (Eşanjör dairesi).....	45
5.4.	Bölgesel Isıtma Yapan Santral Türleri	46
5.4.1.	Klasik ısı santralleri	46
5.4.2.	Bileşik ısı - elektrik santralleri	47
5.4.3.	Jeotermal enerjiyle bölgesel ısıtma	47
5.4.4.	Katı atık yakma santralleri	47
5.4.5.	Nükleer enerji santralleri	49
6.	BİLEŞİK ISI-GÜÇ ÜRETİMİ İLE BÖLGE ISITMASI VE EKONOMİK OLURLUĞU	50
6.1.	Giriş	50
6.2.	Kojenerasyonun Bölge Isıtmada Kullanılabilirliği.....	51
6.3.	Bileşik Isı-Güç Üretimi ile Bölge Isıtmasının Ekonomik Olurluluğu.....	54
6.4.	Kojenerasyon İle Klasik Güç Santralinin Karşılaştırılması.....	57
7.	KOJENERASYON İLE BÖLGESEL ISITMADA ÖRNEK UYGULAMA	64
7.1.	Giriş.....	64
7.2.	Esenyurt Kojenerasyon Termik Santraline Ekserji Analizinin Uygulanması	65
7.3.	Ekserji Analizi	65

Sayfa

7.4.	Kapalı Sistem için Ekserji Analizi	65
7.5.	Kimyasal ve Termomekaniksel Ekserji.....	68
7.5.1.	Durum 1	69
7.5.2.	Durum 2	70
7.5.3.	Durum 3	70
7.6.	Fiziksel Ekserji.....	70
7.7.	Tesisin Genel Görünüşü ve Döğüm Noktalarına Ait Açıklamalar ..	72
7.8.	Mevcut Tesis Bünyesindeki Ünitelere Birinci Kanunun Uygulanması.....	77
7.8.1.	Kazanda meydana gelen ısı kayıplarının tespiti	77
7.8.2.	Kazan – türbin arası boruda meydana gelen ısı kaybının tespiti	78
7.8.3.	Türbinde meydana gelen enerji kaybının tespiti	79
7.8.4.	Hava soğutmalı kondenserde meydana gelen enerji kaybının tespiti	80
7.8.5.	Tesisteki ısıtıcı için enerji kaybı tespiti	81
7.9.	Mevcut Tesisteki İncelenen 12 Nokta İçin Kimyasal, Termomekaniksel ve Toplam Ekserji Dğerlerinin Tespiti	82
7.10.	Ünitelere Giren Çıkan ve Ünitelerden Kaybolan Ekserji Değçerlerinin Hesaplanması.....	88
7.10.1.	Kazan için hesap	88
7.10.2.	Kazan –Türbin arası boru için hesap	89
7.10.3.	Türbin için hesap	90
7.10.4.	Kondenser için hesap	91
7.10.5.	Isıtıcı için Hesap	92
7.11.	Esenyurt Santralinde Yıllık Üretim.....	97
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER	100
8.1.	Sonuç.....	100
8.2.	Öneri.....	102
	KAYNAKLAR	104
	ÖZGEÇMİŞ	109

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.1 Tesisin tüm noktalarına ait termodinamik değerler	74
Çizelge 7.2 Yakıta ait debiler ve alt ısı değerler	77
Çizelge 7.3 Ünitelerdeki kayıp enerji değerleri	81
Çizelge 7.4 Tesis üzerinde analizi yapılan noktalara ait kimyasal, termomekaniksel ve toplam ekserji kayıpları	87
Çizelge 7.5 Kazanda yakılan yakıtın ekserjisi.....	88
Çizelge 7.6 Ünitelere ait giriş, çıkış kayıp ekserjileri ve bu kayıpların tesis toplam kaybına göre yüzde değerleri.....	93
Çizelge 7.7 Ünitelerden olan kayıp enerji ve kayıp ekserjiler	94

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Kojenerasyonun şematik görünüşü	11
Şekil 3.2. Basit bir proses ısı santrali	15
Şekil 3.3. İdeal rankine çevrimi	18
Şekil 3.4. Gaz türbinli açık çevrim	19
Şekil 3.5. Bileşik gaz- buhar santrali	21
Şekil 4.1. Gaz türbinli basit çevrim kojenerasyon tesisi prensip şeması	24
Şekil 4.2. Gaz türbinli sistem şeması	25
Şekil 4.3. Buhar türbinli sistem şeması	27
Şekil 4.4. Gaz ve buhar türbininden oluşan kombine çevrim kojenerasyon tesisi prensip şeması.....	28
Şekil 4.5. Gaz ve buhar türbinli sistem şeması	28
Şekil 4.6. İlave yakıt odalı gaz ve buhar türbinli sistem şeması	29
Şekil 4.7. Gaz motorunda enerji dağılımı	30
Şekil 4.8. Gaz motorlu kojenerasyon sisteminin çalışma prensip şeması ..	31
Şekil 4.9. Çeşitli birincil yakıtların ısı değerleri	37
Şekil 6.1. Karşı basınçlı buhar türbini çevrimi	51
Şekil 6.2. Ara buhar almalı yoğuşturuculu buhar türbini çevrimi	52
Şekil 6.3. Gaz türbinli bileşik ısı-güç sistemi	53
Şekil 6.4. Diesel motorlu bileşik ısı-güç sistemi	54
Şekil 6.5. Yük-süre eğrisi	55
Şekil 6.6. Kojenerasyon ve konvensiyonel elektrik üretimi.....	57

Şekil	Sayfa
Şekil 6.7. Kojenerasyon sistemi ve klasik sistemlerde elektrik ve ısı enerjisi üretiminin karşılaştırılması.....	58
Şekil 6.8. Kojenerasyon ve diğer üretim sistemleri arasındaki ısı bilanço .	59
Şekil 6.9. Tipik yıllık yük eğrisi	61
Şekil 7.1. Bileşik sistem ve çevre	66
Şekil 7.2. Kararlı akış halindeki bir maddenin fiziksel ekserji tayininde kullanılan tersinir modül	71
Şekil 7.3. Esenyurt kojenerasyon termik santrali genel şematik görünüşü.	73
Şekil 7.4. HRSG kazanın şematik görünüşü	77
Şekil 7.5 . Kazan ile türbin arasındaki borunun şematik görünüşü.....	78
Şekil 7.6. Tesisteki türbinin şematik görünüşü	79
Şekil 7.7. Tesisteki kondenserin şematik görünüşü	80
Şekil 7.8. Tesisteki ısıtıcının şematik görünüşü	81
Şekil 7.9. Kazana ait ekserjiler.....	88
Şekil 7.10. Kazan ile türbin arasındaki boruya ait ekserji	89
Şekil 7.11. Türbine ait ekserjiler.....	90
Şekil 7.12. Kondensere ait ekserjiler.....	91
Şekil 7.13. Isıtıcıya ait ekserjiler.....	92
Şekil 7.14. Ünitelerde kayıp olan enerjiler.....	95
Şekil 7.15. Ünitelerde kayıp olan ekserjiler	96
Şekil 7.16. Ünitelerde olan kayıp enerji ve kayıp ekserjiler (kW).....	97
Şekil 7.17. Elektrik ve doğal gaz fiyatlarının Mart 2004 – 06 yıllarındaki fiyatları	98
Şekil 7.18. Esenyurt santrali enerji üretimi yakıt maliyeti.....	99

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simge ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$\tilde{R}$	Üniversal gaz sabiti
A	Amortisman Faktörü (Capital Recovery Factor)
C	Bileşik Isı-Güç Santralının Yatırım Bedeli (Para Birimi)
e_{fiz}	Fiziksel ekserji
e_i	i maddesinin kontrol hacmine giriş ekserjisi
e_j	j maddesinin kontrol hacmine çıkış ekserjisi
E_K	Kayıp ekserji
e_{kim}	Kimyasal ekserji
e_{pot}	Potansiyel ekserji
e_{tm}	Termomekaniksel ekserji
e_y	Yakıt ekserjisi
fe	Elektriğin Fiyatı, (Para Birimi, kJ)
fg	Isının Fiyatı, (Para Birimi, kJ)
fy	Yakıt Fiyatı, (Para Birimi, kJ)
h	entalpi
h_u	Alt ısı değer
m	Kütleli debi
n	Santral Ömrü
NO_x	Azot- Oksit Bileşikleri
P	Basınç
$Q_{\dot{C}}$	Yoğulturucudan Çevreye Verilen Isı, kWh
Q_g	Girilen Isı Oranı
Q_H	Isıl Verim, kWh

Simgeler	Açıklama
Q_j	T_j sıcaklığındaki kaynaktan birim zamanda transfer edilen ısı
Q_k	Isı kaybı
S	Santralının Elektrik Üretim Gücü (kW)
S,s	Entropi, özgül entropi
$S_{ür}$	Entropi Üretimi
W	Mekanik İş, kWh
H	Elektrik Çevrim Verimi

Kısaltmalar	Açıklama
CHP	Bileşik Isı ve Güç (Combined Heat and Power)
E	Ekserji
EIO	Elektrik Isı Oranı
EYO	Enerjiden Yararlanma Oranı

1. GİRİŞ

Nüfusun ve endüstrinin hızla gelişmesi ile birlikte dünyanın enerji ihtiyacıda hızla artmaktadır. Yaklaşık olarak elli yılda doğal gaz ve kömür rezervlerinin tükeneceği tahmin edilmektedir. Proses atık ısının kullanılması ile %85-90 düzeyinde toplam verime ulaşılmakta ve önemli miktarda yakıt tasarrufu sağlanmaktadır [1].

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

Ülkemizde yılda 20 milyon TEP olan tüketiminin %31'ini odundan,%20'sinin kömürden, %20'sinin petrolden,%14'nün doğal gazdan karşılandığı düşünülürse;enerji üretiminde izlenecek yolun çevre kirliliği, ekonomi ve dışa bağımlılık üzerindeki etkileri daha net görülebilir. Söz konusu enerji tüketiminin %41'i konut ısınmasında, %35'i sanayide, %20'si ise ulaşımda kullanılmaktadır. Dolayısıyla hem sanayi de ,hemde konut ısıtmasıyla gerekli olan elektrik enerjisinin ve ısı enerjisinin aynı kaynaktan karşılanması ile yapılacak olan enerji tasarrufu çevre kirliliğini ve dışa bağımsızlığını azaltırken, kaynaklarımızın hızlı tükenmesini de önleyecektir. Bizler elektrik ve ısı enerjisinin aynı kaynaktan karşılanması yöntemini,yani kojenerasyon teknolojisini desteklemek ve yaymak zorundayız.

Dünyada altmış yıldan beri, Türkiye’imizde onbeş yıldır uygulanmakta olan kojenerasyon sistemleri, arz ettikleri yüksek verim randımanı ile sağladıkları kolay işletme ile dayanılmaz cazibede bir yatırım modeli olma ayrıcalığını korumaktadır ve 21 yüzyılda da koruyacaktır.

Avrupa’da kojenerasyon sistemleri daha çok, kışları uzun ve soğuk geçen, Kuzey Avrupa ülkelerde şehirlerin bir merkezde ısıtılmasıyla başlamıştır. Kojenerasyon teknolojisi, bu suretle bir yandan, konutların ihtiyacı olan ısıyı üretirken diğer yandan da, yine konutların ve sanayi tesislerinin elektirik ihtiyaçlarında sağlamıştır. Yani Avrupa’da ısı üretim amaçlı keenerasyon projeleri daha önce başlamış ve daha çok yaygınlaşmıştır. Finlandiya, Hollanda ve Danimarka gibi Kuzey Avrupa ülkelerinde konutların %60’ı merkezi ısıtma sistemiyle ısıtılmakta ve bu sistemlerinde en az yarısında kojenerasyon sisteminin olduğunu görüyoruz. Bu gibi ülkelerde kojenerasyon ile üretilen elektrik enerjisinin toplam elektrik tüketimindeki payının %40’lara ulaştığını görmekteyiz.

İkinci Dünya savaşının yıkımı ardından Avrupa’da başlayan yeniden yapılanma süreci içinde bölgesel ısıtmaya büyük önem verilmiştir. Buna en çarpıcı örnek; Polonya’da daha önceden yapımına başlanan sistemlerin devreye girmesiyle toplam kapasitenin 1958 yılında iki katına çıkarılmasıdır. Bugün yukarda sözü edilen ülkeler bölgesel ısıtma; elektrik, gaz, su gibi yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Kullanılan sistemler genellikle sıcak su üreten büyük programlar şeklindedir. İsveç’te ısı teminin büyük bir bölümü bölgesel ısıtma ile gerçekleştirilmekte ve birçok belediye sınırları içerisindeki ısı ihtiyacını karşılamak amacı ile iyi işleyen bir bölgesel ısıtma şebekesine sahiptir.

Ülkemizde üniversite kampüsleri ve resmi lojmanların tek merkezden ısıtılması dışında, diğer ülkelerde uygulandığı anlamda bir bölge ısıtma sistemi mevcut değildir. Ancak son yıllarda toplu konut yapımının

desteklenmesiyle, bölge ısıtmasına çekirdek oluşturabilecek toplu ısıtma çalışmaları yapılmaktadır [2].

Bugün insanlığın karşılaştığı en önemli iki problem, doğal enerji kaynaklarının aşırı sömürülmesinden doğmuştur. Bu problemler, yüksek kaliteye sahip ancak kalitesi sürekli azalan (düşük entropi) enerji taşıyıcıları ve yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Artan sorunlar ışığında toplumlar bu problemleri, hem enerji kaynaklarının minimum tüketilmesi hem de entropinin minimum üretilmesini sağlayarak çözebileceklerdir. Enerji tüketimini azaltmak amacıyla en iyi fırsatları keşfetmek için en geçerli yol, tesis içinde dikkatli bir enerji denetlemesi yapmak ve daha sonrada bu denetlemeye paralel olarak alternatifleri aynı dikkatle hesaplamaktır. Bunun yanında mevcut sınırlı kaynakların daha verimli kullanılması için yeni tekniklerin geliştirilmesi konusunda bilimsel komiteler çeşitli çalışmalar yapmıştır. Geçen yüzyıllarda bir çok tersinmez sanayi preseslerinin enerji verimlerinin tespitinde termodinamik analizin kullanımı büyük oranda artırılmıştır. Bunun için yeni bir takım kavramlar ortaya atılmış olup bilinen kavramlar enerji analizi ve enerji optimasyonun gerçekleştirilmesi şeklinde yeniden ele alınarak şekillendirilmiştir. Bu gelişme, araştırmacıları kullanılabilirlik, ekserji, ikinci kanun analizi, enerji analizi kayıp iş, vb. gibi kavramlara yöneltmiştir.

Proselerin ve güç tesisinin artan kapleksliği, enerji kaynaklarının optimum kullanımını sağlamak için tam bir termodinamik analize ihtiyaç duymuştur. Bundan dolayı yıllardır bazı termodinamikçiler aynı anda hem birinci hem de ikinci kanunun bir araya getirilmesinden oluşan yeni bir metod kullanmaktadırlar.

Bu şekilde oturtulmuş analiz teknikleri “Kullanılabilirlik Analizi” ya da “Ekserji Analizi” adları ile bilinmektedir.

Her iki teknik de enerjinin kendisinden daha çok tersinmezlikten doğan enerji azalmasına neden olan enerjinin farklı forumlarının iş potansiyel kavramını

kullanmaktadır. Bu analiz teknikleri, termal tesislerin ayarlanması ya da yeni termal tesislerin tasarım veriminin artırılmasını amaçlayan termodinamik analizi de kullanılabilir yapmaktadır.

Yukarıda bahsettiğimiz kojenerasyonun bölgesel ısıtmada kullanılabilirliğinin önemi ve ekserji analizine dayalı gelişmeler dikkate alınarak bu çalışmada; kojenerasyon teknolojileri, kojenerasyonda sistem seçimini etkileyen faktörler, bileşik ısı-güç üretimi ile bölge ısıtması ve ekonomik olurluğu ile mevcut bir kojenerasyonla bölge ısıtması yapan Esenyurt kojenerasyon termik santralinin, tesisten alınan gerçek işletme verileri kullanılarak ünite ünite enerji ve ekserji analizlerinin uygulanmasının yanında, yıllık elektrik-ısı üretimi ile klasik bölgesel ısıtma santralinin yakıt maliyeti karşılaştırılması yapılmıştır, ayrıca kojenerasyonun merkezi ısıtma sistemine getirdiği avantajlar sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Costa ve Balestieri, “Kimya Sanayinde Kojenerasyon Sistemleri ile İlgili Ortak Çalışma” ile Brezilya enerji yapılanmasına doğal gazın büyük ölçüde girmesiyle birlikte, kağıt fabrikaları ve kimya işletmeleri gibi endüstriler kojenerasyon projelerinin bu yakıt türüne uygunluğunu sağlamanın fizibilitesini analiz etmeye başladılar. Fotoğrafçılık sektöründen bir kimya şirketinin enerji talebine yönelik modellerin analizleri, kombine çevrim sistemleri bulunan ve ayrıca absorpsiyonlu soğutma üniteleri bulunan dizel kojenerasyon projelerinin kullanılabileceğini imkanını ortaya çıkarmıştır.

Ekonomik çekiciliği bakımından, internal geri dönüş metoduna dayanarak yapılan bir analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, absorpsiyon soğutuculu kombine çevrim projeler kadar kompresyon soğutuculu kombine çevrim ve karşılıklı hareket eden motorlardan oluşan projelerin üç yıla kadar geri dönüş periyotları olduğunu göstermiştir. Ayrıca kojenerasyon sistemlerine yapılacak yatırımların bu fabrikalar için ilgiye değer olduğu görülmüştür [6].

Lemar, “Amerika Sanayisinde Kombine Isıtma ve Enerji Sistemlerinin Teşviki İçin Uygulanan Politikaların Potansiyeli” adlı makalesi temiz bir enerji geleceği için senaryolar adlı çalışmanın bir kısmının incelemesidir. Temiz bir enerji geleceği için senaryolar adlı çalışma kojenerasyon teknolojilerinin Amerika endüstrisinde kullanılabileceğini ortaya koyan inceleme yapmıştır. Bu inceleme kamu politikalarının ve programlarının şimdilerde gelişmekte olan birleşik ısı ve güç teknolojilerinin çok geniş çevresel etkisi ile enerji kullanımını ne derece etkilediğini ortaya koymuştur. Bu araştırma uygulanan politikaların özellikle karbon emisyonlarının azaltılması, enerji randımanının artırılması ve USA endüstri sektöründeki yakıt çeşitliliğinin geliştirilmesi olarak daha da geliştirilebileceği sonucuna varmıştır [9].

Guarinello ve arkadaşları, “Bir Gaz Türbinli Kojenerasyon Sisteminin Termoeconomik Değerlendirmesi” adlı makalede Brezilya da yerleşik olan bir endüstri bölgesinin ısı ve elektrik ihtiyaçlarını karşılama gayesindeki projelendirilmiş bir buharlı gaz türbini kojenerasyon sistemine termoeconomik kavramları uygulamaktır. Güç santrali; termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarına dayalı olarak değerlendirilir. Exergetic maliyet teorisini kullanan bir termoeconomik analiz, elektrik ve buhar üretim maliyetlerini sırayla belirlemek için geliştirilmiştir. Elektrik güç üretiminin düzeyiyle ilişkili iki hipotetik çalışma durumu göz önüne alınmıştır [10].

Tang ve Mohanty, “Kojenerasyonla Endüstriyel Enerji Randımanının Geliştirilmesi Tayland Tekstil Endüstrisi Üzerine Durum Çalışması” adlı makalede doğal gazlı kojenerasyon sistemi Tayland hükümetinin beğenilen enerji politikalarının sayesinde bu işlem tesislerinin ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlamak için şu sıralar umut vadeden bir alternatif olarak görülmektedir. Bu çalışmada yanma sonrası ısı sistemli gaz türbinli kojenerasyon kullanımına en uygun çözüm olarak görülen bir tekstil fabrikasındaki durum detaylarını göstermektedir.

Bu sistem sadece en yüksek termal randımanı vermekle kalmaz aynı zamanda faaliyetteki esnekliği de sağlayabilmektedir. En uygun kojenerasyon şeklinin finansal analizi bize net şu anki değeri sağlamakta aynı zamanda amortisman periyodu ile 310 000 000 milyon baht iç geri dönüşüm oranı bu da yaklaşık 5,3 yılda %26,6 oranındadır. Termal karşılama seçeneği pek çekici bulunmamıştır çünkü devlet elektrik şebekesine satış fiyatı ilave yatırımlar için gereken miktarı absorbe edecek kadar yüksek değildir [11].

Tolmasquim ve arkadaşları, “Rio De Jenerio Alışveriş Merkezlerinde Doğal Gaz Yakıtlı Kojenerasyon İşletmelerinin Ekonomik Potansiyeli” adlı makalede Brezilya enerji sektöründeki reformlar test edilmiş, güç kapasitesinin genişlemesinde yatırımları teşvik etmektedir. Ayrıca doğal gaz yakıtlı termo – güç teknolojileri git gide artan bir öneme sahip olmaktadır. Bu teknolojiler yatırımda daha hızlı geri dönüşümü sunmaktadır. Ancak bir dizi kamusal ve vergi engelleri endüstri sektöründe yoğunlaşmış olan gaz yakıtlı kojenerasyon projelerinin işlevine hala daha engel teşkil etmektedir. Ticaret sektöründe kojenerasyon projelerinin nispeten basit olmasından doğan avantajlar vardır. Bu makale bir değerlendirme modelinin kullanımı sayesinde Rio De Jenerio şehrindeki alışveriş merkezleri için doğal gaz yakıtlı kojenerasyon sisteminin teknik ve ekonomik potansiyelini incelemektedir [12].

Luz-Silveria ve arkadaşları, bir üniversite kampüsünün kojenerasyon sisteminin termoekonomik analizini yapmışlar. Bu çalışmada I. ve II. termodinamik kanununa dayanan ve bir kojenerasyon sisteminin ekipmanlarının yerine konulabilmesi için analiz etmek için uygulanan bir termo-ekonomik analiz metodu sunulmuştur. Kojenerasyon sistemi atık kazanına bağlantılı bir gaz türbininden oluşmaktadır. Kampüsün elektrik ihtiyacı 9 MW fakat kojenerasyon sistemi üniversitenin elektrik ihtiyacının yaklaşık 3'te 1'ni üretmektedir [13].

Holanda ve Balestieri, “Katı Yakıt Güç istasyonlarında Kojenerasyon Sistemi Üzerine Bir Durum” değerlendirmesi adlı makalede Brezilyanın artan bir şekilde bolivya doğal gazına bağımlı olduğunu pek çok sanayi ve teşebbüs düşük fiyatı ve çevresel etkisi az olması nedeniyle doğal gaz yakan yeni termal güç istasyonları ile endüstriyel kojenerasyon sistemlerini inşa etmeye karar vermektedirler. Ancak doğal gazın tükenebilir bir kaynak olması ve bu durum gelecekte birim fiyatında bir artışa sebep olacağını belirtmiştir.

Bu araştırma enerji üretiminde yaşanan sorunları detayıyla incelemekte ve endüstriyel alanlarda yerleşik bulunan sanayi işletmeleri için başlıca kaynak olarak kullanılan termal ve elektrik enerjisi kullanan kojenerasyon sistemi bakımından gelecekte alternatif muhtemel bir yakıt olarak katı atık yakılmasını ortaya koymaktadır [15].

Moran ve Sciubba (1994), petrol, doğal gaz ve kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarını sistemlerin efektif şekilde kullanmalarının önemine dikkat çekmişlerdir. Ayrıca bu enerji kaynaklarının uygulama alanları üzerinde hem enerji prensiplerinin hem de ekserji analizinin mevcut literatürünü başarıyla kullanarak atık ve kayıpların büyüklüğü, tipi ve meydana geldiği yerleri tespit etmişlerdir [39].

Gaggioli et al. (1991), içinde proses buharının tümünü ve ihtiyaç duyulan gücün üretildiği yeni bir nitrik asit tesisine, yakıt ve güç giderlerini minimum yapmak üzere ekserji analizini uygulamışlardır[40].

Kotas (1985,1989), De Lucia ve Manfrida (1989), Carrington ve Sun (1989) gibi araştırmacılar ise özellikle verimin düşük oluşu ve nedenleri üzerinde durmuşlar ve bu nedenleri, ortadan kaldırmak için gerekli tasarım ve/veya işletme şartları değişimlerine yönelik çalışmalar yapmışlardır [41].

3. KOJENERASYONUN BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

3.1. Giriş

Bu teknoloji dünyada yaklaşık 100 yıldan beri uygulandığı halde, ülkemizde, 85/9799 sayılı kararnameye göre kurulan otoprodüktör tesisleriyle başlamıştır. Bileşik elektrik ve ısı üretim sistemlerinin en büyük özelliği, tesisin, ısı ve elektrik tüketim merkezlerine yakın kurulması dolayısıyla, enerji nakil hatlarına ihtiyaç göstermediği için hat kayıplarını ortadan kaldırmasıdır. Türkiye’de kayıp/kaçak oranının %20,0 gibi çok yüksek seviyelerde olması, bu oranı sıfıra indiren kojenerasyon teknolojilerinin önemini daha da artırmaktadır [3].

Kojenerasyonun tanımını ve incelenmesini kapsayan bu bölümde kojenerasyonun bir kez tanımını vermek istiyorum. Kojenerasyon elektrik ve ısı enerjilerini birlikte üreten dizayn ya da teknolojinin adıdır. Yenilenemez konvansiyonel metotlarla enerji üretimine en gerçekçi alternatif üretim sistemi kojenerasyon bileşik ısı-güç üretimidir. Yani tek bir sistemden elektrik ve buharın bir arada üretilmesidir.

Kojenerasyon, % 90'lara varan çevrim randımanı, düşük yatırım maliyeti, çok kısa kuruluş süresi ve işletme elastikiyeti ile dünyada son yıllarda en çok uygulanan ve en hızlı yayılan ikincil enerji üretim sistemidir. Ayrıca, üretilen enerjinin üretim noktasında tüketilmesiyle, pahalı, enerji iletim ve dağıtım sistemlerine ihtiyaç göstermemesi ve bu sistemlerde oluşan kayıp ve kaçaklardan arınmış olması kojenerasyonun cazibesini daha da artırmaktadır.

3.2. Kojenerasyon Tanımı

Kojenerasyon (Bileşik elektrik ve ısı üretimi), ısı ve elektriği aynı tesiste, eş zamanlı olarak üreten teknolojinin adıdır. Bu enerji üretim teknolojisinde gaz, buhar türbini veya gaz motorunda doğal gaz, biogaz, likit gaz, nafta, fuel oil ve kömürün yanmasıyla elektrik üretilirken, egzoz ısıları havaya atılmayıp, atık ısı kazanında değerlendirilmektedir. Atık ısının değerlendirilme oranına göre de çevrim verimliliği değişmektedir.

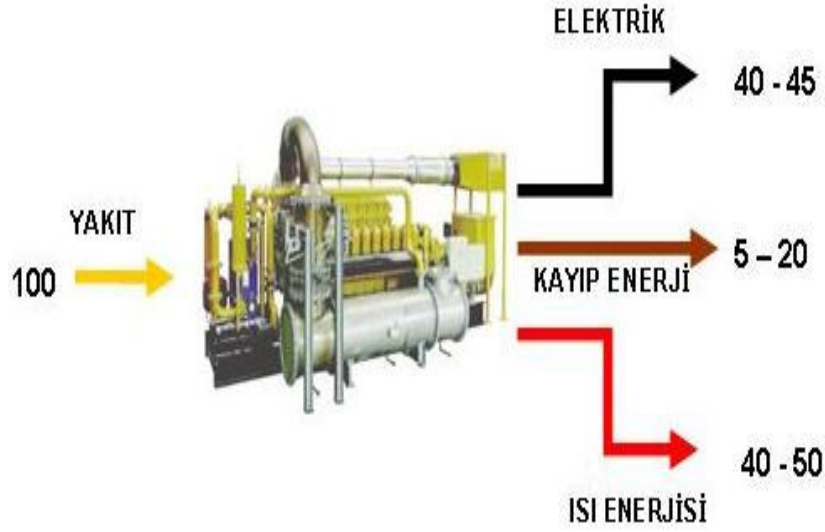
Yüksek verimli kojenerasyon, elektriğin elektrik santrallerinde, ısının da kazanlarda ayrı ayrı üreten klasik sistemlere nazaran toplamda en az %10 yakıt tasarrufu sağlayan teknolojidir.

Kojenerasyon, ingilizce “Combined Generation”ın kısaltması olan “Cogeneration” anlamına gelmektedir. Diğer bir deyişle bileşik jenerasyonun kısaltılmış haline *kojenerasyon* denilmektedir.

Sözcük anlamı olarak bileşik ısı ve güç üretimi demektir. İngilizce olarak ise bu anlamın karşılığı *Combined Heat and Power [CHP]* olarak adlandırılmaktadır.

Kojenerasyon, aynı enerji kaynağından, elektrik ve ısı enerjisinin eş zamanlı olarak üretilmesini sağlayan, verimi oldukça yüksek olan sistemlere genel olarak kojenerasyon veya bileşik ısı ve güç santralleri denilmektedir.

Kojenerasyonun temelinde güç üretimi yapan bir ısı makinasının atık ısısından yararlanma vardır. Tek bir sistemden elektrik ve doymuş buhar veya sıcak su elde edilmesi işlemidir. Ana kaynak kullanılan gaz türbini yada gaz motorunun generatör gücü ve egzoz gazının ısısıdır [4].



Şekil 3.1. Kojenerasyonun şematik görünüşü

Kojenerasyonun literatüre geçen bir başka tanımlaması da, gerekli elektrik ve ısı enerjisinin ardışık olarak üretilmesidir.

Kojenerasyon sisteminde elektrik ve ısı enerjileri aynı üniteden üretildiği ve sisteme giren ısı çok büyük ölçüde sömürüldüğü için yüksek çevrim randımanına ulaşılmaktadır. Kojenerasyon elektrik enerjisi ile birlikte ısı enerjisi üretme teknolojisidir. Isı enerjisi ihtiyaca göre bazen sıcak su, bazen buhar, hatta sıcak su + buhar şeklinde olabilir [5].

Kojenerasyon, termal ve elektrik enerjileri gibi iki ve daha fazla enerji formunun, sadece tek bir enerjinin tüketilmesiyle aynı anda üretilmesini sağlayan enerji jenerasyon işlemidir. Kojenerasyon yaygın olarak enerji tasarrufu işlemi olarak tanımlanmaktadır. Çünkü, birden fazla ana enerjinin bir özel işlemle fabrikanın enerji ihtiyacını karşılamak için tüketildiği bir uygulama olan geleneksel jenerasyon sistemlerinin tersine termal geri dönüşümle elde edilen etkili ve verimli bir uygulamadır. İşletme fabrikanın ihtiyacı olan enerjiyi üretmenin yaygın yolu kamuya ait şebekeden elektrik enerjisi satın almak ve gereken termal enerjiyi üretmektir [3].

Bir başka tanım yapacak olursak, bir enerji kaynağından birden fazla faydalı enerji elde edilmesi işlemine de kısaca kojenerasyon diyebiliriz.

Kojenerasyon aynı zamanda hem elektrik hem de ısı enerjisi elde edilen bir sistem olup aynı yakıt kaynağından daha fazla kullanılabilir enerjiyi ortaya çıkardığı için, tek amaçlı üretim sistemlerinden çok daha verimli bir sistemdir.

Çoğunlukla bu dönüşüm yakıtın içerdiği kimyasal enerjinin elektrik ve ısı [buhar, sıcak su, sıcak hava gibi] enerjisine dönüştürülmesi biçiminde gerçekleşmektedir. Elektriğin tek başına üretilmesi halinde dönüşüm verimi yüzde 40-50 arasında iken kojenerasyon sisteminin kullanılması ile yüzde 70-80 seviyelerine kadar yükselmektedir. Böylece enerjinin daha verimli kullanılması sağlanmaktadır [6]. Elektrik ve ısının bir arada üretilmesidir. Sistemden elektrik ve doymuş buhar ve/veya sıcak su elde edilmesi işlemidir. Üretim, gaz türbini veya motorun generatör gücünden ve egzost gazı ısısından elde edilir.

3.3. Kojenerasyon ve Bölgesel Istmanın Tarihsel Gelişimi

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

Kojenerasyon, 20. yüzyılın başlarından itibaren, güç santrallerinin yerleşim birimlerinde kurulması ve bölge ısıtması yapılmasıyla başlamıştır. Bölge ısıtması konutların ve işyerlerinin ısıtma, sıcak su ve proses ısılarının bir veya birkaç merkezden sağlanmasıdır. Bölge ısıtması, 1940' lı yıllarda yakıt fiyatlarının düşmesiyle çekiciliğini yitirmiştir. Ama 1970' li yıllarda yakıt fiyatlarının hızla yükselmesiyle bölge ısıtmasına ilgi dünya çapında yeniden

uyanmıştır. Kojenerasyon ekonomik açıdan kazançlı olmuştur. Bunun sonucu olarak son yıllarda bu tür santrallerin kurulması hızlanmıştır.

Kojenerasyon, merkezi ısıtma uygulamalarının yaygın olarak kullanıldığı ülkelerde daha erken gelişme ve kullanılma olanağı bulmuştur. ABD’ de binalar çok yüksek olduğundan sıcak su ile ısıtma yapılamamakta, bunun yerine alçak basınçlı buhar kullanılarak ısıtma yapılmaktadır. Bu yüzden merkezle kullanma yeri arasında yüksek basınçlı buhar tercih edilmiştir. Bu sistemin kullanılmasının bir sebebi ise yaz aylarında büyük klima tesisleri için buhara olan ihtiyaçtır. Bu nedenle bileşik ısı – güç üreten merkezlerin yıllık verimi yüksek olmaktadır. Bu yüzyılın sonuna kadar ABD’ de elektriğin %15’inin bileşik- kojenerasyon tesislerinden sağlanması beklenmektedir[7].

İlk bölgesel ısıtma sistemi 1877 yılında ABD’nin New York eyaletindeki Lockport’ta kurulmuştur.

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

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

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

İskandinav ülkeleri bu tesisler açısından en önde gelmektedirler. Danimarka, İsveç, Finlandiya ve Norveç’te toplam binaların % 30-80’i bu sistemle

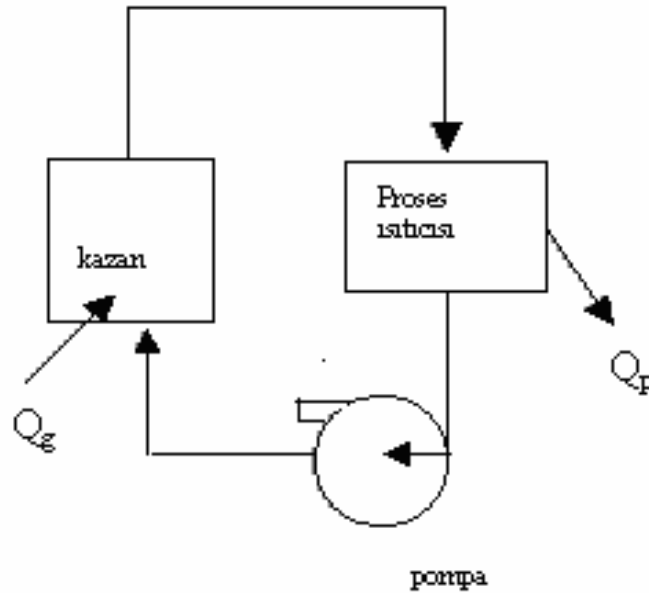
ısıtılmakta olup ısıtma merkezleri bileşik ısı – güç üretimi şeklinde düzenlenmiştir [8].

3.4. Kojenerasyonun Termodinamik Analizi

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

Mühendislik sistemlerinin büyük bir bölümünde enerji gereksinimi ısı biçimindedir. Kimya, kağıt, petrol, çelik, gıda ve tekstil endüstrileri gibi bazı endüstrilerde ısııl işlemler önemli bir yer tutar. Isıl işlemler için gerekli ısıya proses ısıısı adı da verilir. Bu endüstrilerde proses ısıısı genellikle 5-7 atm basınçları arasında ve 150-

200 °C sıcaklıkları arasında su buharıyla sağlanır. Buharı oluşturmak için gerekli ısı ise kömür, sıvı yakıtlar, doğal gaz ve benzeri yakıtları bir kazanda yakarak elde edilir.



Şekil 3.2. Basit bir proses ısı santrali

Isıl işlemlerin gerçekleştirildiği bir endüstri kuruluşun incelendiğinde dağıtım borularındaki ısı kayıpları ihmal edilirse, su buharına kazanda verilen tüm ısı, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi ısı değiştiricileri aracılığıyla ısıl işlemlerde kullanılır. Kazanda üretilen tüm ısının ısıl işlemlerde kullanılması, bir kaybın olmadığı izlenimini verebilir. Oysa, ikinci yasa açısından bakıldığında zaman, dönüşümün mükemmel olmadığı anlaşılır. Kazanların içinde yanma sırasında oluşan sıcaklıklar, 1370 °C gibi çok yüksek değerlere ulaşır. Bu nedenle kazanlarda üretilen enerjinin niteliği yüksektir.

Bu yüksek nitelikli enerji daha sonra 200 °C veya daha düşük sıcaklıkta buhar oluşturmak için suya verilir. Buradaki tersinmezlik çok büyüktür. Bu tersinmezlikle ilişkili olarak, kullanılabilirlikte bir azalma veya iş potansiyelinde bir kayıp söz konusudur. Düşük nitelikli bir enerjiyle gerçekleştirilebilecek bir işlemi yüksek nitelikli bir enerjiyle gerçekleştirmek akıllıca değildir[9].

Isıl işlemlerin yoğun olduğu endüstriler aynı zamanda büyük miktarda elektrik kullanırlar. Bu bakımdan hem ekonominin hem de mühendisliğin gereği

olarak varolan iş potansiyelini, güç üretimi için kullanmak yerinde olur. Bu düşüncenin sonucu olarak, ısı işlem gereksinimlerini karşılarken elektrik de üreten santraller geliştirilmiştir. Bu santrallere bileşik ısı güç santralleri adı verilir. Bileşik ısı güç üretimi, ısı enerji ve elektrik gereksinimlerinin aynı enerji kaynağından karşılanmasıdır.

Bir ısı makinasında üretilen işin (W), alınan ısı enerjisine (Q_H) oranı, ısı verim olarak tanımlanır (η) ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\eta = W/Q_H \quad (3.1)$$

Bu ısı verime kojenerasyon uygulamalarında “elektrik çevrim verimi” de denilmektedir.

Buhar türbinli bileşik ısı-güç santralının en önemli özelliği yoğunlaştırıcunun olmamasıdır. Böylece çevreye verilen ısı, yani atık ısı yoktur. Yani kazanda buhara verilen tüm enerji, elektrik enerjisine veya proses ısısına dönüşmektedir. Bir bileşik ısı-güç santrali için “enerjiden yararlanma oranı” Eş. 3.2’deki gibi tanımlanır.

$$E_y = (\text{Üretilen net Güç} + \text{Proses ısısı}) / \text{Girilen Toplam Isı} = (W_{\text{net}} + Q_c) / Q_g \quad (3.2)$$

Burada Q_c , yoğunlaştırucuda çevreye verilen ısıdır. Q_c aynı zamanda borulardan ve diğer elemanlardan çevreye olan ısı geçişlerini de kapsamaktadır, fakat bu kayıplar ihmal edilebilir düzeydedir.

Daha yüksek ısı verim sağlayabilmek için süregelen çalışmalar, alışılmış güç santrallerinde yeni düzenlemelerin yapılmasına yol açmıştır. Yukarıda bahsedilen ikili buhar çevriminin dışında ise gaz akışkanlı bir güç çevrimini buharlı bir güç çevriminin üst çevrimi olarak kullanmaktır. Bu çevrime bileşik gaz-buhar güç çevrimi adı verilir. En çok ilgi duyulan bileşik çevrim, gaz

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

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

$$EIO = W / Q_{\dot{c}} = \eta / (1 - \eta) \quad (3.3)$$

EIO, kojenerasyon sisteminin önemli özelliklerinden biridir. Türbinlerde ise genellikle EIO'nın tersi ($1/EIO$) olan ısı oranı temel parametrelerden birisi olarak verilir [10].

$$\text{Isı oran} = Q_{\dot{c}} / W = (1 - \eta) / \eta \quad (3.4)$$

3.4.1. Buhar türbinli çevrim

Bir bileşik ısı güç santralinde, buhar türbinli çevrim (Rankine), gaz türbinli çevrim (Brayton), daha sonra incelenecek olan bileşik gaz buhar çevrimi kullanılabilir. Buhar türbinli bir ideal bileşik ısı güç santralinin genel çizimi Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Bu santralin, ısı işlemler için, 500 kPa basınçta buhar aracılığıyla 100 kW ısı sağladığı, ayrıca 20 kW elektrik ürettiği varsayalım. Buhar ısı değiştiricisinde yoğuştuğundan sonra 500 kPa 'de doymuş sıvı halinde pompaya girmekte ve kazana basılmaktadır. Pompa işi ve kayıpları gözardı edilirse, kazanda suya verilmesi gereken ısı, enerji korunumundan yola çıkarak 120 kW olarak belirlenir.

Şekil 3.3'de gösterilen buhar türbinli ideal bileşik ısı güç santralinin en ilgi çekici yanı yoğuşturucunun olmamasıdır. Böylece çevreye verilen atık ısıda yoktur. Başka bir deyişle, kazanda buhara verilen tüm enerji elektrik enerjisine veya proses ısısına dönüşmektedir.

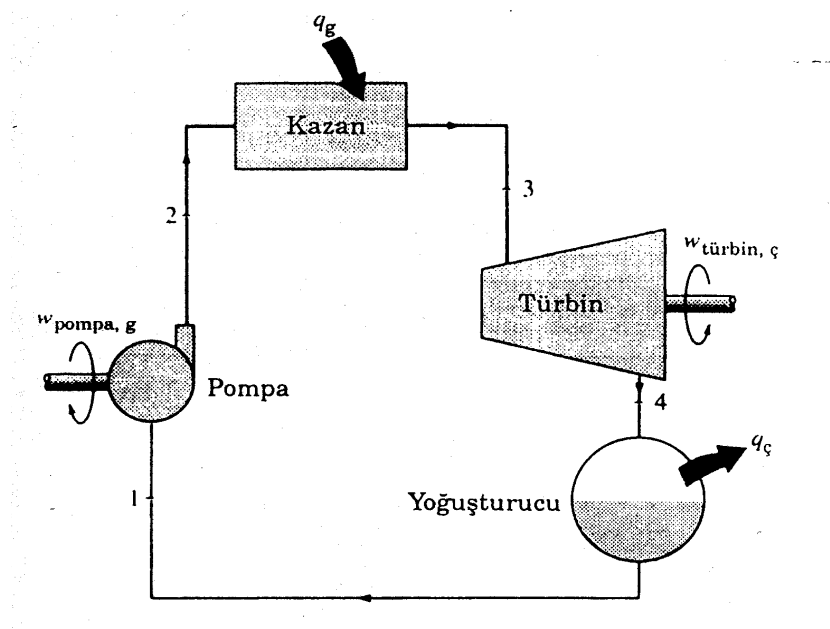
$$E_y = (\text{üretilen net güç} + \text{proses ısısı}) / \text{girilen toplam ısı} = (W_{\text{net}} + Q_p) / Q_g$$

Yukarıdaki bağıntıdan da açıkça görüldüğü gibi, buhar türbinli ideal bileşik ısı güç santralinin enerjiden yararlanma oranı yüzde 100'dür. Gerçek bileşik ısı güç santrallerinde enerjiden yararlanma oranları yüzde 70 dolaylarındadır. Gelecekteki bileşik ısı güç santrallerinde enerjiden yararlanma oranlarının daha yüksek olmaları beklenmektedir.

Türbin olmasaydı, kazanda suya verilmesi gereken ısı 120 kW yerine 100 kW olurdu. Fazladan verilen 20 kW enerji işe dönüşmektedir. Bu nedenle bileşik ısı güç santrali, bir ısı santraliyle ısı verimi yüzde 100 olan bir güç santralinin toplamına eşdeğerdir.

Buhar güç çevrimleri için ideal çevrim rankine çevrimi diye adlandırılır. İdeal rankine çevriminde içten tersinmezliğin olmadığı dört hal değişimi vardır.

- 1-2 Pompayla izantropik sıkıştırma
- 2-3 Kazanda, sisteme sabit basınçta ($P=\text{sabit}$) ısı geçişi
- 3-4 Türbinde izantropik genişleme
- 4-1 Yoğuşturucuda. Sistemden sabit basınçta ($P=\text{sabit}$) ısı atılması

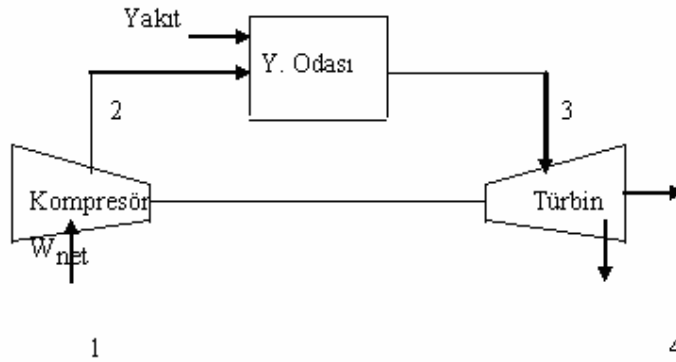


Şekil 3.3. İdeal rankine çevrimi

Buhar güç santralini oluşturan makinaların tümü (pompa, kazan, türbin ve yoğuşturucu) sürekli akışlı makinelerdir. Bu nedenle rankine çevrimi de dört sürekli akışlı açık sistemden oluşan bir çevrim olarak incelenebilir[11].

3.4.2. Gaz türbinli çevrim

Gaz türbinleri için ideal çevrim brayton çevrimi olarak adlandırılmaktadır. Brayton çevriminin kullanımı, sıkıştırma ve genişlemenin aksenel kompresörler ve türbinlerde olduğu gibi gaz türbinleriyle sınırlıdır. Gaz türbinleri Şekil 3.4’de gösterildiği gibi açık çevrimde çalışırlar. Yüksek basınçlı hava daha sonra, yakıtın sabit basınçta yakıldığı yanma odasına girer. Yanma sonunda oluşan yüksek sıcaklıktaki gazlar, türbinde çevre basıncına genişlerken iş yapar. Türbinden çıkan egzoz gazları atmosfere atılır. Böylece açık çevrim tamamlanır. Gaz türbini terimi burada hem yukarıda belirtilen açık çevrime dayanan motoru, hem de çevreimde genişlemenin olduğu elemanı ifade edecektir.



Şekil 3.4. Gaz türbinli açık çevrim

Yukarıda açıklanan açık gaz türbini çevrimi, hava standardı kabullerini uygulayarak kapalı bir çevrim olarak düşünülebilir.

Kapalı çevrimde sıkıştırma ve genişleme işlemleri değişmemektedir, fakat yanma işleminin yerini çevrime sabit basınçta ısı geçişi, egzoz işleminin yerini ise çevreye sabit basınçta ısı verilmesi almaktadır. Aracı akışkanın

kapalı bir çevrimde dolaştığı ideal çevrim brayton çevrimi diye adlandırılır ve aşağıda belirtilen dört içten tersinir hal değişiminden oluşur.

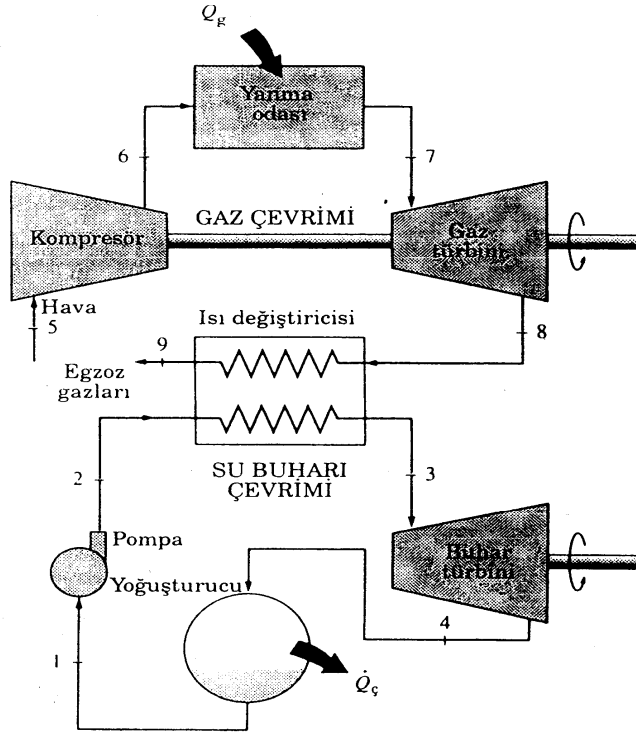
- 1-2 Kompresörde izantropik sıkıştırma
- 2-3 Sisteme sabit basınçta ($P=\text{sabit}$) ısı geçişi
- 3-4 Türbinde izantropik genişleme
- 4-1 Çevreye sabit basınçta ($P=\text{sabit}$) ısı geçişi

Gaz türbini çevrimleri, buhar çevrimlerinden daha yüksek sıcaklıklarda çalışırlar. Buharlı güç santrallerinde en yüksek türbin giriş sıcaklığı 620 °C ile sınırlı iken, bu sınır gaz türbinlerinde 1150 °C'nin üzerindedir.

Gaz türbinlerinde yüksek sıcaklıklara çıkabilmek, türbin kanatlarında etkin soğutma yapılması ve kanatların seramik gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemeye kaplanması sonucu gerçekleştirilmektedir. Isı, çevrime daha yüksek bir ortalama sıcaklıkta verildiği için, gaz türbini çevriminin daha yüksek bir ısı verime sahip olması beklenir. Fakat gaz türbini çevriminin önemli bir kusuru vardır, bu da gazların türbinden çok yüksek bir sıcaklıkta (genellikle 500 °C'nin üzerinde) çıkmasıdır. Böylece ısı verimde beklenen iyileşme silinmiş olur. Çevrime rejeneratör eklenmesiyle durum bir ölçüde düzeltilebilir. Bu nedenle gaz türbini santrallerinin ısı verimleri genellikle buhar güç santrallerinin ısı verimlerinden daha düşüktür[12].

3.4.3. Bileşik gaz buhar güç çevrimi

Daha yüksek ısı verim sağlayabilmek için süregelen çalışmalar, alışılmış güç santrallerinde yeni düzenlemelerin yapılmasına imkan sağlamaktadır. Gaz akışkanlı bir güç çevrimini buharlı bir güç çevriminin üst çevrimi olarak kullanmaktır. Bu çevrime bileşik gaz – buhar güç çevrimi veya sadece bileşik çevrim adı verilir. En çok ilgi duyulan bileşik çevrim, gaz türbini (Brayton) çevrimiyle buhar türbini çevriminin (Rankine) oluşturduğu çevrimdir. Bu çevrimin ısı verimi her iki çevrimin ısı veriminden daha yüksektir.



Şekil 3.5. Bileşik gaz- buhar santrali

Bu düşüncenin ürünü Şekil 3.5'te gösterilen bileşik gaz – buhar çevrimidir. Bu çevrimde, egzoz gazlarının enerjisi kazan işlevi yüklenen bir ısı değiştiricisinde buhar üretmek için kullanılır. Alt çevrime gerekli enerjiyi sağlayabilmek için bir kazana genellikle birden çok gaz türbini bağlanır. Ayrıca buhar çevriminde ara ısıtma ve ara buhar alma yapılabilir. Ara ısıtma için enerji, fazladan bir miktar yakıtı oksijen açısından zengin egzoz gazlarıyla yakarak sağlanabilir[13].

Gaz türbini teknolojisinde son yıllarda olan gelişmeler, bileşik gaz buhar santrallerini ekonomik açıdan çok çekici yapmıştır. Bileşik çevrim, yatırım giderlerini çok fazla artırmadan ısı verimi yükseltmektedir. Bunun sonucu olarak bir çok yeni güç santrali bileşik çevrime göre tasarlanmakta, varolan birçok buharlı veya gaz türbinli santral de bileşik santrale dönüştürülmektedir. Dönüşümü tamamlanan santrallerde ısı veriminin %40'ın üzerinde olduğu bildirilmektedir.

3.5. Kojenerasyonun Uygulama Alanları

Uygulamada kojenerasyon sistemleri üç ana grupta toplanabilir bunlar;

3.5.1. Endüstriyel

Çok miktarda elektrik ve buhar (ısı) gereksinimi olan endüstrilerde yaygın olarak uygulanmaktadır. Kimya, kağıt, tekstil, demir-çelik endüstrileri bu alanda örnek verilebilir. Bu tür sistemlerde ısı gereksiniminin temel parametre olarak alınıp, sistemin buna göre tasarlanması daha ekonomiktir. Fazla elektrik şebekeye satılabilir veya gerekirse şebekeden elektrik alınabilir.

3.5.2. Merkezi

Merkezi bir santralde hem elektrik hemde ısı üretilir. Isı, sıcak suyu veya buharı aracı akışkan olarak kullanılarak, boru şebekeleriyle bölgeye dağıtılır. Bu, uygulama, Kuzey ve Doğu Avrupa ülkelerinde yaygın olarak görülmektedir.

3.5.3. Küçük ölçekli

Paket gaz türbinleri ve gaz motorlarının gelişimi ile son on yılda yaygınlık kazanan bir uygulamadır. Genelde 5MW gücünden küçük ısı makinelerinin kullanımı söz konusudur. Hastane, üniversite kampusleri, oteller veya sistemlerde ısıtma, elektrik üretimi ve soğutma amacı ile kullanılır.

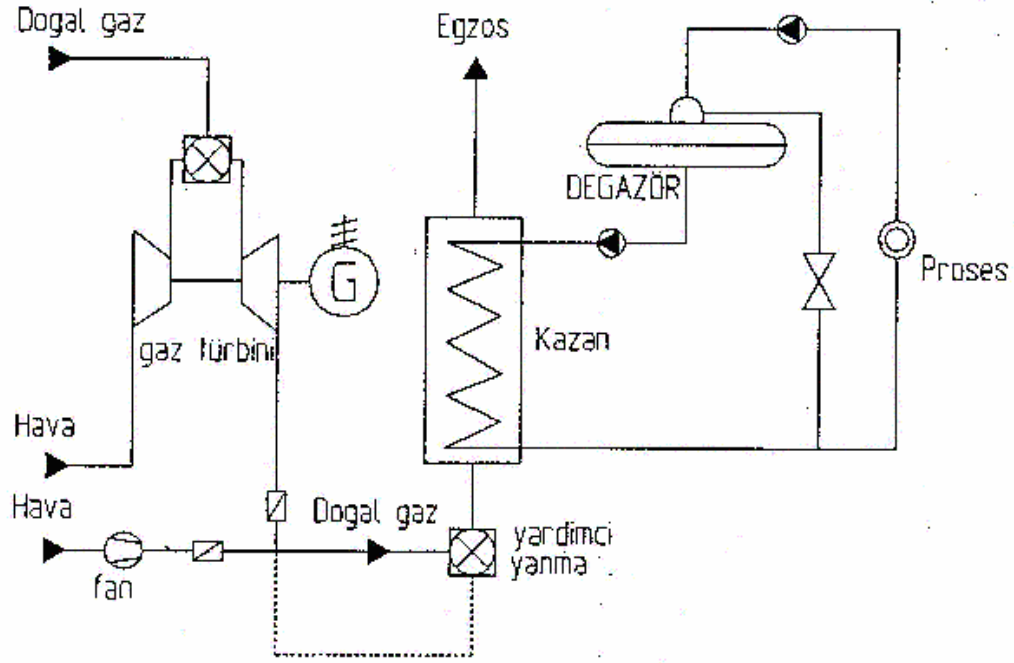
4. KOJENERASYON TEKNOLOJİLERİ

4.1. Giriş

Enerji gereksiniminin karşılanacağı tüketim biriminin özelliklerine göre aşağıda tanıtılacak sistemler kullanılarak bir kojenerasyon santrali tasarlanır. Bu sistemler genellikle gaz türbinli, buhar türbinli, gaz ve buhar türbinli (Kombine), gaz motorlu olmaktadır.

4.2. Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemleri

Gaz türbinleri özellikle son zamanlarda büyük ölçekli bileşik ısı güç santrallerinde en yaygın olarak kullanılan tahrik üniteleridir. Bu sistemler genel manada, yanma odasında komprese edilmiş hava ile enjekte yakıt karışımının ateşleme düzeni ile yakılması sonucu oluşan yüksek basınç ve sıcaklıktaki yanma gazını bir dizi kanadı döndürmek için kullanılır. Bu sayede kapakların bağlı olduğu mil döndürülmüş olur. Bu mil de akupla olduğu generatörü tahrik eder. Yanma odasına yüksek basınçta hava basılmasını sağlayan aksiyal yada santrifüj kompresörün tek yada çift şaftlı olmasına göre aynı yada ayrı bir güç türbini tarafından sağlanır[14].



Şekil 4.1. Gaz türbinli basit çevrim kojenerasyon tesisi prensip şeması

Teknik açıdan değerlendirildiğinde, gaz türbinli sistemlerin çalışma prensipleri aşağıda açıklanmaktadır.

Kompresör tarafından emilen hava sıkıştırılır. Basıncı yaklaşık olarak 12 kat artan havanın sıcaklığı da yükselir. 150°C civarındaki bu kızgın hava yanma odasına gelir. Diğer yandan yanma odasına yüksek basınçlı yakıt (Doğal gaz, LPG, Motorin) püskürtülür. Havanın yakıt oranı yaklaşık olarak 60' da biridir. Yani 60 birim hava ile 1 birim yakıt yanma odasında basınç altında yanar. Yanma sonucunda yüksek basınçlı ve 900°C ila 1200°C sıcaklığında egzoz gazı açığa çıkar. Bu gaz, türbinden geçerek sistemi terk eder.

Türbinin kanatçıkları çarpma etkisiyle dönecek şekilde dizayn edilmiştir. Dolayısıyla egzoz gazı türbinden geçerken türbin döner. Böylece türbin ile kompresör arasında bulunan şaft da dönmeye başlar. Oluşan bu mekanik enerjiye karşılık egzost gazının sıcaklığı 400°C – 600°C 'a gerilemiştir.

Sıcaklığı ve basıncı azalmış olan ve yaklaşık %15 O_2 içeren egzost gazı türbini terk ettikten sonra atık ısı kazanına gelir[15].

Burada elde edilen buhar ve/veya sıcak suyun doğrudan proseste kullanılması verimin maksimum olduğu en ekonomik çözümdür.

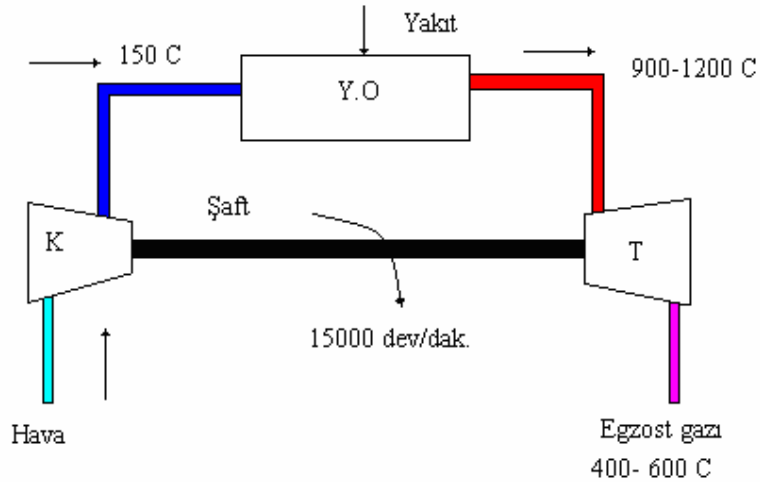
Gaz türbinleri üç ana elemandan oluşur.

Bunlar;

Kompresör, K

Yanma odası, Y.O

Türbin, T



Şekil 4.2. Gaz türbinli sistem şeması

Gaz türbinlerinin en önemli özellikleri; yüksek güvenilirlikleri ve minimum çalışma bakımı gerektirmeleridir. Rutuş bakımları senede bir kez yapılır ve genelde bir bakım - onarım kontratı ile üretici firma tarafından yürütülür. Gaz türbinlerinden maksimum verim elde edebilmek için sistem sürekli çalışmalıdır.

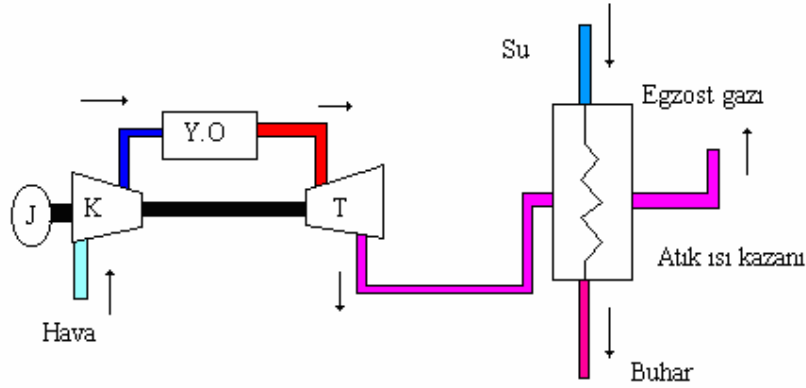
Sistemin avantajlarından bazıları aşağıda sıralanmıştır;

- Sistem az yer kaplar.
- Paket halde bulunur.
- Dolayısıyla inşa giderleri çok azdır.
- Bilgisayar kontrollü olduğu için fazla eleman gerektirmez.
- Enerji üretimi ile ısı üretimi oranları isteğe bağlı değiştirilebilir. Ek sistemlerle gerekirse elektrik üretimi artırılıp, buhar üretimi azaltılabilir veya terside mümkündür.
- Devreye alınması diğer santrallere göre daha kolay ve daha çabuktur.
- Farklı yakıt türleri kullanılabilir.
- Yüksek güvenilirlikte çalışırlar.
- Minimum çalışma bakımı gerektirir.
- Soğutma suyu gerektirmediğinden aşırı su ihtiyacı yoktur.
- Bu sebeple su kaynakları yakınlarında bulunmaları gerekmez.

Yüksek sıcaklıkta ısı enerjisi talebi var ise, gaz türbinli ünitelerin seçilmesinde fayda vardır.

4.3. Buhar Türbinli Kojenerasyon Sistemi

Türbini terk eden egzost gazları atık ısı kazanından geçirilerek atılırsa buhar enerjisi de üretilmiş olur. Bilindiği gibi egzost gazları 400-600°C arasında bulunuyordu. Egzost gazlarının sahip olduğu bu ısı enerjisi, duman borulu bir atık ısı kazanında buhar enerjisine dönüşür. Buhar enerjisi üretimi için sistem verimi %45-%55 arasındadır.

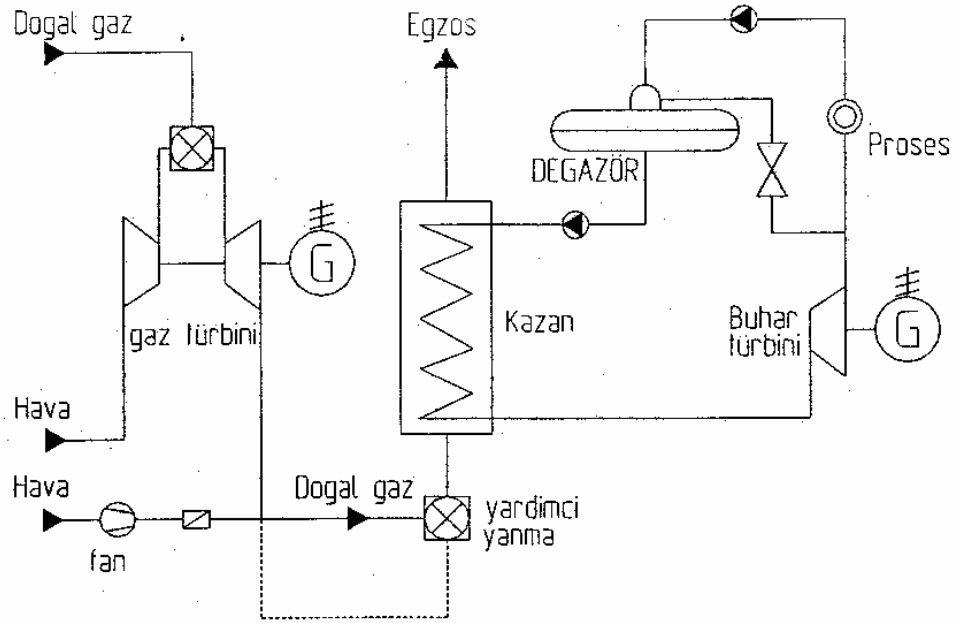


Şekil 4.3. Buhar türbinli sistem şeması

Üretilen buhar miktarı kullanılan yakıt ve basınca bağlı olarak değişir. Buhar basıncı düştükçe kullanılan buhar miktarı da artar. Atık su kazanından atılan baca gazlarının sıcaklığı 200°C civarındadır. Atmosfere atılan bu enerjiden de faydalanmak mümkündür. Atık su kazanı ile baca arasına konan bir ekonomizör ile baca sıcaklığı 100°C ' a kadar düşürülebilir. Genel olarak baca sıcaklığını 20°C düşürmek kazan verimini % 1 arttırma anlamına gelir. Ancak atık gazın su buharı ihtiva etmesi, bunun da korozyona sebep olması dolayısıyla baca sıcaklığı düşük tutulmaz.

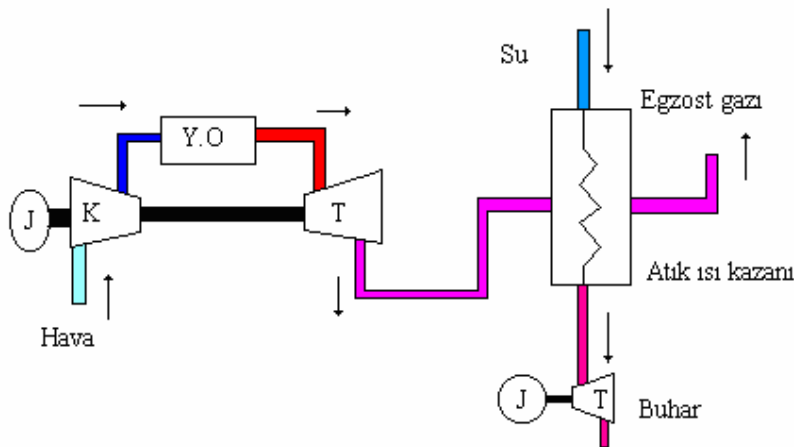
4.4. Gaz ve Buhar Türbinli Sistemler

Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinin oranca yüksek olan ısı çıkışından elde edilen buharın doğrudan proseste kullanılmasına ihtiyaç duyulmadığında, gaz türbini atık ısı sistemine bağlanan buhar türbini ile kojenerasyon sisteminden daha fazla elektrik üretilir. Bu prensiple çalışan sistemlere "Kojenerasyon Çevrim Santralleri" denilmektedir.



Şekil 4.4. Gaz ve buhar türbininden oluşan kombine çevrim kojenerasyon tesisi prensip şeması

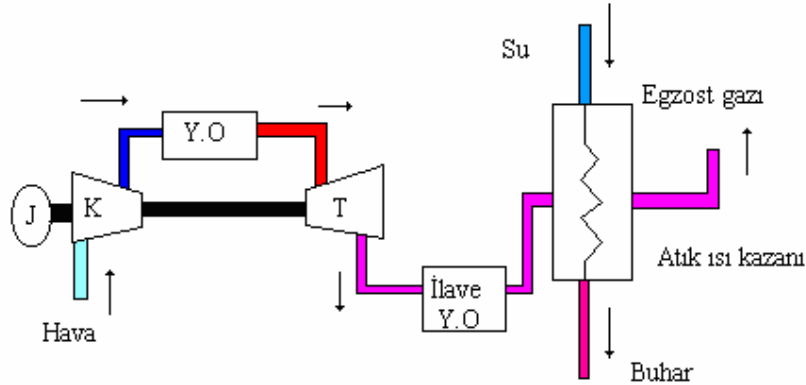
Atık ısı kazanından elde edilen buharın bir kısmı gaz türbininin yanma odasına enjekte edilebilir. Enjekte edilen buhar miktarı ayarlanabildiği için işletmenin ihtiyacına göre elektrik üretimi gerçekleştirilir. Burada kullanılan buhar miktarının kullanılan hava miktarına oranı %15 dolayındadır.



Şekil 4.5. Gaz ve buhar türbinli sistem şeması

Sistemde gaz türbininin yanı sıra atık ısı kazanında üretilen buharı kullanmak bir buhar türbini mevcuttur. Böylece atık ısı kazanında elde edilen buhar, bir buhar türbinine girerek elektrik enerjisine dönüşür. Bu şekilde buhar üretimi azalacak ancak elektrik üretimi artacaktır. Buhar türbininden çıkan buharın basıncı ve ısısı düşmüş olacaktır.

İşletmenin buhar ihtiyacı üretilen buhardan fazla ise buhar üretimini arttırmak için ilave bir yanma odası kullanılır. Gaz türbinlerinin egzost gazları %15 O_2 içeriyordu. Bu egzost gazları atık ısı kazanına girmeden ilave bir yanma odasında yakıtla yakılarak gazın sıcaklığı ve basıncı artırılabilir. Buda daha fazla buhar üretimi demektir.

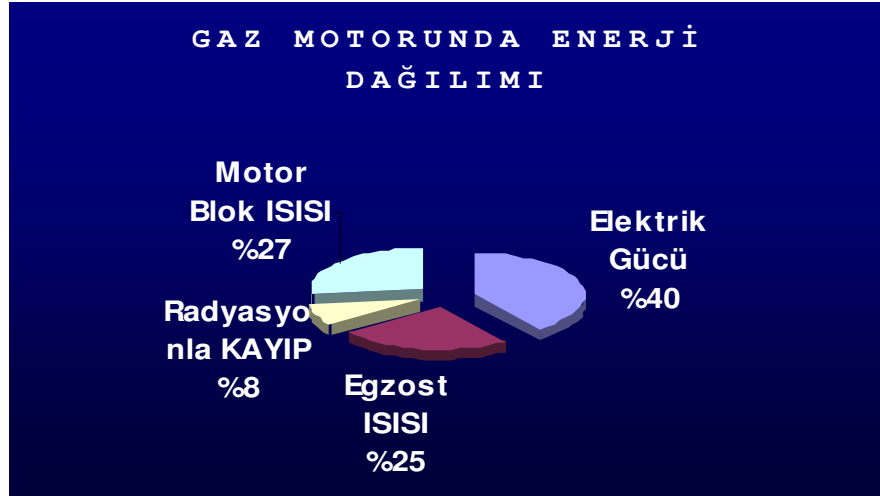


Şekil 4.6. İlave yakıt odalı gaz ve buhar türbinli sistem şeması

4.5. Gaz Motorlu Kojenerasyon Sistemleri

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

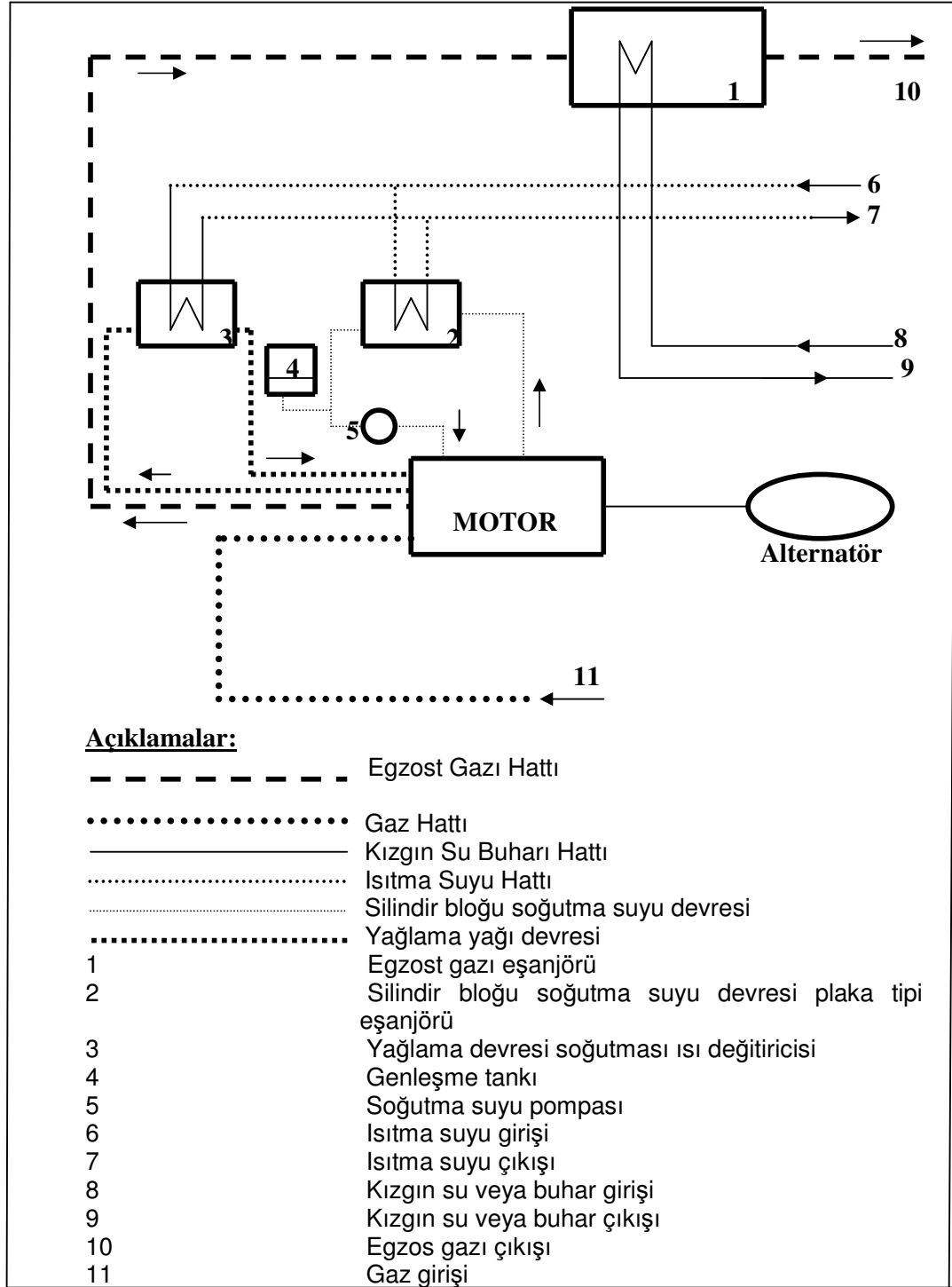
Gaz motorundaki enerji dağılımı grafiği Şekil 4.7'te gösterildiği gibidir.



Şekil 4.7. Gaz motorunda enerji dağılımı

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

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



Şekil 4.8. Gaz motorlu kojenerasyon sisteminin çalışma prensip şeması

Yukarıda bahsedilen enerji dağılımından yola çıkarak, ortaya çıkan atık ısılardan gaz motorunun, kojenerasyon (bileşik ısı ve güç üretimi) amaçlı kullanımında sistem verilen ısı enerjisi üç unsurdan elde edilir. Bunlar; gaz motorunun yağlama devresi, egzost gazları ve şarj havası, silindir bloğu soğutma devresidir.

Şekil 4.8'de gaz motorları kullanılan bir kojenerasyon tesisinin çalışma prensip şeması görülmektedir. Atık ısıları geri kazanım için kullanılan eşenjörler sistemini çeşitli modifikasyonlarda tasarlamak mümkündür. Söz konusu Şekil 4.8 ise tasarım örneklerinden bir tanesidir.

Gaz motoru uygulamalarının en önemli avantajı şunlardır;

- En yüksek miktarda elektriği üretebilecek (elektrik ısı oranı ≈ 0.8) toplam %40'a varan elektrik çevrim verimi ile elektrik tüketiminin ısı tüketimine oranla daha yüksek olduğu durumlarda seçilmesi uygun olan çözüm alternatifleridir. Bu özellikleri ile gaz motorları elektrik ihtiyacının yanı sıra, ısıtma ve/veya soğutma amaçlı ısı enerjisi gereksinimi duyan; toplu konut, tatil köyleri, oteller, yüzme havuzlu spor kompleksleri, üniversite kampüsleri gibi uygulama alanlarında çok uygun çözümler olarak karşımıza çıkmaktadır.
- %85 ile %91 arasında değişen toplam çevrim verimi türbinli sistemlerle karşılaştırıldığında, türbinli CHP (Combined Heat and Power – Bileşik ısı ve güç) sistemlerinde elektrik çevrim verimi arttıkça toplam çevrim veriminin önemli miktarda düştüğü görülmektedir.
- Fakir karışım veya katalizörlü yakma sistemlerinin çevre dostu temiz doğal gazla kombinasyonu sayesinde, çok düşük zararlı emisyon seviyesi yakalanabilir. Modern fakir karışım yanma sistemlerine haiz motorlar NO_x emisyonlarını azaltmak için katalizöre ihtiyaç görmeksizin, binlerce saat izin verilen emisyon değerlerinin altında çalışabilmektedir.

- Kısmi yük verimlilikleri ve çok modüllü konfigürasyon, gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinin en esnek CHP sistemi yapmaktadır. Kısmi yükte çalışma durumunda verimin önemli miktarda etkilenmemesi ve modüllerin gerektiğinde sırayla devreye girip çıkma imkanları, sistemin elektrik ve ısı talebinde gün içinde olagelen talep değişikliklerini ve EIO değişimlerini rahatca kompanse etmesine izin verir. Bu da gün bazında enerji maliyetlerinin minimize edilmesine yardımcı olur.
- Gaz motorunun kısa zamanda devreye alınıp, kısa zamanda devre dışı bırakılabilmesi, bir kolaylıştır. Aynı zamanda, gaz motoru, tesisin az devre elemanı içermesinden dolayı, diğer sistemlere göre daha kısa zaman sürelerinde tesis edilebilmesi ve tesis iç tüketimlerinin az olması da gaz motoruna yıllar boyu %98'in üzerinde bir emre amadelik oranı sağlar.
- Gaz motorları denilince, yakıt olarak ilk önce doğal gaz akla gelmekte fakat atık arıtma tesislerinden kanalizasyon gazı (Sewage gaz), çöp depolama tesislerinden çöplük gazı (Landfill gaz) ve benzer şekilde biyogaz, kok gazı vb. yakıtlarda kullanılabilir. Üstelik atıklardan elde edilen bu gaz türleri elektrik ve ısı üretmek için direkt olarak kullanılabilir. Bunların direkt olarak motorlarda yakılmasıyla, değerlendirilmeleri için önce yakıp buhar üretmek, bununla da bir buhar türbini çevirmek gibi ara işlemler gerekmemektedir[16].

4.6. Kojenerasyonda Sistem Seçimi

Kojenerasyon sistemleri, sistemin ekonomikliğı, teknik açıdan toplam sistem verimliliğine kullanıcının gereksinimleri dikkate alınarak, uygun bir şekilde seçilmelidir. Kojenerasyon oldukça büyük bir yatırım olduğu için, sistemin fizibilitesinin çok ayrıntılı olarak yapılması zorunluluğı vardır. Bu fizibilite sonuçları ucuzluk ve kaliteden bile daha önce gelebilmektedir. Hatta ve hatta bu sistemlerin kurulması kararı verilmeden önce danışman veya müşavir kişi

yada kuruluşlarla çalışılması yatırımcıların yararına olacaktır. Aksi halde kojenerasyon firmaları, yatırımcıları kendi ellerinde mevcut bulunan sistem ve kapasiteler doğrultusunda yönlendirirler. Örnek vermek gerekirse; firmanın elinde türbin mevcut, gaz motoru bulunmamaktaysa, yatırımcıyı türbin alma konusunda ikna etmeye çalışır. Bazı verileri dikkate almayarak ta, fizibilite çalışmasını sanki türbin daha ekonomik ve ilk yatırım tesis giderini daha kısa zamanda geri ödeyecekmiş gibi düzenleyebilir. Yada elinde gerekli kapasitede motor yoktur; yatırımcıya daha küçük yada daha büyük motorlar önererek gene fizibilite çalışmasını buna göre düzenleyebilir. Bütün bu sakıncalı durumlardan dolayı yatırımcıların, yatırım kararını vermeden önce danışman müşavir veya kontrolör kişi veya kuruluşlarla birlikte çalışması daha sağlıklı olacaktır. Yatırımcıya bir ön fikir vermek açısından, uygun sistem seçimi aşağıdaki öngörü ve parametreler dikkate alınarak yapılır.

4.6.1. Yakıt

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

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

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

4.6.2. Elektrik ısı oranı

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

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

4.6.3. Yük eğrisi

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

4.6.4. Start sayısı

Gaz motorlarının daha kolay devreye alınabilmesinden dolayı senelik start sayıları fazla olan işletmeciler için gaz motoru kullanımı kaçınılmaz hale gelir.

4.6.5. Ortam sıcaklığı

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

4.6.6. Toplam sistem kapasitesi

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

4.6.7. Elektriğin kalitesi

Elektrikteki frekans ve gerilim hassasiyetinin yüksek olduğu işletmelerde bazen sistemin karlılığına yada şebeke elektriğinin sürekliliğine bakmaksızın, kojenerasyon yatırımı zorunlu hale gelir. Özellikle hassas elektronik cihazların bulunduğu tesislerde (tekstil, computer, vs.) frekans ve gerilim değerlerinin toleransı çok azdır. Tesiste bu türden sorunlar varsa, kojenerasyon bu kuruluş için kaçınılmaz olmakta, tolerans miktarı azaldıkça ise sistem seçimi gaz motorundan gaz türbinine doğru kayacaktır[17].

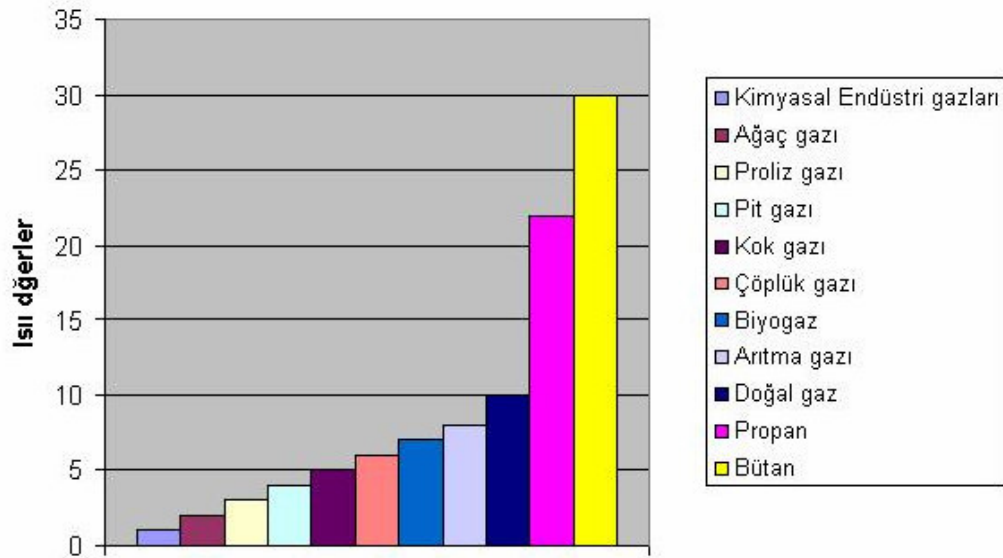
4.7. Kullanılan Yakıtlar

Kojenerasyon teknolojisi kaynakların yeniden üretilmesinden kazanılan biyogaz kullanımının ekolojik ve ekonomik bir cazip olasılığını sunar. 0.54 kWh/Nm³ 'lük bir ısı değere düşük metan sayılı kimyasal endüstriden elde

edilen gazlardan, 34 kWh/ Nm³ 'lük bir ısı değere sahip bütana kadar bir çok yakıt kullanmak olasıdır. Bu yakıt türlerinden bazı örnekler ve ısı değeri Şekil 4.9'de görülmektedir.

Şekil 4.9'daki yakıtların yanı sıra dizel türü ağır yakıtlar kullanılan motorlar, LPG ile çalışan sistemlerde çeşitli kojenerasyon uygulamalarında kullanılmaktadır.

Isıl değerler incelendiğinde çöplüklerimizde, kanalizasyonlarımızda ve bu gibi atıklarımızda adeta enerji hazinelerinin yatmakta olduğunu görürüz. Bu atıkları kontrolsüz bir şekilde çevreye atarak, sadece çevreyi kirletmekte kalmıyor, aynı zamanda enerji kaynaklarımızı da kullanamamış oluyoruz. Aşağıda bunun için küçük bir hesap örneğini göreceksiniz.



Şekil 4.9. Çeşitli birincil yakıtların ısı değeri

Şekil 4.9'deki ısı değeriyle yola çıkarsak:

2 kWh elektrik enerjisi ve 1.23 kWh ısı enerjisi için

- 5-7 kg bio-atık,
- 5-15 kg çöp,

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

Türkiye gibi sürekli enerji kesintilerinin gündemde olduğu ve devamlı nükleer ve termik santral tartışmalarının yapıldığı bir ülkede, çöplükler ancak patladığında can aldığı akla geliyor. Oysa buralarda oluşan gazlar değerlendirilirse hem çöplükler daha güvenli hale gelecek hem de enerjideki dar boğazın aşılabilmesinde önemli katkılar sağlayacaktır.

Gaz motorunda kullanılan bir yakıtın en önemli özelliklerinden biri de vuruntu direncidir. Gazın vuruntu direncini de “metan sayısı” belirler.

Benzin yakmalı motorlarda “Oktan Sayısının” vuruntu kriteri olduğu ve sıkıştırma oranı ile ateşleme açısının buna göre belirlendiği bilinmektedir. Gaz yakıtlı Otto motorlarında ise yakıtın uygunluğunu tespit etmek için hesaplanması gereken vuruntu kriteri metan sayısıdır. Metan sayısının 100’e yakın veya üzerinde olması, sıkıştırma oranını yükseltme ve böylece mekanik verimi arttırma olanağı sağlar. Bu koşulda, motor sıkıştırma oranını 12.5:1 seçmek ve gaz motoru için oldukça yüksek sayılabilecek olan %41’lik bir verime ulaşmak mümkündür[16].

5. BÖLGESEL ISITMA

5.1. Giriş

1750 sanayii devrimi hızla bir kentleşmeye neden olmuştur. Sonuçta su, kanalizasyon, toplu taşıma gibi sosyal faaliyetler de paralel olarak artmıştır. Diğer servislerde olduğu gibi ısının da merkezi bir yapıda üretilip, dağıtımının yapılabileceği fikri kendini göstermiştir[18].

5.2. Bölgesel Isıtmanın Tanımı

Bölge ısıtması, bir yerleşim biriminin bir veya birkaç merkezde kurulan santrallerle ısıtılmasıdır. Yerleşim birimi, bir site olabileceği gibi, bir mahalle veya bir kent de olabilir. Bazı uygulamalarda ısı santralleri sıcak su veya buhar üreten kazanlardan oluşur. Başka bir deyişle santralde sadece ısı üretilir. Bazı santrallerde ise ısı ve elektrik birlikte üretilir. Bu tür santrallerde buhar türbini, gaz türbini veya diesel (gaz) motoru kuruludur. İkinci uygulama bileşik ısı-güç üretimi veya kojenerasyon olarak bilinir[19].

Bölge ısıtmasının, her apartmanın veya konutun ayrı ayrı ısıtılmasına oranla bazı avantajları vardır. Bunların arasında atıkların denetlenerek çevre kirliliğinin önlenmesi, yakıtın ekonomik yakılması, yakıt seçeneklerinin fazlalığı öncelikle belirtilmelidir. Bölge ısıtmasının en büyük dezavantajı ise ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır. Ancak planlı ve düzenli yerleşim bölgeleri ile maliyeti azaltmak olanaklıdır.

Bir bölge ısıtma sistemi, ısı üretim merkezi, dağıtım şebekesi ve kullanıcı bağlantılarından oluşur.

Isı üretim merkezi, kazanlardan oluşan bir ısı santrali olabileceği gibi, bir bileşik ısı-güç santrali de olabilir. Santralde, ısının dağıtımı için aracı akışkan işlevini gören sıcak su veya buhar üretilir. Günümüzde aracı akışkan olarak

sıcak su kullanımı çok daha yaygındır. Santralde ayrıca aracı akışkanı şebekede dolaşımını sağlayan pompalar bulunur.

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

Kullanıcı bağlantıları, şebeke ile konut arasında ısı enerjisi aktarımını sağlayan eşanjör ve konut içindeki ısıtma tesisatından oluşur[19].

Bölgesel ısıtma, bir çok binanın merkezi bir santralden veya başka bir ısı kaynağından (jeotermal) veya atık su ısıtılması ve sıcak su ihtiyacının karşılanmasıdır. Santral, kombine çevrimli bir kojenerasyon santrali veya sadece ısı üreten bir santral olabilir. Bu santralde üretilen ısı, izolasyonlu çift boru yol yada buhar formunda binalara ulaştırılır.

5.3. Bölgesel Isıtma Sisteminin Elemanları

Bölgesel ısıtmada genellikle iki devre bulunur. Birincil (primer) devre; ısı merkezinde üretilen ısıyı bloklara taşıyan devredir. İkincil (sekonder) devre ise; blok bazında ısı dağıtımını yapan devredir. Birincil ve ikincil devreler blok altında eşanjör dairesi adı verilen noktada kesişirler. Burada da iki farklı çözüm vardır. Dolaylı sistemde arada bir ısı değiştirici (eşanjör) bulunur. Bu eşanjörde primer devre akışkanı vasıtasıyla sekonder devre akışkanı ısıtılır. Dolaysız sistemde ise bir pompa yardımıyla primer devre akışkanı doğrudan sekonder devrede dolaşmaktadır [20,21].

Bir bölgesel ısıtma sisteminin ana bileşenleri

- a. Isı merkezi
- b. Kompakt ısı ünitesi
- c. Eşanjör dairesi

olarak sıralanabilir. Sekonder devre genelde sıcak sulu bir kalorifer devresidir. Dolayısıyla buradaki ilgi alanımızın dışında kalmaktadır. Burada ilk üç eleman ve özellikle de primer ısı dağıtım devresi üzerinde durulacaktır.

5.3.1. Isı merkezi

Genellikle binaların bodrum katında tesis edilir. Ancak atmosfere kapalı sistemler tesis edildiği takdirde, kazanların kapasitesine ve işletme basıncına bağlı olarak belirli sınırlar aşıldığı takdirde ısı santralinin müstakil bir bina olarak tesis etmek gerekir. Bölgesel ısıtma sistemlerinde genellikle bu durumla karşılaşılmaktadır. Isı merkezlerinde başta ısıtma kazanları olmak üzere denge tankları, sirkülasyon pompaları, su yumuşatma sistemi yakıt depoları ve sistemi, kontrol ve kumanda tabloları yer alır. Isı merkezindeki ana eleman ısı üreticidir.

Bu ısı üretici:

- a. Buhar kazanı
- b. Kaynar su kazanı (HCC üstünde)
- c. Sıcak su kazanı (110°C altında)
- d. Atık ısı kazanı (kojenerasyon tesislerinde)

olabilir. Ayrıca ülkemizde jeotermal enerji de bölge ısıtmasında kaynak olarak kullanılmaktadır. Bu tip uygulamalarda ısı üretici bir eşanjör olmaktadır. Jeotermal kaynaktan gelen sıcak su ile bu eşanjörde primer devre akışkanı ısıtılmaktadır. Buhar ve kaynar su kazanları yüksek basınçlı kazanlardır ve genellikle bağımsız tesis edilmeleri zorunludur. Pahalı ve çok sıkı güvenlik önlemlerinin alınmasını gerektirirler. Sıcak su

kazanları sistemdeki suyun statik basıncı altındadır. Dolayısıyla basınç düşük, ısı merkezindeki sistem ucuz ve emniyetlidir.

Sistem seçiminin ekonomisinde primer devre dağıtım şebekesini maliyeti ile ısı merkezi maliyetinin toplamının optimize edilmesi söz konusudur. Prensip olarak ısı merkezi pahalılaştıkça, dağılım sistemi ucuzlamaktadır. Seçimde rol oynayan faktör toplam maliyetin farklı parametrelere, örneğin şebeke uzunluğuna bağlı olarak optimize edilmesidir. Şebekenin oluşturulmasında ters yönde etkileyen temel hedefler;

a. Boru çapları mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Boru çapı boru maliyeti yanında izolasyon maliyeti, armatür maliyeti ve bağlantı parçaları maliyeti üzerinde de etkilidir.

b. Dolaşım pompalarını çektiği enerji mümkün olduğu kadar az olmalıdır. Boru çapı küçüldükçe enerji maliyeti artar.

c. Özgül ısı kaybı küçük olmalıdır. Boru çapı, izolasyon kalınlığı ve taşınan enerji yoğunluğuna bağlıdır.

d. Taşınan özgül ısı miktarı (kW/kg veya kW/m^3) büyük olmalıdır. Bu sıcak su kaynar suda su gidiş ve dönüş sıcaklıkları farkın büyük olması anlamına gelir. Bu farkı büyütmek üzere su gidiş sıcaklığı artırıldığında, sistemdeki basınç artar. (Pompa gidişte olduğunda sulu sistemde, kazandaki basınç = statik basınç + su sıcaklığına karşı suyun doyma basıncı ifadesi geçerlidir.) Basıncın artması kazan ve kazan sisteminin pahalılaşmasını gerektirir.

e. Su sıcaklığı yüksek olduğunda, dolayısı ile eşanjörlerde sıcaklık farkı büyüdüğünde eşanjör boyutları ve maliyeti azalır [21].

5.3.2. Kompakt ısı ünitesi

Kompakt ısı ünitesi bölgesel ısıtma şebekesinden gelen ısı enerjisi kullanarak konutların kalorifer sistemlerinin ısıtılmasını ve kullanım ihtiyacının karşılanmasını sağlayan bir düzendir.

Ünite dış hava kompanzasyonu ile çalışan tamamı ile otomatik kontrollü bir düzendir. Üzerinde yapılan ayarlar ile dış hava sıcaklığına mekanlarda olması gereken konfor sıcaklığını belirler ve bu sıcaklığı elde etmemizi sağlayacak oranda ısınmış suyu radyatörlere gönderir, daha sıcak havalarda ünite; ilkel, sabit sıcaklıkta çalışan sistemler gibi gereksiz yüksek sıcaklıklarda çalışmayarak kullanıcının enerji tasarrufu etmesini sağlamaktadır.

Ünite ayrıca belirlediğiniz ayarlara göre kulanma sıcak suyunu depolama tankında hazırlamakta ve 24 saat sıcak su sirkülasyon borularla daire kapınızda kullanıma hazır tutmaktadır. Diğer bir özelliği ise sıcak kullanım suyu tesisatlarında sıkça rastlanan lejyonerya mikrobunu önlemek için otomatik olarak haftada bir gün lejyonerya koruması yapmasıdır. Ünite üzerinde bulunan otomatik kontrol panelinde yapı haftanın her günü için ayrı çalışma programı tanımlanabilmektedir.

Kompakt ısı ünitesi iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar;

Birincil (primer) Devre

Primer devre üzerindeki elemanlar doğrudan bölgesel ısıtma şebekesi ile bağlantılıdır. Bunlar;

- Manuel kapama ve açma vanaları ve filtre,
- Bina içerisindeki tesisat suyun ısınmasını sağlayan plakalı ısı değiştrici (ana eşanjör),
- Binaya enerji girişini açık, kapalı yada kısık olarak kontrol edebilen lineer

motorlu kontrol vanası (kombi vana),

- Bina enerji tüketimini okuyan ısı sayacı (kalorimetre)

İkincil (sekonder) Devre

Sekonder devre bina içi tesisatıdır ve iki kısımdan oluşmaktadır.

Birinci kısım primer devredeki ana eşanjörde ısınan bina tesisat suyunu ihtiyaca göre kalorifer ısınması yada sıcak su hazırlamasında kullanılır.

Burada;

- Suyun tesisat içinde dolaşmasını sağlayan ana sirkülasyon pompası,
- Suyu kalorifer yada sıcak su ısınmasına yönlendiren üç yollu vana,
- Tesisat içerisindeki suyun ısınmasından dolayı meydana gelen genleşmeyi karşılayacak genleşme kabı bulunmaktadır.
- İkinci kısım ise kullanma sıcak suyunu hazırlayan sıcak su hazırlama devresidir.

Burada;

- Isınmış bina tesisat suyu vasıtası ile şebekeden gelen suyu ısıtan sıcak su eşanjörü,
- Şebekeden gelerek ısıtılan suyu depolayan sıcak su tankı,
- Tanktaki su soğuduğunda ısıtmak üzere tanktaki suyu sıcak su eşanjörüne yollayıp, oradan da tekrar tanka depolanmasını sağlayan sıcak su pompası,
- Tankta hazır bulunan suyu bina içerisinde 24 saat sirküle eden sıcak su sirkülasyon pompası

Bu sistemler %95-98 verim aralığında çalışmakta ve herhangi bir yakıt yakılmadığı için baca gerekmemekte, bu sayede atmosferi kirletmeden çalışmakta ve kül taşıma gibi problemler ortaya çıkmamaktadır.

5.3.3. Blok ısı merkezi (Eşanjör dairesi)

Burada dolaylı ve dolaysız olarak iki ana çözüm geçerlidir. doğrudan (dolaysız) bağlantı daha basittir ve ısı kaybı daha azdır. Bu sistemi ancak sıcak sulu bölge ısıtmasında kullanmak mümkündür. Bloka beslenen su sıcaklığı iki yollu vana ile kontrol edilmektedir. Bu amaçla üç yollu kontrol vanası da kullanılabilir. Dolaysız bağlantıyı büyük sistemlerde kullanmak önemli sakıncalar yaratır. Bu sakıncaların en önemlileri:

- a. Sistemde dengeleme yapmak zorlaşır.
- b. Suç hacmi çok fazlalaşır.

Daha da küçük sistemlerde dengelemeye dikkat edilmek suretiyle, sekonder dolaşım pompası kullanmaksızın bloktaki dolaşımı da doğrudan primer devre pompalarıyla gerçekleştirmek mümkündür.

Isı pay ölçer kullanımı tartışmalıdır. Bölge ısıtması ticari bir şirketin bloklara ısı satışı şeklinde gerçekleşiyorsa, bu şüphesiz gereklidir. Ancak bölge ısıtması bir site için yapılmışsa ve bir site yönetimi varsa, bu durumda dairelere yakıt gideri paylaşılması bu yönetimce yapılabilir ve blok bazında ısı pay ölçere gerek kalmaz. Ancak ısı pay ölçer kullanılmadığında özellikle bu doğrudan sistemlerde pratikte ısıtma sıcak suyunun amaç dışı kullanımı söz konusu olmaktadır. Bunun da önüne geçebilmelidir. Bu amaç dışı kullanım sorunu dolaysız sistemlerin en önemli dezavantajıdır.

Dış hava kompansasyonlu kontrol paneli konulan pek çok yerde çalıştırılmamakta veya by-pass edilerek devre dışı bırakılmaktadır. Bu nedenle bu sistemlerde blok bazında kontrol yerine merkezde suyun sıcaklığının kontrol edilmesi Türkiye şartlarında daha gerçekçidir.

Dolaylı bağlantıda, primer ve sekonder devre kesiminde bir eşanjör bulunmaktadır. Bu eşanjörün plakalı tipte olması giderek yaygınlık kazanmaktadır. Dolaylı bağlantı hem sıcak sulu bölge ısıtmasında hem de kaynar sulu bölge ısıtmasında uygulanabilir. Bloka beslenen su sıcaklığı iki yollu vana ile kontrol edilmektedir. Bu amaçla üç yollu kontrol vanası da kullanılabilir. Dolaylı bağlantıyı büyük sistemlerde, yüksek bloklara hizmet veren sistemlerde ve kaynar su sistemlerinde tek seçenektir.

Bu sistemlerde pratikte sıcak suyunu amaç dışı kullanımı daha zordur. Dış hava kompansasyonlu kontrol panellerinin bu sistemlerde kullanımı daha gerçekçidir, hatta kaynar su sistemlerinde şarttır. İki yollu bu kontrol vanası elektrik kesildiğinde ve sekonder devre sirkülasyon pompası durduğunda yay geri dönüşlü ile devreyi kapatmalıdır. Ayrıca yine bu vananın sekonder devre sıcaklığı kontrolsüz olarak belirli bir değerin üzerine çıktığında yine devreyi kapatma özelliği olmalıdır. Yani bu vana hem kontrol ve hem emniyet vanası fonksiyonlarına sahip olmalıdır. Ancak sıcak sulu yalnız ısıtma amaçlı bölge uygulamalarında suyun sıcaklığının merkeste kontrol edilmesi düşünülebilir [21].

5.4. Bölgesel Isıtma Yapan Santral Türleri

5.4.1. Klasik ısı santralleri

Bu tip santraller sıcak su, kaynar su veya buhar üreten kazanlardan oluşmakta ve fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Santralden çıkan suyun sıcaklığı 110-150° C arasında değişmektedir. Ancak bazı eski sistemlerde suyun sıcaklığı 180° C kadar çıkabilmektedir. Yüksek basınçlı buhar kazanlarının maliyeti fazla olduğu için daha çok endüstriyel ısı ihtiyacının olduğu bölgelerde tercih edilmektedir.

5.4.2. Bileşik ısı - elektrik santralleri

Gaz türbinli, buhar türbinli veya dizel motorlu türdendirler. Bileşik ısı - elektrik üretiminde sık kullanılan bir terim olan ısı - elektrik oranı santralden alınan ısıнын santralde üretilen elektriğe oranıdır. Bu oranın alt sınırını termodinamik, üst sınırını ise ekonomik faktörler belirler.

5.4.3. Jeotermal enerjiyle bölgesel ısıtma

Jeotermal kuyulardan sağlanan suyun sıcaklığı elektrik üretimi amacıyla kullanılamayacak kadar düşüktür. Bu durum en ideal kullanım yeri olarak bölgesel ısıtmayı ön plana çıkarmaktadır. Jeotermal enerji ile bölgesel ısıtmanın ilk ve en önemli uygulaması Reykjavik'te (İzlanda) yapılmıştır. Sistem 1930 yılında kurulmuş, daha sonra iki kez büyütülmüştür. Son kapasitesi 250 MW'tır. Su sıcaklığı ise 80 - 127° C arasında değişmektedir. Boru şebekesinin yansı tek boruludur. Bölgesel ısıtmada kullanılabilecek düşük entalpili jeotermal kaynaklara örnek olarak, şu an ön çalışması yapılmış olan Yunanistan Traianoupolis Evros bölgesi verilebilir. Bu bölgedeki jeotermal su sıcaklığı 53-92° C arasındadır. 200m derinlikteki kuyulardan 250m³/h üzerinde su çekilmektedir. Bu çalışmaya göre jeotermal bölgesel ısıtma sistemi ile bu bölgede bulunan üç belediyenin ısı ihtiyacının tamamı karşılanabilecek durumdadır [2,22].

5.4.4. Katı atık yakma santralleri

Ekonomikliği tartışılmakla birlikte bu santrallerden de bölgesel ısıtma için faydalanılmaktadır. Kentlerin büyümesi ve kalabalıklaşması ile miktarı hızla artan çöp ve benzeri katı atıkların klasik yöntemlerle ekonomik ve kolay bir şekilde stabil bir hale getirilmesi önemli bir sorun oluşturmaktadır. Çözümü otoriteler; çöpün bir santralde yakılıp, elde edilen ısıнын bölgesel ısıtmada kullanımında görmüşlerdir. Ancak bu yolla elde edilen ısıнын maliyeti diğer üretim metotlarına göre çok yüksektir. Çünkü çöpün ısı

değeri en iyi halde bile linyitin ısı değeri azdır ve yanmayan madde miktarı ile nem oranı oldukça yüksektir. Ayrıca katı atık yakma santrallerinde yatırım maliyeti klasik ısı santrallerinkinden çok yüksek ve yanma verimi en iyi halde bile % 60'ı geçmemektedir. Çöpün ısı değerini yükseltmek için fosil yakıtlarla karıştırılarak yakılması da mümkündür. Atık yakmayı sadece alternatif enerji kaynağı olarak değil aynı zamanda depolama alanlarındaki bertaraf yöntemlerinin fiyatını da düşürmesi bakımından değerlendirmek gerekmektedir [2,23].

Katı atık yakma santralinin bölgesel ısıtmada kullanılabilmesi için yıllar boyunca tam yükte çalışması, çöp miktarının 3 ton/h değerinden az olmaması ve ısı maliyetinin diğer yollarla üretilmesi halinde oluşan farkın atıktan sorumlu otorite tarafından karşılanması gerektiği görülmüştür.

Katı atıklar İsveç'te önemli bir enerji kaynağıdır. Yaklaşık olarak 5.1 TWh katı atıkların yakılmasından, 0.4 TWh ise depolama gazlarından ve organik atıkların anaerobik olarak ayrışması ile elde edilen biyogazdan elde edilmektedir. Enerjinin büyük bir bölümü bölgesel ısıtma amacı ile kullanılmaktadır. Toplamda güç tesisleri, kojenerasyon ve bölgesel ısıtma tesislerinde yakılan yakıtın %7 si atıklardan temin edilmektedir. Son yıllarda İsveç'te hizmet sektöründe ve konutlarda su ve yer ısıtması için gerekli enerjinin %40'ı bölgesel ısıtma tesislerinden elde edilmektedir. Biyoyakıt kullanımı İsveç'te bölgesel ısıtma sektöründe 1990 yılında yaklaşık 38 PJ iken hızlı bir gelişme göstererek 1999 yılına kadar 99 PJ'ye yükselmiştir. İsveç'te biyoenerjinin kullanımı konut sektörü gibi birkaç sektörde gelişme göstermektedir. Atmosferdeki sera etkisine neden olan gazların emisyonlarını düşürmesi nedeni ile biyoyakıt kullanımının arttığı düşünülmektedir[24-26].

5.4.5. Nükleer enerji santralleri

Şu anda ısı santrallerine tam bir alternatif olmamakla birlikte bazı bölgesel ısıtma sistemlerinde ısı santrali olarak kullanılmaktadırlar. Nükleer enerji santralleri ucuz yakıt ve iyi bir kontrolle yok denecek kadar az çevre kirliliği gibi avantajlarının yanında, yüksek ilk yatırım maliyeti, santralin yerleşim yerlerinden uzağa kurulması ve kısmi yükte çalışmama gibi dezavantajlara sahiptirler. Nükleer enerji ile bölgesel ısıtma ancak bileşik ısı -elektrik üretimi ile birlikte yapılmak zorundadır. Çünkü nükleer reaksiyonun ve dolayısıyla ısı üretiminin zamanla arttırılıp azaltılması oldukça zordur. Aynı zamanda ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşu enerji maliyetinin düşük tutulabilmesi için santralin tam yükte çalışmasını zorunlu kılmaktadır. Bölgesel ısıtma için nükleer enerjiden faydalanan ilk uygulama Fransa'daki Agesta santralidir. Santral 1957 yılında yapılmış olup bileşik ısı - elektrik santrali olarak çalışmaktadır ve ısı gücü 55 MW tır. Bu güç kentin toplam ısı yükünün % 60' ını karşılamaktadır. Santral granite oyulmuş bir hacim içinde yeraltına yapılmış, en yakın konuta 2 km uzakta yerleştirilmiştir.

6. BİLEŞİK ISI-GÜÇ ÜRETİMİ İLE BÖLGE ISITMASI VE EKONOMİK OLURLUĞU

6.1. Giriş

Dünya petrol rezervinin 2050, doğal gazının 2070 ve kömürünün de 2150 yılında tükenmiş olması beklenmektedir. Bu durumda alternatif enerji kaynaklarının üzerindeki araştırmaların ve projelerin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca insanlığın enerji israfından vazgeçmesi ve enerjiyi en yüksek verimle kullanabilecek teknolojik yenilikleri de gerçekleştirmek için özel çaba sarf etmesi gereklidir. Ülkemiz enerji kaynakları, teknoloji ve finansman açısından dışa bağımlı bir ülkedir. Bu durum enerji sektöründe uzun vadeli ve etkin planlamaların önemini arttırmaktadır.

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

Endüstriyel prosesler veya bölgesel ısıtma için elektrik ve ısının birlikte üretilmesi, enerji verimini artıran bir tercihtir. Kojenerasyon sisteminin uygulanmasıyla CO₂ emisyonunda azalmaktadır. 1990' ların ortalarında Avrupa Birliği'nde elektrik üretiminin %10 undan daha azı üye ülkeler arasında önemli değişiklikler ile birlikte üretilmekteydi. Bu değişiklikler; endüstriyel yapıdaki farklılıklardan veya kentsel fiziksel yapıdan daha ziyade farklı yasaların gücü ve ulusal kanunlardan kaynaklanmaktadır. Tek enerji taşıma (single energy carrier) yönergesi kojenerasyon gelişimini desteklemekte fakat bölgesel ısıtma alt yapı sistemlerinin gelişmesini ve genişlemesini desteklemektedir [27].

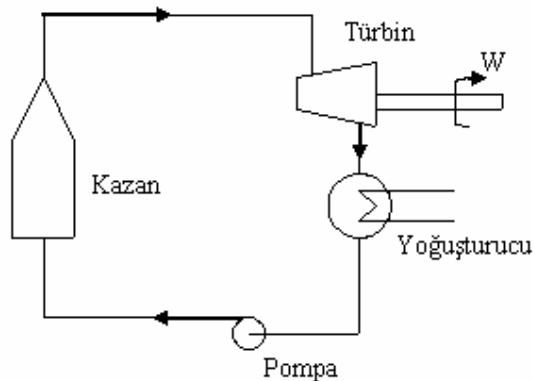
6.2. Kojenerasyonun Bölge Isıtmada Kullanılabilirliği

Kojenerasyonun (Bileşik ısı- güç santrallerinin) bölgesel ısıtmada kullanılması durumunda büyük boyutlarda yakıttan tasarruf edilebilmekte ayrıca elektrik enerjisi de üretilmektedir. Kojenerasyon santrallerinde yakıt enerjisinin yaklaşık %15-30'u elektriğe dönüşmekte %40-60'ı ise ısı tüketicilerine verilmektedir [28].

Kojenerasyon santralinde üretilen ısı izolasyonlu çift boru yol yada buhar formunda binalara ulaştırılır. Isı enerjisi 130°C'ye kadar şehir şebekesiyle pompalanmakta ve bina altı ısı dönüştürücü istasyonlar (kompakt ısı ünitesi) vasıtası ile binaların ısı kullanma sıcak suyunun hazırlanmasını sağlamaktadır. Isı enerjisi 365 gün 24 saat ısınma ve kullanıma hazırlığı için kullanıma hazır olarak binaya teslim edilir.

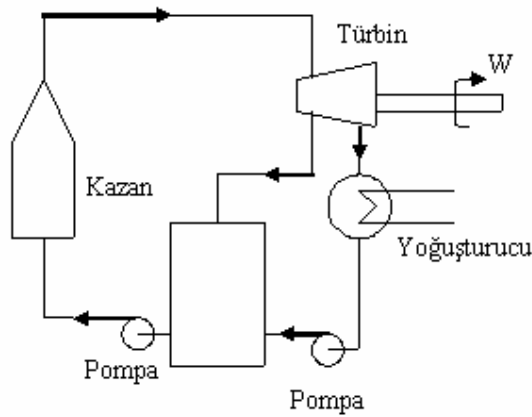
Aşağıda bileşik ısı-güç üretimi için kullanılabilecek farklı sistemler ele alınmış, teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılmıştır.

Bileşik ısı-güç üretimi için kullanılabilecek sistemlerden biri kazan-buhar türbini seçeneğidir. Buhar çevrimine dayalı bu sistemde karşı basınçlı ve ara buhar almalı-yoğuşturuculu olmak üzere iki farklı düzenleme düşünülebilir. Bu düzenlemeler Şekil 6.1 ve 6.2' de gösterilmiştir. Buharlı çevrimlerde her türlü yakıt kullanılabilir.



Şekil 6.1. Karşı basınçlı buhar türbini çevrimi

Karşı basınçlı çevrimde, buhar türbin çıkışında, ısıtma sıcaklığına karşı gelen doyma basıncında yoğuşturulur. Böylece yoğusturucu, ısıtma şebekesine verilen ısıнын kaynağı olur. Karşı basınçlı buhar çevriminin ısı verimi %20 dolaylarındadır ve bu tür sistemlerin elektrik üretim güçleri 1 ile 10 MW arasında değişir. Bu sistemlerde elektrik-ısı oranı 0,15 ile 0,2 arasında olup, verilen bir çevrim için sabittir. Üretilen elektrik veya ısıнын miktarı, türbinden geçen buhar debisini azaltarak veya çoğaltarak değiştirilir.

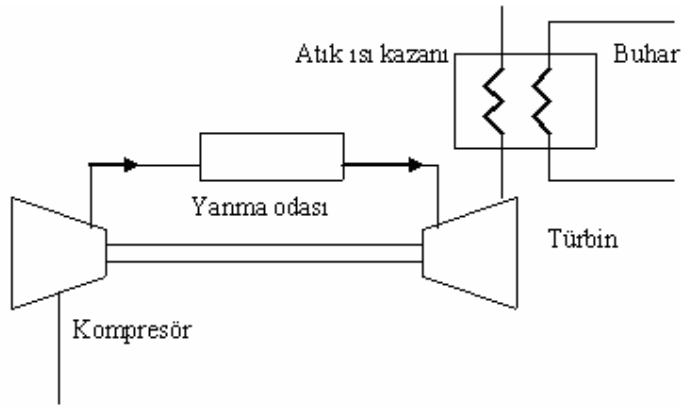


Şekil 6.2. Ara buhar almalı yoğusturuculu buhar türbini çevrimi

Ara buhar almalı-yoğusturuculu çevrimde, yoğusturucu basıncı atmosfer basıncının çok altındadır. Buhar 30-40 derece arasında bir sıcaklıkta yoğuşur. Isıtma enerjisi ise daha yüksek bir basınçta türbinden ayrılan buharla sağlanır. Ara buhar almalı buhar çevriminin ısı verimi %20-%30 arasındadır, elektrik üretim gücü ise 10 ile 50 MW arasında değişir. Elektrik ısı oranı türbinden ayrılan buhar miktarını azaltarak veya çoğaltarak değiştirilebilir. Bu bakımdan ara buhar almalı çevrim, çalışma süresince değişen ısı ve elektrik yüklerini karşılamada daha esnektir. Elektrik-ısı oranı, türbinden ayrılan buhar miktarına bağlı olarak 0,15 ile 0,4 arasındadır.

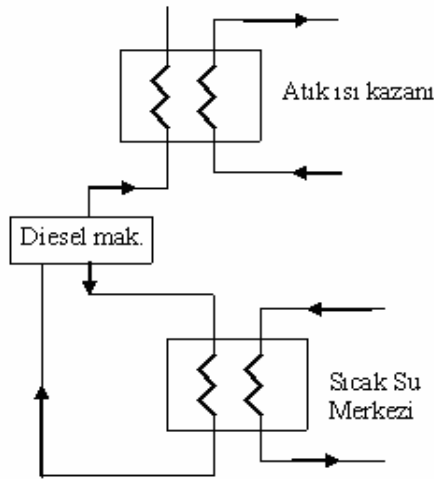
Bileşik ısı-güç üretimi için kullanılabilecek bir başka seçenek Şekil 6.3'te gösterilen gaz türbini-atık ısı kazanı düzenlemesidir. Bu düzenlemede çıkan yüksek sıcaklıktaki gazlar bir atık ısı kazanında buhar veya sıcak su üretmek için kullanılır. Elektrik üretim gücü 2 ile 50 MW, ısı verim ise %25 ile %30

arasındadır. Gaz türbinlerinde doğal gaz, LPG veya nafta yakıt olarak kullanılabilir. Bu tür santrallerde elektrik-ısı oranı 0,5 mertebesinde. Türbin çıkışına konacak olan bir yönlendirme (by-pass) mekanizması ile atık gazlar ısı gereksinimin az olduğu zamanlarda, kazana gönderilmeyerek doğrudan atmosfere verilebilir. Bileşik ısı-güç üretiminde kullanılan gaz türbinleri, uçak motorlarının tasarımına dayanan aero-derivativ türden veya yer santrallerinde kullanılan ağır (heavy duty) türden olabilir.



Şekil 6.3. Gaz türbinli bileşik ısı-güç sistemi

Bileşik ısı-güç üretiminde son yıllarda yaygınlaşan bir başka uygulama Şekil 6.4'te görülen diesel veya gaz motoru ile atık ısı kazanının kullanılmasıdır. Bu düzenlemede motorun egzoz gazları bir atık ısı kazanından geçirilerek buhar veya sıcak su üretmek için kullanılır. Ayrıca motorun soğutma suyundan, sıcak su üretimi için yararlanılabilir. Elektrik üretim gücü 0,5 ile 10 MW, ısı verim ise %40 ile %50 arasındadır. Diesel veya gaz motorlu bileşik ısı-güç üretiminde elektrik ısı oranı yaklaşık 1'dir. Burada da, atık gazlar ısı gereksinimin az olduğu zamanlarda, bir yönlendirme mekanizmasıyla doğrudan atmosfere verilebilir. Diesel veya gaz motorlarında yakıt seçenekleri motorin, doğal gaz, LPG ve nafta'dır.



Şekil 6.4. Diesel motorlu bileşik ısı-güç sistemi

6.3. Bileşik Isı-Güç Üretimi ile Bölge Isıtmasının Ekonomik Olurluluğu

Kojenerasyon konusu, özellikle enerji sektörünün çok hassasiyetle üzerinde durulması gereken bir konudur. Kojenerasyon sistemlerinin ekonomik ömürleri 100 000 -150 000 saat mertebesinde. Bu da yaklaşık 12-20 yıla tekabül etmektedir [29]. Enejiyi akılcı ve verimli kullanan kurum ve kuruluşlar daha fazla rekabet etme imkanına kavuşacaktır.

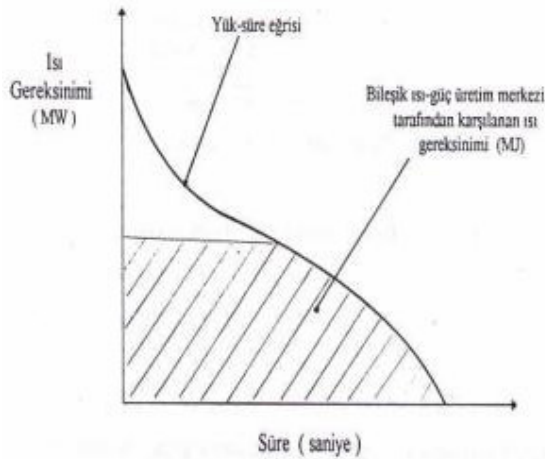
Bileşik ısı-güç üretimi kullanarak yapılan bölge ısıtmasının olurluluğuna termodinamik, ekonomik ve iklimsel parametreler birlikte gözönüne alınarak karar verilir.

Ekonomik olurluluğun birlikte belirlenebilmesi için sistemin yıllık net işletme geliri ile yatırım giderinin hesaplanmaları gerekir. Yıllık net işletme geliri, bölgenin ısı ve elektrik gereksinimlerinin ayrı ayrı karşılanması durumunda yıllık olarak ödenecek ısıtma, elektrik, personel, bakım onarım giderlerinin toplamından, bileşik ısı-güç santralinin yıllık yakıt, personel, bakım onarım giderlerinin toplamını çıkartarak bulunur. Yatırım gideri ise bileşik ısı-güç santralinin satın alınması ve kurulması ile ilgili olarak başlangıçta ödenen paradır. Bu değerler belirlendikten sonra geri ödeme süresi, şimdiki değer,

yıllık net kazanç gibi ekonomik analiz yöntemlerinden biri ile yatırımın karlılığına karar verilebilir [30].

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

Bileşik ısı-güç santralının kullanılma oranı (yük faktörü) gözönüne alınması gereken bir başka parametredir. Yük faktörü iklim koşullarına bağlıdır. Bileşik ısı-güç santralının kapasitesi belirlenirken yük- süre eğrisinden yararlanılır. Aşağıda bir yük-süre eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Yük-süre eğrisi

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

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

Bazı durumlarda üretilen ısı ve elektriğin fiyatlandırılması söz konusu olabilir. Fiyatlandırma; ürünlerin enerji veya ekserjini göz önüne alarak yapılabilir. Ürünlerin enerjilerini göz önüne alarak yapılacak hesaplama için aşağıdaki bağıntı kullanılabilir [31].

$$f_e + f_q / EIO = f_y / \eta + C \cdot a / (s \cdot E) \quad (6.1)$$

burada,

f_e : Elektriğin fiyatı, (para birimi / kJ),

f_q : Isının fiyatı, (para birimi / kJ),

f_y : Yakıt fiyatı, (para birimi / kJ),

EIO : Bileşik ısı-güç santralının elektrik-ısı oranı

η : Bileşik ısı-güç santralının ısı verimi

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

a : Amortizman faktörü (capital recovery factor).

s : Santralin yıllık çalışma süresi (saniye)

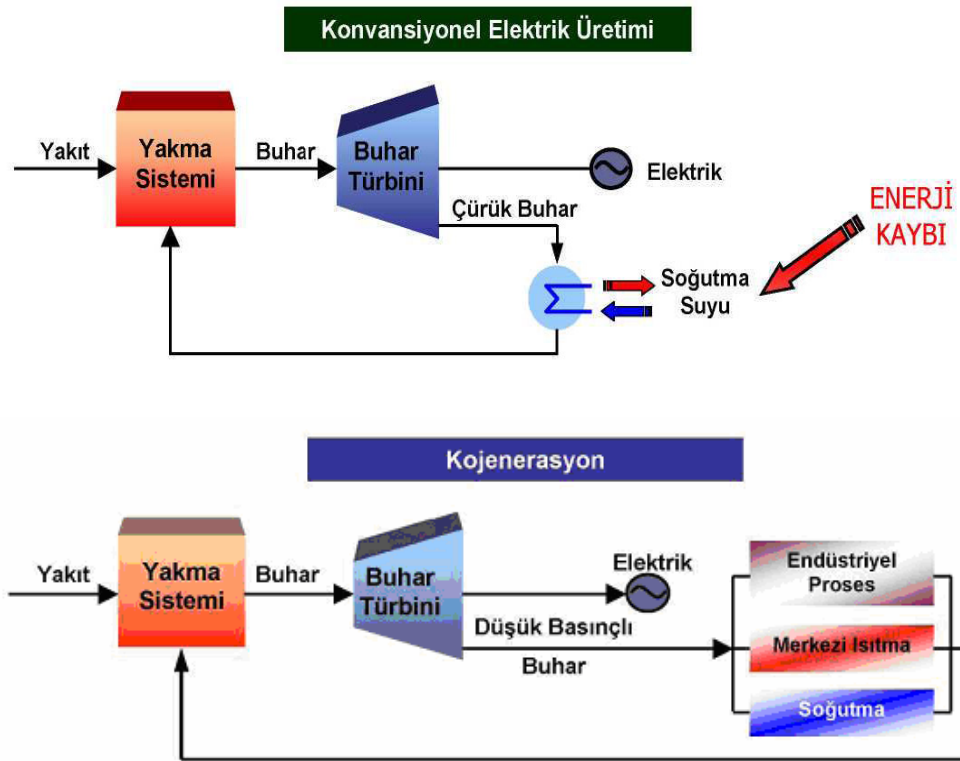
E : Santralin elektrik üretim gücü (kW)

olmaktadır.

(6.1) numaralı bağıntıda elektrik ve ısının fiyatları iki bilinmeyen olarak yer almaktadır. Bu nedenle bir bağıntıya daha gerek duyulur. Ürünler enerji bazında eşit fiyata sahip kabul edilir, başka bir değişle $f_e = f_q$ alınabilir. Bir başka yaklaşım da yatırım masraflarını elektriğe yıkmaktır, bu durumda $f_q = f_y$ alınır.

6.4. Kojenerasyon İle Klasik Güç Santralinin Karşılaştırılması

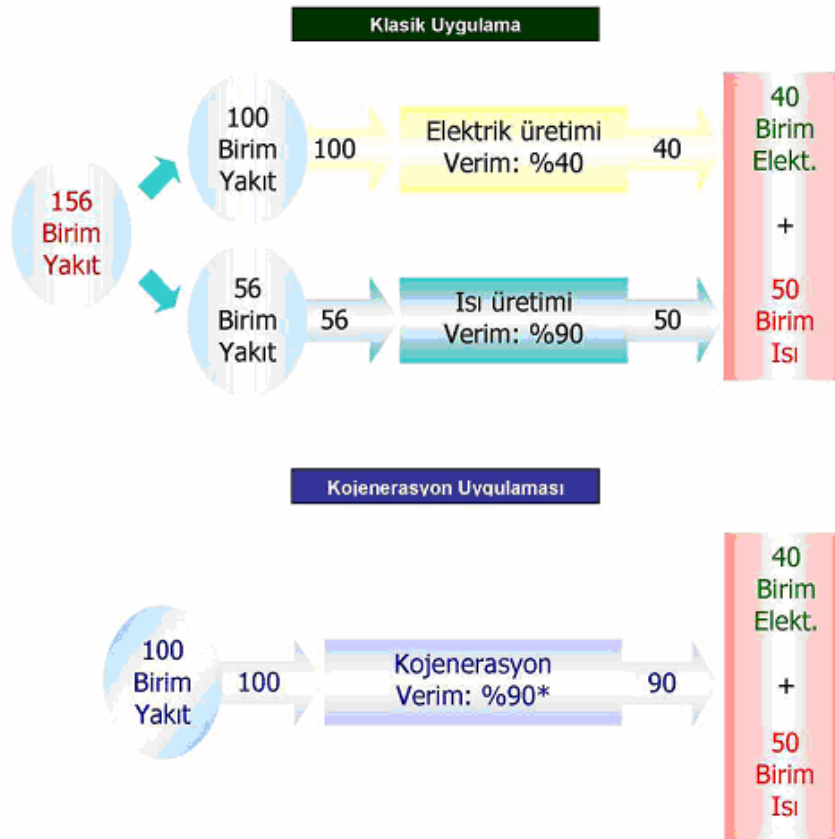
Enerji uygulamalarında kojenerasyon, yani bileşik ısı-güç üretim sistemleri (CHP, Combined Heat and Power), buhar ve elektriğin birlikte üretildiği sistemlerdir. Bu yöntemle, elektrik üretirken kaybedilen çürük buhar yoğuşma ısısı değerlendirilerek enerji verimliliği artırılır. Kojenerasyon, oluşan çürük buharın değerlendirilmesiyle, konvansiyonel sisteme göre enerjiden daha fazla yararlanılmasına dayanır.



Şekil 6.6. Kojenerasyon ve konvansiyonel elektrik üretimi

Elektrik üretimi sırasında oluşan çürük buharın çok geniş bir kullanım yelpazesi vardır. Enerjiye değişik şekillerde (elektrik/buhar) ihtiyaç duyan tüketicilerin, aynı anda tek bir tesisten ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri birçok yarar sağlamaktadır.

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

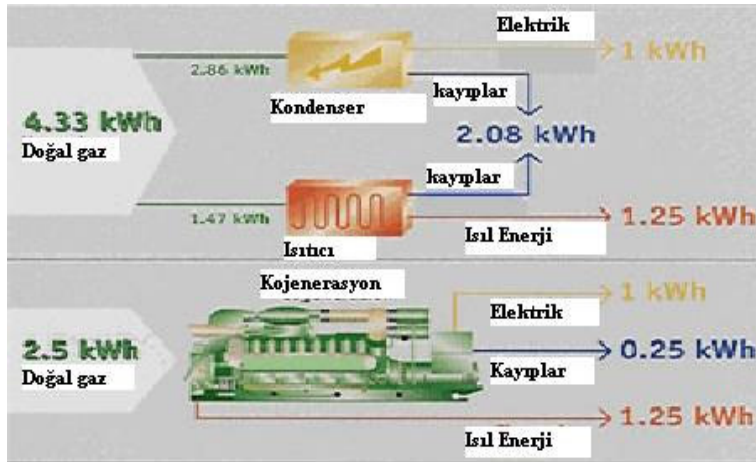


Şekil 6.7. Kojenerasyon sistemi ve klasik sistemlerde elektrik ve ısı enerjisi üretiminin karşılaştırılması

Kojenerasyon kısaca, enerjinin hem elektrik hem de ısı biçimlerinde aynı sistemden beraberce üretilmesi veya tüm ısı makinalarının çevreye vermek zorunda oldukları atık ısıdan yararlanmak olarak tarif edilir. Bu birliktelik, iki enerji biçiminde tek tek kendi başlarına ayrı yerlerde üretilmesinden daha

ekonomik sonuçlar vermektedir. Basit çevrimde çalışan, yani sadece elektrik üreten bir gaz türbinli yada motoru kullandığı enerjisinin %30-40 kadarını elektriğe çevirebilir. Bu sistemin kojenerasyon şeklinde kullanılması halinde sistemden dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin büyük bir bölümünde kullanılabilir enerjiye dönüştürülerek toplam enerji girişinin %70-90 arasında değerlendirilmesi sağlanabilir. Her iki enerji biçiminin ayrı ayrı aynı miktarda üretilmesi için gerekli birincil enerji miktarının, bunların kojenerasyonla üretilmesi durumunda ne oranda azalacağı Şekil 6.8 'de görülmektedir.

Şekil 6.8'e göre kojenerasyon tekniği ile kullanılan birincil enerjiden tasarruf %42 seviyesinde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla kojenerasyon sisteminin çevreye en önemli katkılarından biride burada ortaya çıkmakta, büyük enerji tasarrufu yanında atık emisyonları da aynı oranda azalmaktadır.



Şekil 6.8. Kojenerasyon ve diğer üretim sistemleri arasındaki ısı bilanço

Klasik güç santrallerinde fosil esaslı yakıt enerjisinin yaklaşık üçte biri elektrik enerjisine dönüştürülebilmekte ve üçte ikisi ise çevreye atılmaktadır. Buna karşılık kojenerasyon sisteminde elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan atık ısı, eşanjörler yardımı ile çeşitli ısı ihtiyaçları için (sıcak su, buhar, absorpsiyonlu soğutma, vb.) değerlendirilmektedir. Gazla çalışan kojenerasyon sistemlerinde elektrik ve ısı aynı anda üretilmesi ile

%80-90 oranında verim elde edilebilmektedir. Böylece pirimer enerjinin atık kısmı minumum düzeyde tutulmaktadır. Bu yüksek sistem verimi sayesinde kojenerasyon sistemi, ilk yatırım tesis giderinin 1,5-6 sene gibi kısa bir sürede geri ödemektedir [20,32].

Atık ısıdan doğrudan, yararlanılmadıkça %35-55 aralığında uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bileşik çevrimde dünyada en iyi örneklerinden biri olmasına rağmen, İstanbul Ambarlı Bileşik Çevrimi Santrali'nde ısı verim değeri %50 civarında kalmaktadır. Oysa atık ısıdan yine ısı olarak faydalanılan kojenerasyon sisteminde toplam sistem veriminin yani %80-90 lara kadar çıkarılması mümkündür.

Karbon miktarının azaltılmasında, etkili bir enerji teknolojisi olarak değerlendirilen kojenerasyon, ilk enerji girdisinin büyük miktarlarını muhafaza etmesinden dolayı endüstriyel tesisler içinde olası bir alternatif olarak düşünülmektedir. Yaklaşık olarak %10-30 oranında yakıt tasarrufu sağlayarak, çeşitli yakıtlardan ısı ve elektrik enerjisi üreten kojenerasyon sistemleri, kağıt ve kağıt hamuru, kimyasal madde, gıda, petrol rafineleri tekstil ve gübre endüstrileri gibi çok çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır.

Kojenerasyon; tekstil, kağıt, seramik, kimya, sunta gıda, metal işleme gibi ısı ve elektriğin yoğun olarak kullanıldığı sektörlerde enerjinin maliyetini yarıya yakın düşürmekte ve bu sektörlerde rekabetin vazgeçilmez araçlarından biri olmaktadır [33,34].

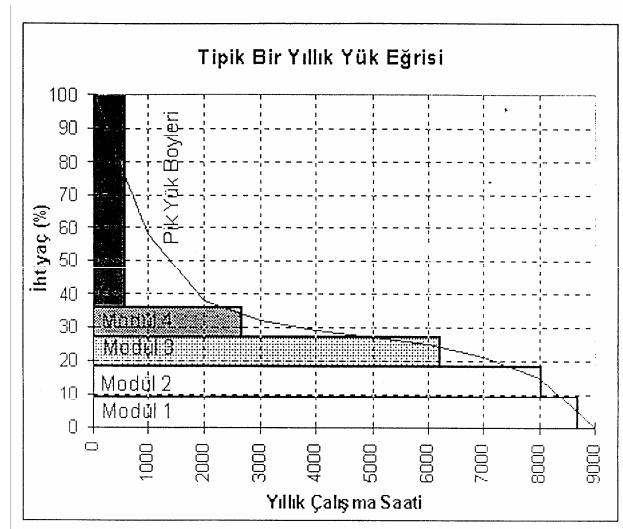
Kojenerasyon sistemleri enerji verim değerinin gerekliliği üzerinde kurulduğu kadar endüstriyel enerji alanında karbon miktarının azaltılması yönündeki politikaları desteklemek temeli üzerinden kurulmuştur. Çünkü insanın neden olduğu CO₂ emisyonlarının kaynağını; endüstri sektörü ve enerji üretimi sağlayan sistemler oluşturmaktadır. Fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan yüksek CO₂ konsantrasyonları sera etkisinin oluşmasına neden olmaktadır, bu ise önemli bir çevresel problemdir. Kojenerasyon, üretilen CO₂ miktarının

düşürülmesi ve enerji korunumu için en iyi ve en pratik yollardan biridir. Bu nedenle günümüzde mevcut tesislerde yeni veya daha verimli çift amaçlı kojenerasyon sistemleri kurulmaktadır [35-37].

Kojenerasyonu asıl verimli kılan; çalışma saatinin maksimum çıkarılıp, elektrik ve atık ısısında sürekli kullanılmasını sağlamaktır. Bu yüzden elektrik ve ısı ihtiyaçları ile elektrik ısı oranı değiştikçe bu değişimi kompanse edebilecek sistemlere ihtiyaç vardır.

Bu sistemlerin başlıcaları şunlardır :

1- Birden fazla modül kullanmak: Kojenerasyon sistem seçiminde Şekil 6.9'daki gibi bir yıllık yük eğrisini belirlemek çok önemlidir. Bu eğriden yola çıkarak özellikle gaz motoru kullanılacak sistemlerde birden fazla modül kullanmak daha ekonomik olabilmektedir. Bunu daha kaba ve basit anlatacak olursak; gece-gündüz, yaz-kış, hafta sonu-hafta içi elektrik ve ısı kullanımlarında büyük farklar olmasıdır. Fakat aşağıdaki Şekil 6.9'daki modüllerden 1. Modül kendini en önce amorti ederken yukarı doğru diğer modüllerin amortisman süreleri sırasıyla artmaktadır.



Şekil 6.9. Tipik yıllık yük eğrisi

2- Isı akümülatörleri kullanmak: Isı üretiminin ihtiyaçtan fazla olduğu durumlarda ısı akümülatörlerini doldurup, ihtiyacın üretimden fazla olduğu durumlarda ısıyı akümülatörlerden çekerek toplam verimin mümkün olduğunca düşmemesi sağlanır.

3- Şebekeyle senkronize çalışmak: Elektrik üretiminin tüketimi karşılayamadığı durumlarda şebekeden elektirik çekerek, fazla üretim halinde de şebekeye elektrik satarak, sistemin tam yük ve maksimum verimde çalışması sağlanır. Fakat bu sistem Türkiye’de yasal zorluklar bulunması ve de şebeke elektriğinin çok düzensiz olması dolayısıyla fazla uygulanmamaktadır.

4- By-pass’lı kombine çevrim kullanmak: Türbinli kojenerasyon sistemlerinde, atık ısı kazanından elde edilen buharı;

- Elektrik ihtiyacı arttığında ikinci bir buhar türbininde kullanarak, üretilen toplam elektrik miktarı arttırılabilir. Bu şekilde elektrik çevrim verimi %45 civarlarına çıkartılabilir.

- Isı enerjisi ihtiyacı arttığında by-pass yolunu açarak buharın tamamen ısıtma amaçlı kullanımı sağlanabilir.

- Isı ihtiyacının bazı pik durumlarında; türbin egzost çıkışına ilave yakıt enjekte edilerek bir art yanma (post-combustion) ile ısı üretimi arttırılabilir.

5- Buhar türbini kullanıldığında da, türbinden ara buhar çekerek değişen elektrik ısı oranları kompanse edilir.

6- Doğrudan by-pass bacası ve damper sistemi kullanarak, ısı gerekli olmadığında ısıyı dışarıya atmak. En verimsiz işletme şekli bu şekilde olur ki,

tüm ısının atılması halinde %80 civarında olan toplam verim (enerjiden yararlanma oranı) %30'lara düşer.

7- Pik yük bayleri ve/veya chilleri kullanmak: Şekli 6.9'daki yıllık ısı gereksinimi eğrisinden görüleceği üzere, toplamda az bir süre olsa da, bazı zamanlarda ısı gereksinimi toplam kojenerasyon ısı üretimini aşmaktadır. Bu pik durumları karşılamak için ilave kojenerasyon modülü koymak verimsiz olacaktır. Çünkü kojenerasyon modülleri yılda 365 gün, günde 24 saat (bakım durmaları hariç) işletilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışma şartlarında kendisini ≈ 2.5 yılda amorti edecektir. Oysa çalışma süresi azaldığında, bu amortisman süresi çok artacaktır.

Bu tür pik durumlar için ilave bir boyler veya soğutma ihtiyacı için pistonlu bir chiller kullanmak daha ekonomik olacaktır [16].

7. KOJENERASYON İLE BÖLGESEL ISITMADA ÖRNEK UYGULAMA

7.1. Giriş

Esenkent Bölgesel Isıtma sisteminde, ısı kaynağı Esenyurt Termik Santralidir. Esenyurt Termik Santrali elektiriğin yanısıra buharın bir kısmıyla, kızgın su formunda ısı enerjisi üretilmektedir. Isı enerjisi 130 °C ye ulaşabilen sıcak su (kızgın su) formunda üretilmektedir. Üretilen sıcak su Esenkent'in şehir şebekesi pompalanmakta ve bina altı ısı dönüştürücü istasyonlar(kompakt ısı ünitesi) vasıtası ile binaların kullanma sıcak suyunun hazırlanmasını sağlamaktadır.

Esenyurt Santrali bölgenin ısı enerjisini ve ülkenin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere geliştirilmiştir.

Santralin ürettiği elektrik enerjisini, ulusal şebekeye tesis sahası üzerinden geçen 154 kV'lık yüksek gerilim hatlarına bağlanarak aktarmaktadır.

Tesis ayrıca atık gazlardan yararlanarak ve buhar türbininden buhar çekişi yapılarak toplam 180 MW ısı üretebilmektedir. Üretilen Isı tesise komşu alanda yer alan yaklaşık 7400 konutluk Esenyurt kentinin ısıtma ve sıcak su ihtiyacını kesintisiz 365 gün/24 saat karşılayabilmektedir. Bu sayede Esenkent Türkiye'nin ilk ve en büyük bölgesel ısıtma sistemine sahip olmuştur[38].

Esenyurt kojenerasyon termik santrali, Türkiye ulusal elektrik şebekesine 180 MW elektrik ve Esenkent bölgesel ısıtma sistemine ısı amaçlı sıcak su sağlayacaktır.

7.2. Esenyurt Kojenerasyon Termik Santraline Ekserji Analizinin Uygulanması

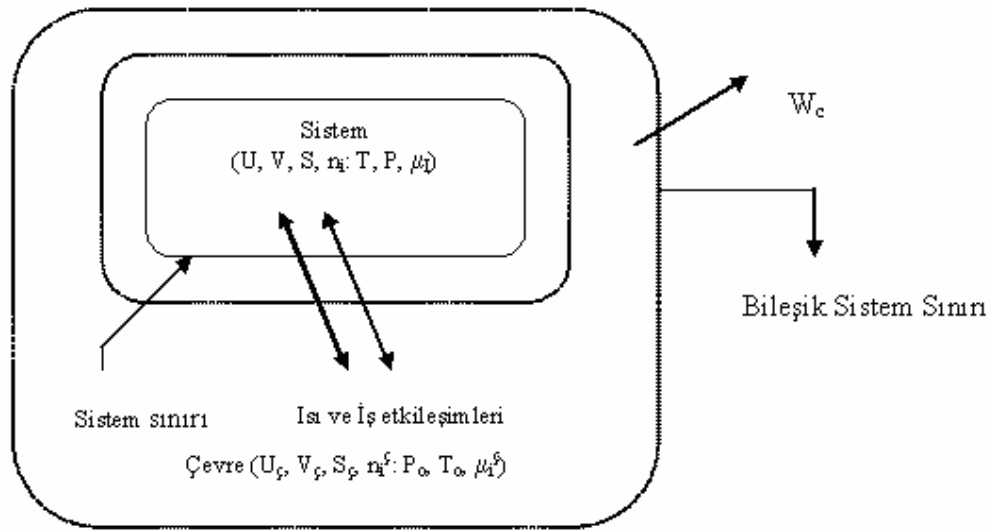
Tesise ekserji analizini uygulamadan önce size ekserji ile ilgili bilgi vermek istiyorum.

7.3. Ekserji Analizi

Herhangi bir modelin kullanıldığı bir analizin gerçekliği ve faydası, formülasyonda yapılan bazı idealleştirmeler ile sınırlandırılır. Buna göre çevreye, oldukça büyük, üniform T_0 sıcaklığına ve üniform P_0 basıncına sahip olan ve basit sıkıştırılabilir sistem olarak bakılır. Çevre, 1 atm basınç (P_0) ve 25°C (T_0) şartlarında kabul edilen tipik çevresel şartlara uygun olmalıdır. Bundan dolayı; çevrenin intensif özellikleri değişmez ancak çevrenin diğer sistemlerle etkileşimlerinin bir sonucu olarak ekstensif özelliklerinde değişim görülebilir. Çevrenin tüm kısımlarının birbirleri ile durağan olduğu kabul edildiğinden çevre enerjisindeki değişme sadece onun iç enerjisindeki bir değişme olabilir.

7.4. Kapalı Sistem için Ekserji Analizi

Bir sistemi oluşturan maddeler ya çevre içinde mevcuttur ya da çevre içindeki maddelerden oluşturulabilir. Mevcut ifadeyi kolaylaştırmak için; sistemi oluşturan tüm maddelerin gerçekte çevre içinde mevcut olduğu ve sistemin ölü duruma geçerken kimyasal reaksiyon yapmadıkları kabul edilir. Amaç; bileşik sistem tarafından geliştirilen maksimum işi hesaplamak olduğundan, bileşik sistem sınırı sadece ondan girip çıkan enerjinin iş transferine izin verir ve geliştirilen işin bileşik sisteme ya da bileşik sistemden olan ısı transferleri ile etkilenmemesini sağlamaktır. Sistem ve çevre hacimlerinin değişebilir olmasına rağmen; bileşik sistem sınırı, toplam hacim sabit kalacak şekilde belirtilir.



Şekil 7.1. Bileşik sistem ve çevre

Şekil 7.1'deki sistemin termostatik durumu; U iç enerji, V hacmi, S entropisi ve mevcut maddelerin (n_i , $i = 1, 2, 3, \dots, j$) miktarlarından oluşan ekstensif özellikleri ile T sıcaklığı, P basıncı ve μ_i kimyasal potansiyellerden oluşan ekstensif özellikleriyle tanımlanır. Bu büyüklükler, aşağıdaki şekillerde ifade edilir.

$$U = TS - PV + \sum n_i \mu_i \quad (7.1)$$

Çevrenin durumu; ekstensif özellikler olan U^c , V^c , S^c , n_i^c ve intensif özellikleri olan T_o , P_o , μ_i ile tanımlanır. Bu büyüklükler de aşağıdaki eşitlikle ilişkilendirilir;

$$U^c = T_o S^c - P_o V^c + \sum n_i^c \mu_i^c \quad (7.2)$$

Sistem ve çevre son denge durumu için etkileştikleri zaman, bileşik sistemin enerjisi de aşağıdaki ifade ile verilir;

$$U^s = T_o S^s - P_o V^s + \sum n_i^s \mu_i^s \quad (7.3)$$

Ekserji, bileşik sisteme enerji, kütle ve entropi dengeleri uygulanarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir; (enerji balansı)

$$U^c - [U_c + (U + KE + PE)] = Q_c - W_c \quad (7.4)$$

Buna göre, enerjideki değişme net enerji transferine eşittir. W_c , bileşik sistem tarafından geliştirilen iş olup, eşitliğin köşeli parantez içindeki terimi de bileşik sistemin başlangıç enerjisidir.

Entropi balansı da aşağıdaki eşitliği verir.

$$S^c = S^c + S + S_{ür.} \quad (7.5)$$

Yukarıdaki eşitlikteki $S_{ür.}$; sistem çevre ile dengeye gelirken, tersinmezliklere bağlı olarak bileşik sistem içindeki entropi üretimini açıklamaktadır.

$$W_c = (U + P_0 V - T_0 S - \sum n_i \mu_i^c + KE + PE) - T_0 S_{ür.} \quad (7.6)$$

$S_{ür.}$, tersinmezlikler mevcut olduğundan pozitif olurken, bileşik sistem içinde tersinmezliklerin bulunmadığı sınır durumunda ortadan kalkar. $S_{ür.}$ yerine sıfır konularak elde edilir. Bu tanım ile, ekserji E bu maksimum değerdir. Buna göre ekserji ifadesi;

$$E = U + P_0 V - T_0 S - \sum n_i \mu_i^c + KE + PE \quad (7.7)$$

Ayrıca ekserji değeri, kimyasal ekserji ve termomekaniksel ekserji denilen iki yapının toplamı olarak ifade edilebilir.

7.5. Kimyasal ve Termomekaniksel Ekserji

Sınırlandırılmış ölü durumdaki ekserji değeri, başlangıçta (T_o , P_o) şartlarındaki sistem çevre ile kimyasal dengeyi tamamlarken elde edilebilen maksimum teorik iştir. Bu ekserji değerine “ E_{kim} kimyasal ekserji” denir. Sınırlandırılmış ölü durumdaki sisteme ekserji ifadesi uygulanırsa, aşağıdaki kimyasal ekserji ifadesi elde edilir;

$$E_{kim} = U_o + P_o S_o - \sum n_i \mu_i^e \quad (7.8a)$$

U_o , V_o , S_o ; sınırlandırılmış ölü durumdaki sistemin enerji, hacim ve entropisini gösterir. Sınırlandırılmış ölü durumdaki sisteme iç enerji için uygulanıp, kimyasal ekserji için aşağıdaki alternatif ifade de Eş. 7.8a’daki sonuçlar indirgenirse;

$$E_{kim} = \sum n_i (\mu_{oi} - \mu_i^e) \quad (7.8b)$$

μ_o , sınırlandırılmış ölü durumdaki i maddesinin kimyasal potansiyeldir. Kimyasal ekserji; çevre içindeki mevcut maddelerden sistem üretmek ve sistemi sınırlandırılmış ölü duruma getirmek için gerekli kılınan minimum teorik iş olarak ta düşünülebilir.

Termomekaniksel ekserji, E_{tm} , sistemin verilen durumundan sınırlandırılmış ölü duruma getirilirken elde edilebilen maksimum teorik iştir. Aşağıdaki alternatif ifadeler sırasıyla Eş. 7.8a ve 7.8b, Eş. 7.7’den çıkartılarak elde edilir.

$$E_{tm} = (U - U_o) + P_o (V - V_o) - T_o (S - S_o) + PE + KE \quad (7.9a)$$

$$E_{tm} = U - P_o V - T_o S - \sum n_i \mu_{io} + PE + KE \quad (7.9b)$$

Pratik olarak ilgilenilen çeşitli özel durumlara karşılık kimyasal ekserji için ifadeler geliştirilebilir. Üç özel durum, aşağıdaki açıklamaları sağlar;

7.5.1. Durum 1

Sınırlandırılmış ölü durumdaki sistem, ideal bir gaz karışımı içerdiğinde ve her bir bileşenin de ideal gaz karışımının bir üyesi olarak çevre içinde bulunduğu, Eş. 7.8b'nin kimyasal potansiyelleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_{io} = \tilde{g}_i(T_0, P_0) + \tilde{R}T_0 \ln y_i \quad (7.10a)$$

$$\mu_i^c = \tilde{g}_i(T_0, P_0) + \tilde{R}T_0 \ln y_i^c \quad (7.10b)$$

$\tilde{g}_i$: Safi maddesinin molar gibbs fonksiyonu

y_i : Sınırlandırılmış ölü durumunda bulunan karışım içindeki i maddesinin mol kesri

y_i^c : Çevredeki karışım içindeki i maddesinin mol kesri

Yukardaki eşitlikler ele alınarak bir mol karışımın kimyasal ekserji ifadesi elde edilir;

$$\tilde{e}_{kim} = \tilde{R}T_0 \sum_{i=1}^j y_i \ln \frac{y_i}{y_i^c} \quad (7.11)$$

7.5.2. Durum 2

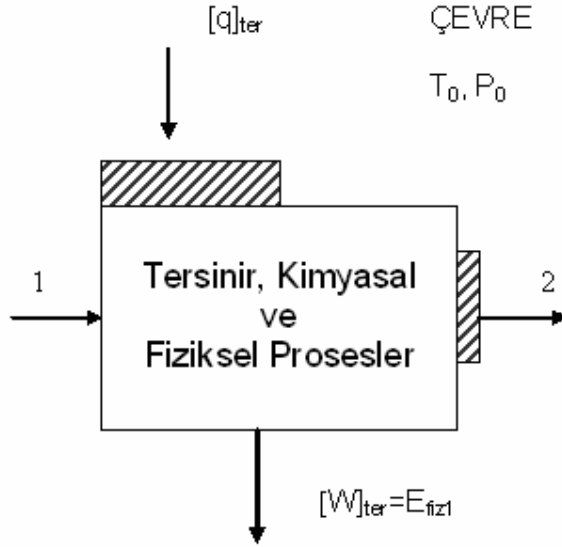
Sistem bileşenleri çevreyi oluşturan maddeler içinde varsa ve sistem bileşenlerinin bir ya da birkaçı çevrede bulunmadığı ancak; çevresel maddelerden oluşturulabildiği zaman, kimyasal ekserji kavramı uygulanır. Çevre içinde mevcut olmayan bir maddenin çevre içindeki kimyasal potansiyeli, çevresel maddelerden o maddenin oluşumunu sağlayan reaksiyona denge şartı uygulanarak türetilir [39].

7.5.3. Durum 3

Dünya üzerindeki değişken koşullar yüzünden, özel bir uygulama için uygun kimyasal ekserjilerin hesaplanmasında kullanılan bir çevrenin belirlenmesi, yoğun bir özen ve çalışmayı gerektirir. Bundan dolayı, önce çevre belirlenir daha sonra da ilgilenilen tüm maddelerin kimyasal ekserji değerlerini elde etmek için bir seri hesaplama gerekli kılınır [40]. Bu kompleksliklerden, standart bir çevre kullanılarak kaçınılabilir [41]. Önce standart çevre belirlenir ardından da standart kimyasal ekserjiler hesaplanabilir ve tablolaştırılabilir. Kimyasal ekserji değerleri gerekli kılındığı zaman, bu değerler standart değerlerin bulunduğu bir tablodan ya direk olarak seçilir ya da tablo değerleri kullanılarak hesaplanabilirler.

7.6. Fiziksel Ekserji

Fiziksel ekserji ifadesi, içinde akışkanın tersinir birkaç proses geçireceği ideal bir aygıtı gösteren bir modül (Şekil 7.2) vasıtasıyla bölümde verilen tanım kullanılarak türetilir. Akışın kinetik ve potansiyel enerjilerinin ihmal edilmesi kabulü ile, modül girişinde ele alınan akışkan durumu P_1 ve T_1 ile tanımlıdır ve çıkış durumu çevresel duruma karşılık gelir. Yani, akışın basınç ve sıcaklığı P_0 ve T_0 dır. Modül içinde proseslere bağlı tek etkileşim, çevre ile tersinir ısı transferidir. Bu ısı transferi, birim kütle başına aşağıdaki şekilde yazılabilir:



Şekil 7.2. Kararlı akış halindeki bir maddenin fiziksel ekserji tayininde kullanılan tersinir modül

$$q_{\text{ter}} \Big|_1^0 = T_0 (s_0 - s_1) \quad (7.12)$$

Modül için kararlı akışın birim kütlesi başına enerji eşitliği de aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$q_{\text{ter}} + h_1 = w_{\text{ter}} + h_0 \Rightarrow (h_0 - h_1) = q_{\text{ter}} - W_{\text{ter}} \quad (7.13)$$

Yukandaki tanım takip edilerek, modül tarafından dağıtılan iş akışın özgül fiziksel ekserjisine eşittir. Bundan dolayı Eş. 7.12 ve Eş. 7.13 birleştirildiğinde aşağıdaki ifade elde edilir.

$$(h - h_0) = T_0 (s_0 - s_1) - W_{\text{ter}} \quad (7.14)$$

$$W_{\text{ter}} = T_0 s_0 - h_0 - T_0 s_1 + h_1 = e_{\text{fizl}} \quad (7.15)$$

$$e_{\text{fizl}} = (h_1 - T_0 s_1) - (h_0 - T_0 s_0) \quad (7.16)$$

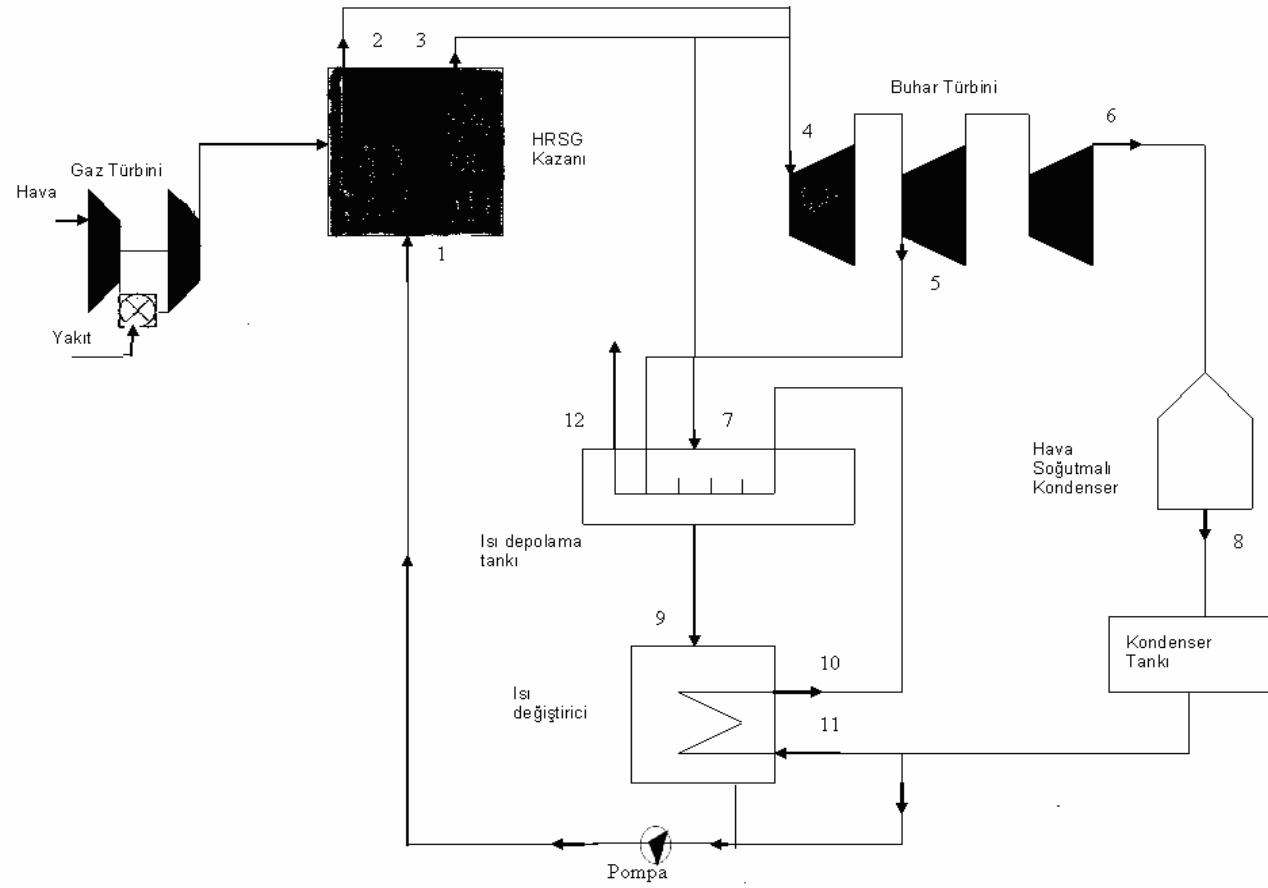
$(h_0 - T_0 s_1)$ terimi, akışkanın 1 durumundaki özgül fiziksel ekserji fonksiyonu olarak tanımlanır.

7.7. Tesisin Genel Görünüşü ve Düğüm Noktalarına Ait Açıklamalar

İncelenen tesis, Esenyurt kojenerasyon termik santrali olan 180 MW termal enerji üreten, ısı elektrik kombine çevrimli bir termik santraldir. Sağlanan elektrik ulusal elektrik şebekesine ve üretilen ısı Esenkent merkezi ısıtma sistemine hizmet vermektedir.

Bu termik santralde üç adet gaz türbini ve üç adet ısı geri kazanımlı atık su kazanı (HRSG) mevcut olup analiz sadece bir gaz türbini, bir HRSG kazanı için uygulanmıştır. Şekil 7.3 ve Çizelge 7.1’de de görüldüğü gibi 12 adet düğüm noktası tespit edilmiş ve bu noktalara ait termodinamik özellikleri aşağıdaki şekilde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Şekil 7.3 de gösterildiği gibi gaz türbini, HRSG kazanı, buhar türbini, hava soğutmalı kondenser, kondenser tankı, ısıtıcı ve ısı depolama tankı ünitelerinden meydana gelen tesis için belirlenen ve yukarıda sayılarının 12 adet olduğu söylenen düğüm noktaları, bu ünitelerin giriş ve çıkışlarına ait termodinamik özellikleri temsil etmektedir. Bu açıklamalara göre yukarıda bahsi geçen üniteler için 12 adet düğüm noktasına ait özellikleri şu şekilde açıklayabiliriz.



Şekil 7.3. Esenyurt kojenerasyon termik santrali genel şematik görünüşü

Çizelge 7.1. Tesisin tüm noktalarına ait termodinamik değerler

Nokta No	Basınç Bar	Sıcaklık (°C)	Küt. Debi kg/s	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kg.K)	Enerji (kW)	Termomek. Eks. (kJ/kg)	Kimyasal (kJ/kg)	Toplam Eks. (kW)
1	1,2	71,7	21,6	300,2	0,9625	6484,32	14,51	176,44	4124,52
2	56,3	509,1	18,1	3427,5	6,905	62037,75	1370,95	176,44	28000,77
3	6	203,8	3,6	2858,1	6,970	10289,16	782,18	176,44	3451,04
4	55,2	508,6	54,2	3447,5	6,880	86854,5	1398,40	176,44	85356,38
5	6	203,8	9,4	2858,1	6,970	26866,14	782,09	176,44	14704,23
6	0,18	57,8	21,6	2433,5	0,825	52563,6	2188,79	176,44	51088,96
7	6	203,8	0,4	2858,1	6,970	1143,24	782,19	176,44	383,45
8	0,18	57,8	63,6	241,9	0,8038	15359,4	3,50	176,44	11018,06
9	1,2	105	21,6	440,5	1,33	9514,8	45,30	176,44	4789,6
10	3	95	21,3	398,1	1,28	8479,53	17,81	176,44	4137,52
11	6,5	61	63,8	255,5	0,620	16300,9	71,89	176,44	15843,45
12	10	110	356,4	461,5	1,402	164478,6	44,84	176,44	78856,9
0	1(atm)	25,00		104,50	0,35450	...	...	...	...

1- HRSG Kazanı: Şekil 7.3'e bakıldığında tesisin kazan ünitesinin girişini 1 nolu düğüm noktası, çıkışını da 2 ve 3 nolu düğüm noktaları ile temsil edilen 2 adet çıkışa sahiptir. Çizelge 7.1 den de görüleceği üzere 1 nolu düğüm noktası 21,6 kg/s kütleli debi, 1,2 bar basıncı, 71,7°C sıcaklık, 300,2 kJ/kg K entropi değerine, 2 nolu düğüm noktası 56,3 bar basınç, 509,1 °C sıcaklık, 18,1 kg/s kütleli debi, 3427,5 kJ/kg entalpi ve 6,905 kJ/kg K entropi değerine, 3 nolu düğüm noktası 6 bar basınç, 203,8°C sıcaklık, 3,6 kg/s kütleli debi, 2858,1 kJ/kg entalpi ve 6,970 kJ/kg K entropi değerine sahiptir.

2- Buhar Türbini: Buhar türbini için 4 nolu düğüm noktası buhar girişini temsil ederken, 5 ve 6 nolu düğüm noktaları çıkış noktalarını temsil etmektedir. Buna göre buhar türbinini temsil eden 4 nolu düğüm noktası 54,2 kg/s kütleli debi, 55,2 bar basınç, 508,6 °C sıcaklık 3447,5 kJ/kg entalpi ve 6,880 kJ/kg K entropi değerine sahiptir.

Buhar türbini çıkışlarından birini temsil eden 5 nolu düğüm noktası 9,4 kg/s kütleli debi, 6 bar basınç, 203,8 °C sıcaklık 2858,1 kJ/kg entalpi ve 6,970 kJ/kg K entropi değerine sahip olarak tesis bünyesindeki ısı tepolama tankının girişini temsil etmektedir. Buhar türbininin ikinci çıkış noktasını hemde hava soğutmalı kondansörün girişini temsil eden 6 nolu düğüm noktası 21,6 kg/s kütleli debi, 0,18 bar basınç, 57,8°C sıcaklık, 2433,5 kJ/kg entalpi ve 0,825 kJ/kg K entropi değerine sahiptir.

3- Hava Soğutmalı Kondenser: Hava soğutmalı kondenser 6 nolu düğüm noktası tarafından temsil edilen bir adet giriş ve 8 nolu düğüm noktası ile temsil edilen bir adet çıkış noktasına sahiptir. 6 nolu düğüm noktası yukarıda açıklandığından sadece çıkış noktası olan 8 nolu düğüm noktasına ait değerlerin açıklanması yeterli olacaktır. Buna göre 8 nolu düğüm noktası 63,6 kg/s kütleli debi, 0,18 bar basınç, 57,8°C sıcaklık, 241,5 kJ/kg entalpi ve 0,8038 kJ/kg K entropi değerleri ile kondenser tankı girişini temsil etmektedir.

4- Kondenser Tankı: Kondenser tankı ünitesi 8 nolu düğüm noktası ile girişi 11 nolu düğüm noktası ile çıkışı temsil edilen bir adet giriş bir adet çıkışa sahiptir. 8 nolu düğüm noktalarının değerleri yukarda açıklandığı için sadece 11 nolu düğüm noktasının değerlerinin yazılması yeterli olacaktır. Buna göre 11 nolu düğüm noktası 63,8 kg/s kütleli debi, 6,5 bar basınç, 61 °C sıcaklık, 255,5 kJ/kg entalpi ve 0,620 kJ/kg K entropi değerleri ısı değiştirici ünitesinin girişini temsil eder.

5- Isı Değiştirici: Isı değiştirici ünitesi 9 ve 11 nolu düğüm noktaları ile girişe 1 ve 10 nolu düğüm noktaları ile de çıkış noktalarına sahiptir. 9 nolu düğüm noktası 21,6 kg/s kütleli debi, 1,2 bar basınç, 105 °C sıcaklık, 440,5 kJ/kg entalpi ve 1,33 kJ/kg K entropi değerlerine sahip ve diğer giriş olan 11 nolu düğüm noktasını değerleri kondenser tankı ünitesinde verildiği için tekrar yazmaya gerek duyulmamıştır. Isı değiştiricisinin 10 nolu düğüm noktası 21,3 kg/s kütleli debi, 3 bar basınç, 95°C sıcaklık, 398,1 kJ/kg entalpi ve 1,28 kJ/kg K entropi değerleri ile ısı depolama tankının girişini temsil eder. Isı değiştiricinin son çıkış noktası olan 1 nolu düğüm noktası ise; 21,6 kg/s kütleli debi, 1,2 bar basınç 71,7 °C sıcaklık 300,2 kJ/kg entalpi ve 0,9625 kJ/kg K entropi değerleri ile HRSG kazanının girişini temsil eder.

6- Isı Depolama Tankı: Isı depolama tankı 5,7 ve 10 nolu düğüm noktaları ile giriş 9 ve 12 nolu düğüm noktaları ile de çıkışa sahiptir. 7 nolu düğüm noktası 0,4 kg/s kütleli debi, 6 bar basınç 203,8 °C sıcaklık, 2858,1 kJ/kg entalpi ve 6,790 kJ/kg K entropi değerlerindedir. 12 nolu düğüm noktası bölgesel ısıtma yapılan şebekeye bağlıdır. 5 nolu düğüm noktalarının değerleride ısı değiştirici ünitesinde açıklanmıştır.

7.8. Mevcut Tesis Bünyesindeki Ünitelere Birinci Kanunun Uygulanması

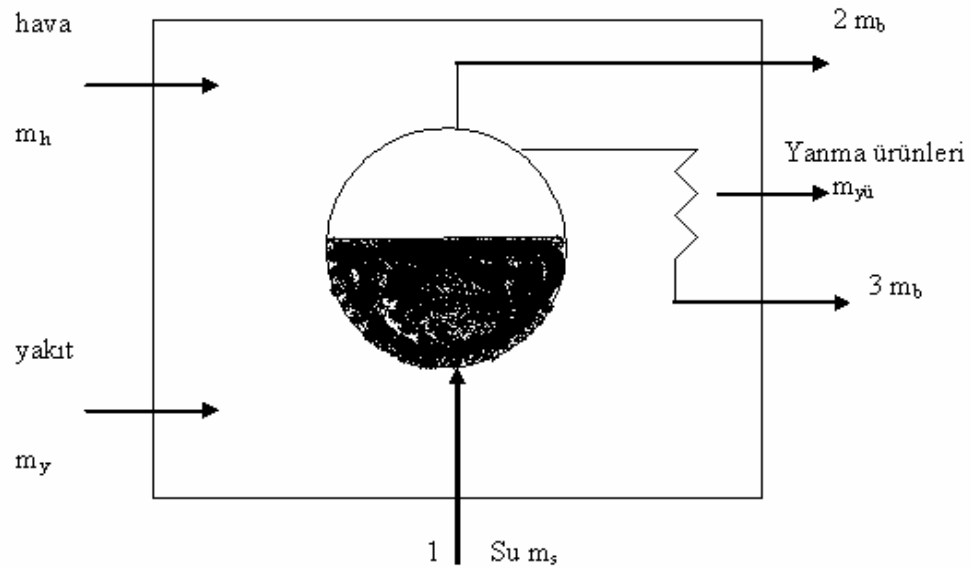
7.8.1. Kazanda meydana gelen ısı kayıplarının tespiti

Kazanda meydana gelen kayıpların tespit edilmesi için kullanılacak olan yakıtın kütleli debisi, alt ısı değerini ve ısı kapasitesini içeren çizelge aşağıda verilmektedir.

Çizelge 7.2 Yakıtı ait debiler ve alt ısı değerler

Yakıtlar	$\dot{m}_{\text{yakıt}}$	H_u	$\dot{m}_{\text{yakıt}} H_u$
Doğalgaz	2,5 kg/s	79085 kJ/kg	122712,5 kW

$$\dot{m}_{\text{yakıt}} H_u = 2,5 \text{ kg/s} \cdot 49085 \text{ kJ/kg} = 122712,5 \text{ kW}$$



Şekil 7.4. HRSG kazanın şematik görünüşü

$$Q_{\text{kayıp}} = Q_{\text{yakıt}} - [(\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3) - \dot{m}_1 h_1] \text{ korunum kanunu gereğince;}$$

$$Q_{\text{kayıp}} = 122712,5 \text{ kW} - [(18,1 \cdot 3427,5 + 3,6 \cdot 2858,1) \text{ kg/s} - 21,6 \cdot 300,2 \text{ kg/s}]$$

$$Q_{\text{kayıp}} = 56869,91 \text{ kW bulundu.}$$

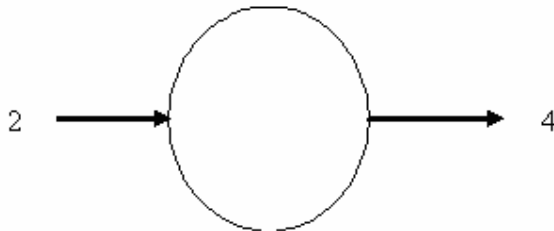
Kazanın dış çeper sıcaklığının 60°C olduğu göz önüne alınarak, ısıya bağlı enerji kaybı aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\dot{E}_{Q, \text{Kazan}} = Q_{\text{kayıp}} (\text{kazan}). (1 - T_o/T_k)$$

$$\dot{E}_{Q, \text{Kazan}} = 56869,91 \cdot (1 - 298/333)$$

$$\dot{E}_{Q, \text{Kazan}} = 5977,31 \text{ kW}$$

7.8.2. Kazan – türbin arası boruda meydana gelen ısı kaybının tespiti



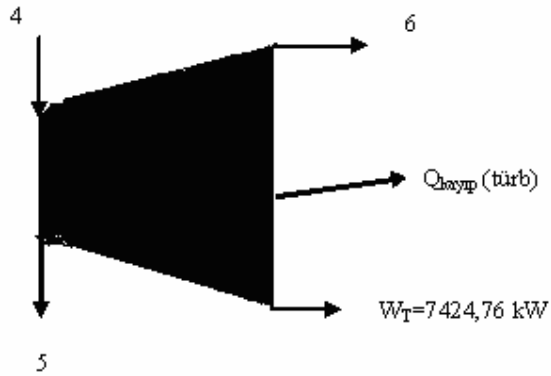
Şekil 7.5 Kazan ile türbin arasındaki borunun şematik görünüşü

$$Q_{\text{kayıp}} (\text{boru}) = \dot{m}_4 h_4 - 3\dot{m}_2 h_2 = (54,2 \cdot 3447,5) - 3 \cdot (18,1 \cdot 3427,5) \text{ kW}$$

$$Q_{\text{kayıp}} (\text{boru}) = 186854,5 \text{ kW} - 186113,1 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{kayıp}} (\text{boru}) = 741,4 \text{ kW}$$

7.8.3. Türbinde meydana gelen enerji kaybının tespiti



Şekil 7.6. Tesisteki türbinin şematik görünüşü

Şekildeki türbine birinci kanun enerji eşitliğini uyguladığımızda (türbin cidar sıcaklığı 40°C) türbinde olan ısı kaybı

$$\dot{m}_4 \cdot h_4 = \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_6 h_6 + W_T + Q_{\text{kayıp}} (\text{türb})$$

$$W_T = W_4 - (W_5 + W_6) = 86854,5 \text{ kW} - (26866,14 + 52563,6) \text{ kW}$$

$$W_T = 7424,76 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_K (\text{türb}) = \dot{m}_4 h_4 - (\dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_6 h_6 + W_T)$$

$$\dot{Q}_K (\text{türb}) = 85356,38 \text{ kW} - (14704,23 + 51088,96 + 7424,76) \text{ kW}$$

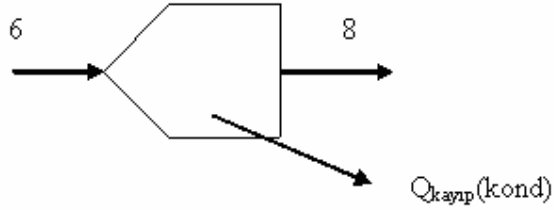
$$\dot{Q}_K (\text{türb}) = 12137,98 \text{ kW} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Bu ısıya bağlı enerji kaybı da,

$$\dot{E}_Q = \dot{Q}_K (\text{türb}) \cdot (1 - 298/313)^\circ \text{C}$$

$$\dot{E}_Q = 581,6 \text{ kW} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

7.8.4. Hava soğutmalı kondenserde meydana gelen enerji kaybının tespiti



Şekil 7.7. Tesisteki kondenserin şematik görünüşü

Şekildeki kondensere birinci kanun enerji eşitliği uygulandığında (türbin cidar sıcaklığı $30^{\circ}\text{C}=303^{\circ}\text{K}$) meydana gelen ısıya bağlı enerji kaybı;

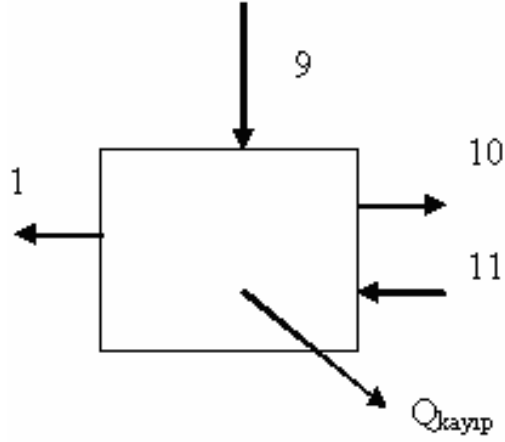
$$\dot{Q}_K = \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_8 h_8$$

$$\dot{Q}_K = (21,6.2433,5 - 63,6.241,9)\text{kW} = 37178,76 \text{ kW}$$

Bu ısı kaybına bağlı ekserji değeri de;

$$\dot{E}_Q = \dot{Q}_K (1 - 298/303) = 613,5 \text{ kW} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

7.8.5. Tesisteki ısıtıcı için enerji kaybı tespiti



Şekil 7.8. Tesisteki ısıtıcının şematik görünüşü

Şekildeki ısıtıcıya birinci kanun enerji eşitliği uygulandığında aşağıdaki ısıya bağlı enerji kayıpları elde edilmiştir.

$$\dot{Q}_{k(j)} = \sum \dot{m}_j h_j - \sum \dot{m}_j h_j$$

$$\dot{Q}_{k(j)} = [(21,6.440,5 + 63,8.255,5) - (21,6.300,2 + 21,3.398,1)]$$

$$\dot{Q}_{k(j)} = 10851,85 \text{ kW}$$

Elde edilen bu kayıp enerji değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 7.3 Ünitelerdeki kayıp enerji değerleri

Ünite	Kayıp Enerji (kW)
Kazan	56869,9 kW
Boru	741,4 kW
Türbin	12137,98 kW
Kondenser	37178,76 kW
Isıtıcı	10851,85 kW
Toplam	241855,29 kW

Birinci kanun analizi neticesinde oluşturulmuş olan yukarıdaki çizelgede en fazla enerji kaybının kazanda meydana geldiği ve bunu kondenser, türbin, ısıtıcı ve boru takip etmektedir.

7.9. Mevcut Tesisteki İncelenen 12 Nokta İçin Kimyasal, Termomekaniksel ve Toplam Ekserji Değerlerinin Tespiti

“0” alt indisi ile gösterilen çevre şartlarında 1 atm basınç, 25°C sıcaklık, 104,54 kJ/kg entalpi ve 0,3545 kJ/kg K entropi değerleri şeklinde alınmıştır.

1 Noktası için;

$$(\dot{e}_{kim}) = -\tilde{R}_{H_2O} T_o \ln(P_d/P_o) \quad (P_d=0,0317 \text{ Bar } P_{oo}=0,0088 \text{ Bar})$$

$$(\dot{e}_{kim})_{H_2O} = -0,462.298.\ln(0,0317 / 0,0088)$$

$$(\dot{e}_{kim})_{H_2O} = 176,44 \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{tm})_1 = (h_1 - h_o) - (T_o(S_1 - S_o))$$

$$(\dot{e}_{tm})_1 = (300,2 - 104,5) - 298(0,9625 - 0,3545)$$

$$(\dot{e}_{tm})_1 = 14,51 \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_1 = (\dot{e}_{tm})_1 + (\dot{e}_{tm})_{H_2O} = (14,51 + 176,44) \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_1 = 190,95 \text{ kJ/kg}$$

$$e_{top} = 190,95 \text{ kJ/kg} \cdot 21,6 \text{ kg/s}$$

$$e_{top} = 4124,52 \text{ kW}$$

2 Noktası için

$$(\dot{e}_{tm})_2 = (h_2 - h_0) - T_0(s_2 - s_0) = (3427,5 - 104,5) - 298 \cdot (6,905 - 0,3545)$$

$$(\dot{e}_{tm})_2 = 1370,951 \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_2 = (\dot{e}_{kim})_{H_2O} + (\dot{e}_{tm})_2 = 176,44 + 1370,951$$

$$(\dot{e}_{top})_2 = 1547,391 \text{ kJ/kg}$$

$$(e_{top})_2 = 1547,391 \text{ kJ/kg} \cdot 18,1 \text{ kg/s}$$

$$(e_{top})_2 = 28000,77 \text{ kW}$$

3 Noktası için:

$$(\dot{e}_{tm})_3 = (h_3 - h_0) - T_0(s_3 - s_0) = (2858,1 - 104,5) - 298 \cdot (6,970 - 0,3545)$$

$$(\dot{e}_{tm})_3 = 782,181 \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_3 = (\dot{e}_{kim})_{H_2O} + (\dot{e}_{tm})_3 = 176,44 + 782,181$$

$$(\dot{e}_{top})_3 = 958,621 \text{ kJ/kg}$$

$$(e_{top})_3 = 958,621 \text{ kJ/kg} \cdot 3,6 \text{ kg/s}$$

$$(e_{top})_3 = 3451,04 \text{ kW}$$

4 Noktası için

$$(\dot{e}_{tm})_4 = (h_4 - h_0) - T_0(s_4 - s_0) = (3447,5 - 104,5) - 298 \cdot (6,880 - 0,3545)$$

$$(\dot{e}_{tm})_4 = 1398,4 \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_4 = (\dot{e}_{kim})_{H_2O} + (\dot{e}_{tm})_4 = 176,44 + 1398,4$$

$$(\dot{e}_{top})_4 = 1574,84 \text{ kJ/kg}$$

$$(e_{top})_4 = 1574,84 \text{ kJ/kg} \cdot 54,2 \text{ kg/s}$$

$$(e_{top})_4 = 85356,38 \text{ kW}$$

5 Noktası için

$$(\dot{e}_{tm})_5 = (h_5 - h_0) - T_0(s_5 - s_0) = (2858,1 - 104,5) - 298 \cdot (6,970 - 0,3545)$$

$$(\dot{e}_{tm})_5 = 782,09 \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_5 = (\dot{e}_{kim})_{H_2O} + (\dot{e}_{tm})_5 = 176,44 + 782,09 \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_5 = 1564,28 \text{ kJ/kg}$$

$$(e_{top})_5 = 1564,28 \text{ kJ/kg} \cdot 9,4 \text{ kg/s}$$

$$(e_{top})_5 = 14704,23 \text{ kW}$$

6 Noktası için

$$(\dot{e}_{tm})_6 = (h_6 - h_0) - T_0(s_6 - s_0) = (2433,5 - 104,5) - 298 \cdot (0,825 - 0,3545)$$

$$(\dot{e}_{tm})_6 = 2188,79 \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_6 = (\dot{e}_{kim})_{H_2O} + (\dot{e}_{tm})_6 = (176,44 + 2188,79) \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_6 = 2365,23 \text{ kJ/kg}$$

$$(e_{top})_6 = 2365,23 \text{ kJ/kg} \cdot 21,6 \text{ kg/s}$$

$$(e_{top})_6 = 51088,96 \text{ kW}$$

7 Noktası için

$$(\dot{e}_{tm})_7 = (h_7 - h_0) - T_0(s_7 - s_0) = (2858,1 - 104,5) - 298 \cdot (6,970 - 0,3545)$$

$$(\dot{e}_{tm})_7 = 782,19 \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_7 = (\dot{e}_{kim})_{H_2O} + (\dot{e}_{tm})_7 = (176,44 + 782,19) \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_7 = 958,63 \text{ kJ/kg}$$

$$(e_{top})_7 = 958,63 \text{ kJ/kg} \cdot 0,4 \text{ kg/s}$$

$$(e_{top})_7 = 383,45 \text{ kW}$$

8 Noktası için

$$(\dot{e}_{tm})_8 = (h_8 - h_0) - T_0(s_8 - s_0) = (241,9 - 104,5) - 298 \cdot (0,8038 - 0,3545)$$

$$(\dot{e}_{tm})_8 = 3,54 \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_8 = (\dot{e}_{kim})_{H_2O} + (\dot{e}_{tm})_8 = (176,44 + 3,54) \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_8 = 179,98 \text{ kJ/kg}$$

$$(e_{top})_8 = 179,98 \text{ kJ/kg} \cdot 63,6 \text{ kg/s}$$

$$(e_{top})_8 = 11446,72 \text{ kW}$$

9 Noktası için

$$(\dot{e}_{tm})_9 = (h_9 - h_0) - T_0(s_9 - s_0) = (440,5 - 104,5) - 298 \cdot (1,33 - 0,3545)$$

$$(\dot{e}_{tm})_9 = 45,30 \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_9 = (\dot{e}_{kim})_{H_2O} + (\dot{e}_{tm})_9 = (176,44 + 45,30) \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_9 = 221,74 \text{ kJ/kg}$$

$$(e_{top})_9 = 221,74 \text{ kJ/kg} \cdot 21,6 \text{ kg/s}$$

$$(e_{top})_9 = 4789,6 \text{ kW}$$

10 Noktası için

$$(\dot{e}_{tm})_{10} = (h_{10} - h_0) - T_0(s_{10} - s_0) = (398,1 - 104,5) - 298 \cdot (1,28 - 0,3545)$$

$$(\dot{e}_{tm})_{10} = 17,81 \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_{10} = (\dot{e}_{kim})_{H_2O} + (\dot{e}_{tm})_{10} = (176,44 + 17,81) \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_{10} = 194,25 \text{ kJ/kg}$$

$$(e_{top})_{10} = 194,25 \text{ kJ/kg} \cdot 21,3 \text{ kg/s}$$

$$(e_{top})_{10} = 4137,52 \text{ kW}$$

11 Noktası için

$$(\dot{e}_{tm})_{11} = (h_{11} - h_0) - T_0(s_{11} - s_0) = (255,5 - 104,5) - 298 \cdot (0,620 - 0,3545)$$

$$(\dot{e}_{tm})_{11} = 71,89 \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_{11} = (\dot{e}_{kim})_{H_2O} + (\dot{e}_{tm})_{11} = (176,44 + 71,89) \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_{11} = 248,33 \text{ kJ/kg}$$

$$(e_{top})_{11} = 248,33 \text{ kJ/kg} \cdot 63,8 \text{ kg/s}$$

$$(e_{top})_{11} = 15843,45 \text{ kW}$$

12 Noktası için

$$(\dot{e}_{tm})_{12} = (h_{12} - h_0) - T_0(s_{12} - s_0) = (461,5 - 104,5) - 298 \cdot (1,402 - 0,3545)$$

$$(\dot{e}_{tm})_{12} = 44,845 \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_{12} = (\dot{e}_{kim})_{H_2O} + (\dot{e}_{tm})_{12} = (176,44 + 44,84) \text{ kJ/kg}$$

$$(\dot{e}_{top})_{12} = 221,28 \text{ kJ/kg}$$

$$(e_{top})_{12} = 221,28 \text{ kJ/kg} \cdot 356,4 \text{ kg/s}$$

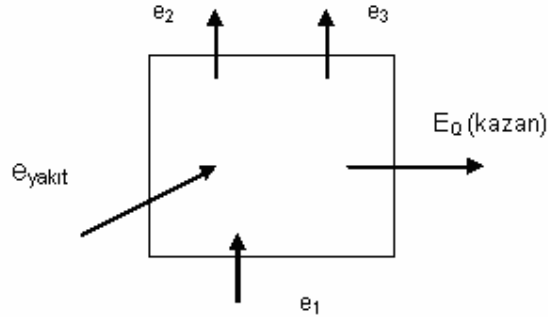
$$(e_{top})_{12} = 78856,9 \text{ kW}$$

Çizelge 7.4 Tesis üzerinde analizi yapılan noktalara ait kimyasal, termomekaniksel ve toplam ekserji kayıpları

Nokta no	Kim. Ekserji (kj/kg)	Termomek. Eks. (kj/kg)	Top. Eks. Kaybı (kW)
1	176,44	14,51	4124,52
2	176,44	1370,95	2800,77
3	176,44	782,18	3451,04
4	176,44	1398,4	85356,38
5	176,44	782,09	14704,23
6	176,44	2188,79	51088,96
7	176,44	782,19	383,45
8	176,44	3,54	11446,72
9	176,44	45,30	4789,6
10	176,44	17,81	4137,52
11	176,44	71,89	15843,45
12	176,44	44,84	78856,9

7.10. Ünitelere Giren Çıkan ve Ünitelerden Kaybolan Ekserji Değerlerinin Hesaplanması

7.10.1. Kazan için hesap



Şekil 7.9 Kazana ait ekserjiler

Yakıt	Debi (kg/s)	Ekserji (kJ/kg)	Tep. Ekserji (kW)
Doğalgaz	2,5	47200	118000

Çizelge 7.5 Kazanda yakılan yakıtın ekserjisi

Yukardaki çizelge dikkate alınarak önce kazana giren ekserji hesaplanmıştır.

$$\dot{e}_i = \dot{e}_f + \dot{e}_1 = (118000 + 4124,52) \text{ kW}$$

$$\dot{e}_i = \dot{e}_f + \dot{e}_1 = 122124,52 \text{ kW}$$

Daha sonra çıkan ekserjiler de aşağıdaki şekilde hesaplanmış;

$$\dot{e}_j = 3(\dot{e}_2 + \dot{e}_3) + \dot{E}_{Q, \text{Kazan}}$$

$$\dot{e}_j = 3(28000,7 + 3451,04) \text{ kW} + 5977,31 \text{ kW}$$

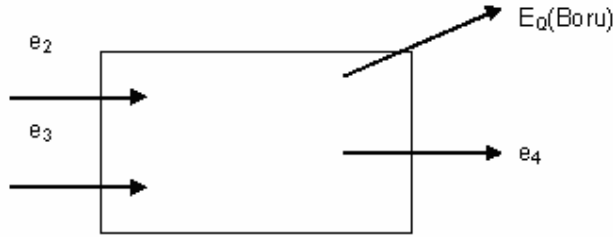
$$\dot{e}_j = 100332,53 \text{ kW}$$

ve kazan için son olarak giren ekserjilerle çıkan ekserjiler arasındaki fark olarak ifade edilen kayıp ekserji değeri bulunmuştur.

$$\dot{e}_{\text{kayıp}}(\text{kazan}) = \dot{e}_i - \dot{e}_j = (122124,52 - 100332,53) \text{ kW}$$

$$\dot{e}_{\text{kayıp}}(\text{kazan}) = 21791,99 \text{ kW}$$

7.10.2. Kazan –Türbin arası boru için hesap



Şekil 7.10 Kazan ile türbin arasındaki boruya ait ekserji

Bunun için işe boruya giren ekserji değerlerini tespit etmekle başlanmıştır. (kazan ile türbin arasındaki boruya 2 ve 3 noktasındaki ekserji değeri girmektedir).

$$\dot{e}_i = \dot{e}_2 + \dot{e}_3 = (28000,77 + 3451,04) \text{ kW}$$

$$\dot{e}_i = 31451,81 \text{ kW}$$

Bu ekserji değeri sadece bir kazandan gelen ekserji değeridir, tesiste ise üç kazan olduğu için toplam boruya giren ekserji;

$$\dot{e}_i (\text{top}) = 3.31451,81 \text{ kW}$$

$$\dot{e}_i (\text{top}) = 94355,43 \text{ kW dır.}$$

İkinci adım olarak çıkış ekserji değeri;

$$\dot{e}_j = e_4$$

$$\dot{e}_j = 85356,38 \text{ kW}$$

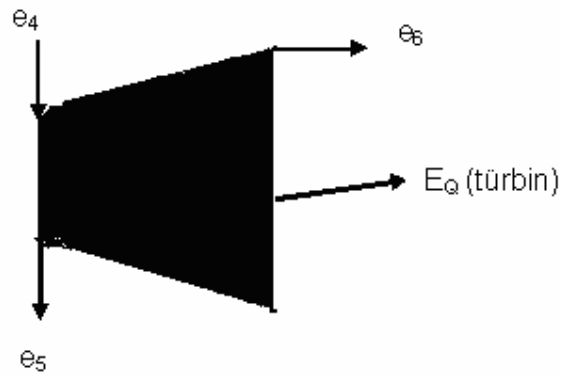
Üçüncü ve son olarak da boru için ekserji kaybı bulunmuştur.

$$\dot{e}_{\text{kayıp}} (\text{boru}) = \dot{e}_i - \dot{e}_j$$

$$\dot{e}_{\text{kayıp}} (\text{boru}) = (94355,43 - 85356,38) \text{ kW}$$

$$\dot{e}_{\text{kayıp}} (\text{boru}) = 8999,05 \text{ kW}$$

7.10.3. Türbin için hesap



Şekil 7.11 Türbine ait ekserjiler

Bunun için işe türbine giren ekserji değerlerini tesbit etmekle başlanmıştır (türbine giriş ekserjisi 4 noktasındaki ekserji ile türbin gücüdür).

$$\dot{e}_i = \dot{e}_4 + \dot{E}_Q (\text{türbin})$$

$$\dot{e}_i = (85356,38 + 581,6) \text{ kW}$$

$$\dot{e}_i = 85937,98 \text{ kW}$$

İkinci adım olarak türbinden çıkış ekserji değeri tespit edilmiştir (türbinden 5,6 ve türbin çıkış gücü olan 11 000 kW'lık bir güç mevcuttur).

$$\dot{e}_j = \dot{e}_5 + \dot{e}_6 + \dot{W}_T$$

$$\dot{e}_j = (14704,23 + 51088,96 + 11000) \text{ kW}$$

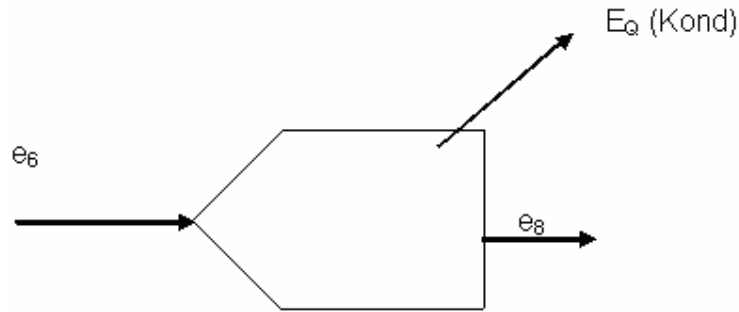
$$\dot{e}_j = 76793,19 \text{ kW}$$

$$\dot{e}_{\text{kayıp}} (\text{türbin}) = \dot{e}_i - \dot{e}_j$$

$$\dot{e}_{\text{kayıp}} (\text{türbin}) = (85937,98 - 76793,19) \text{ kW}$$

$$\dot{e}_{\text{kayıp}} (\text{türbin}) = 9144,79 \text{ kW}$$

7.10.4. Kondenser için hesap



Şekil 7.12. Kondensere ait ekserjiler

Bunun için işe kondensere giren ekserji değerlerini tespit etmekle başlanmıştır. (Kondensere giriş ekserjisi 6 ve ısı yoluyla giren ekserji değeridir.)

$$\dot{e}_i = \dot{e}_6 + \dot{E}_Q (\text{kond})$$

$$\dot{e}_i = (51088,96 + 613,5) \text{ kW}$$

$$\dot{e}_i = 51702,46 \text{ kW.}$$

İkinici adım olarak kondenserden çıkış ekserji değeri tespit edilmiştir.
(Kondenserden sadece 8 noktasındaki çıkış mevcuttur.)

$$\dot{e}_i = \dot{e}_8 = 11018,06 \text{ kW.}$$

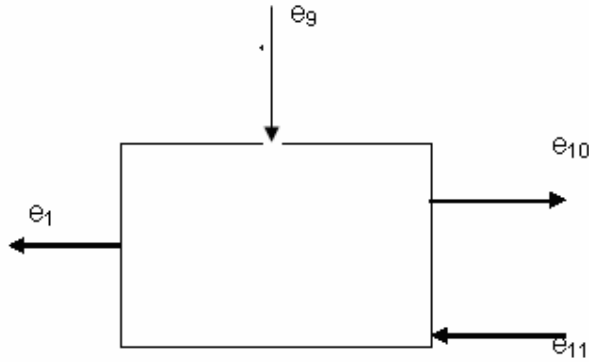
Üçüncü ve son olarak da kondenser için ekserji kaybı bulunmuştur.

$$\dot{e}_{\text{kayıp}} (\text{kond}) = \dot{e}_i - \dot{e}_j$$

$$\dot{e}_{\text{kayıp}} (\text{kond}) = (51702,46 - 11018,06) \text{ kW.}$$

$$\dot{e}_{\text{kayıp}} (\text{kond}) = 40684,4 \text{ kW.}$$

7.10.5. Isıtıcı İçin Hesap



Şekil 7.13. Isıtıcıya ait ekserjiler

Isıtıcıya giriş ekserjisi 9 ve 11 no'lu noktalardır.

$$\dot{e}_i = \dot{e}_9 + \dot{e}_{11} = (4789,6 + 15843,45) \text{ kW.}$$

$$\dot{e}_i = 20633,05 \text{ kW.}$$

Isıtıcının çıkış ekserjisi 1 ve 10 no'lu noktalardır.

$$\dot{e}_j = \dot{e}_i + \dot{e}_{i0} = (4124,52 + 4137,52) \text{ kW.}$$

$$\dot{e}_j = 8262,04 \text{ kW.}$$

Isıtıcıda ekserji kaybı;

$$\dot{e}_{\text{kayıp}}(\text{Isıtıcı}) = \dot{e}_i - \dot{e}_j = (20633,05 - 8262,04) \text{ kW.}$$

$$\dot{e}_{\text{kayıp}}(\text{Isıtıcı}) = 12371,01 \text{ kW.}$$

Bu yapılan hesaplamalar ışığında aşağıdaki çizelge oluşturulmuştur.

Çizelge 7.6. Ünitelere ait giriş, çıkış kayıp ekserjileri ve bu kayıpların tesis toplam kaybına göre yüzde değerleri

Ünite	Giren Ekserji (kW.)	Çıkan Ekserji (kW.)	Kayıp Ekserji (kW.)	% Kayıp
Kazan	122124,52	100332,53	21791,99	23,43
Boru	94355,43	85356,38	8999,05	9,67
Türbin	85937,98	76793,19	9144,79	9,83
Kondenser	51702,46	11018,06	40684,4	43,75
Isıtıcı	20633,05	8262,04	12371,01	13,31
Toplam			92991,23	100

Tesiste meydana gelen enerji ve ekserji kayıplarını karşılaştırmak için Çizelge 7.7 oluşturulmuştur.

Çizelge 7.7 Ünitelerden olan kayıp enerji ve kayıp ekserjiler

Ünite	Kayıp Enerji (kW.)	Kayıp Ekserji (kW.)
Kazan	56869,9	21791,99
Boru	741,4	8999,05
Türbin	12137,98	9144,79
Kondenser	37178,76	40684,4
Isıtıcı	10851,85	12371,01
Toplam	241855,29	92991,24

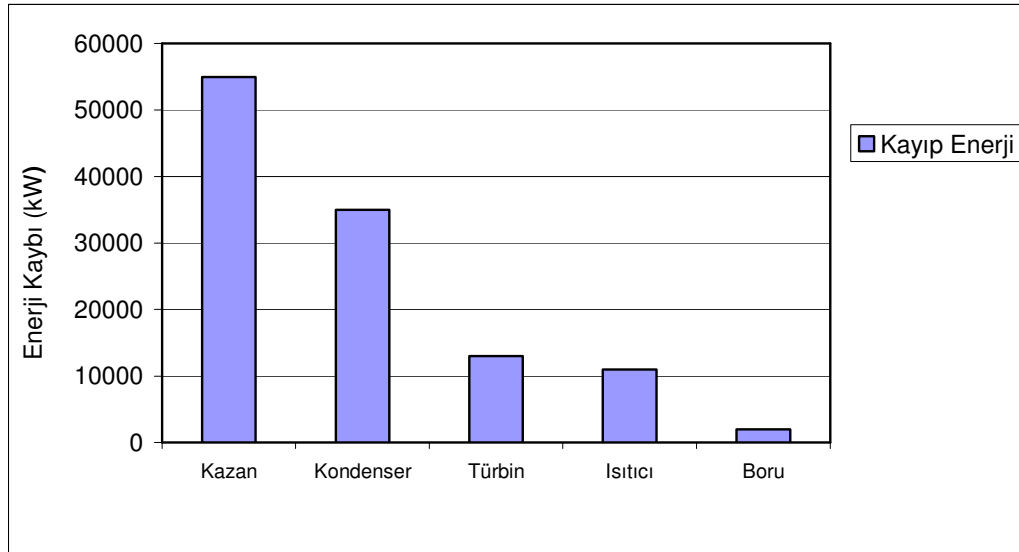
Bu tesisin termodinamik analizi; tesis bünyesindeki kazan, kazan – türbin arası boru, türbin, kondenser ve ısıtıcıdan oluşan ünitelere aşağıda açıklandığı şekilde enerji ve ekserji analizleri ünite ünite uygulanarak yapılmıştır.

Buna göre;

1- Tesis bünyesindeki ünitelere birinci kanun analizi uygulanarak önce her bir üniteye meydana gelen enerji kayıpları kW cinsinden tesbit edilmiş (Çizelge 7.3) ardından da grafikleri çizilmiştir.

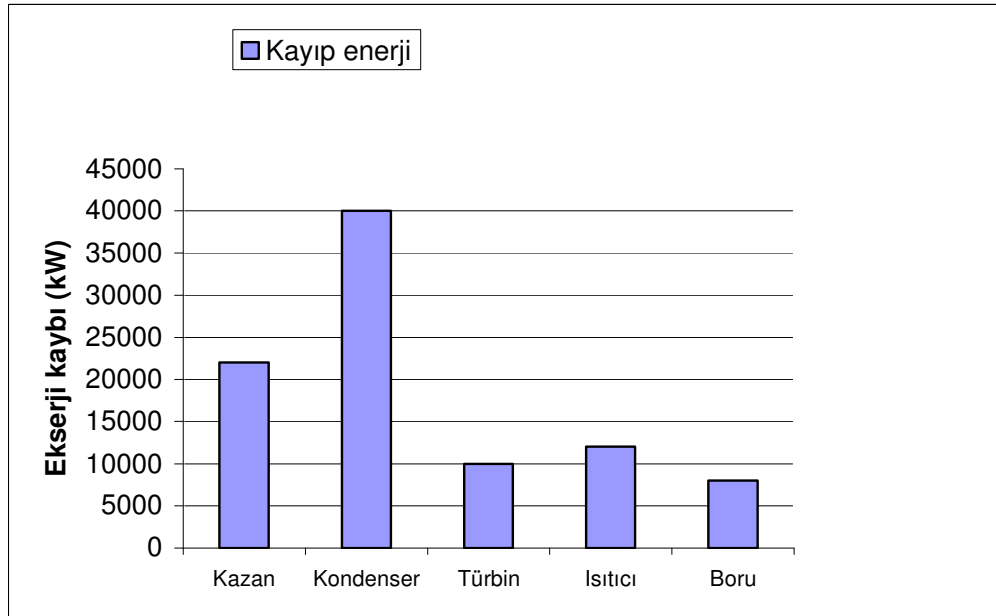
Şekil 7.15’de görüleceği üzere birinci kanun analizi sonucunda ünitelerdeki enerji kayıpları, değeri büyük olan üniteden itibaren sırasıyla 56869,9 kW’la kazanda, 37178,76 kW’la kondenserde, 12137,98 kW ile türbinde, 10851,85 kW ile ısıtıcı ve 741,4 kW’lık kayıp ile kazan-türbin arası boruda meydana gelmiştir.

Birinci kanun analizi neticesinde yukarıdaki açıklamaları temsil eden grafiklerden de anlaşılacağı üzere en büyük enerji kaybına sahip ünitenin kazanda olduğu görülmektedir.



Şekil 7.14. Ünitelerde kayıp olan enerjiler

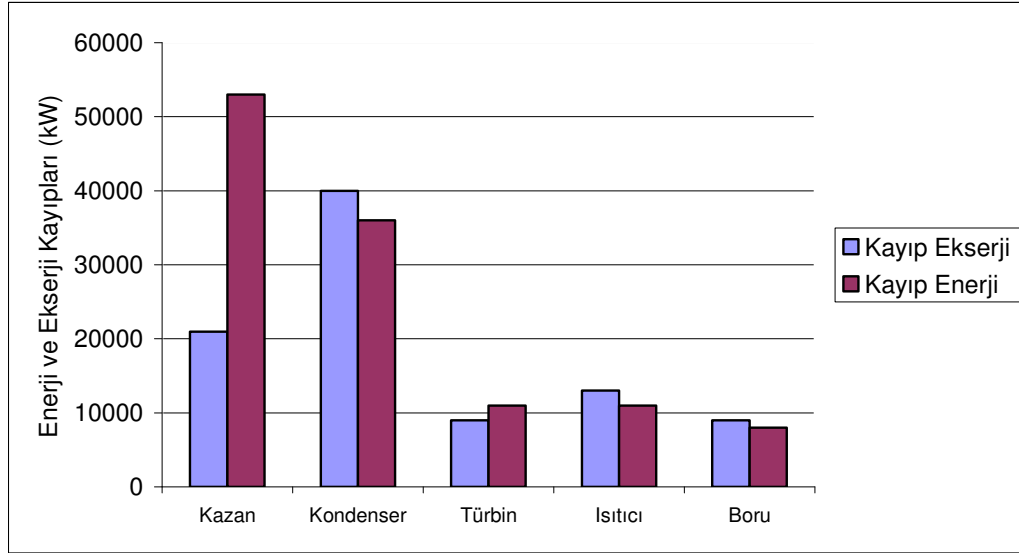
2- Tesiste daha güvenilir bir analiz yapmak için; yukarıda bahsi geçen ünitelere ayrıca bir de ekserji analizi ünite ünite uygulanmıştır. Ünitelerde uygulanan ekserji analizi neticesinde önce ünitelere giren ekserji değerleri kW cinsinden hesaplanmış ve hesap neticesinde bulunan değerler çizelge 7.6'da verilmiştir. Çizelge 7.6'da da kayıp ekserji değerlerini gösteren Şekil 7.15'in temsil ettiği grafik çizilmiştir. Çizelge 7.6'ya göre kazan ünitesinde ekserji kaybı 21791,99 kW, kazan-türbin arasındaki boru ünitesinde 8999,05 kW, türbin ünitesinde 9144,79 kW, kondenser ünitesinde 40684,4 kW ve son olarakta ısıtıcıda ekserji kaybı 12371,01 kW olarak bulunmuştur.



Şekil 7.15. Ünitelerde kayıp olan ekserjiler

Yukarıdaki grafiğe göre en büyük ekserji kaybı 40684,4 kW ile Kondenser en az ekserji kaybı 8999,05 kW ile kazan türbin arasındaki boruda görülmektedir.

Yukarıdaki yapılan işlemlerden sonra tesise uygulamış olduğumuz birinci ve ikinci kanun analizlerini karşılaştırmak amacıyla, ünitelere karşı ünitelerde meydana gelen enerji ve ekserji kayıplarını Şekil 7.7 ile aşağıdaki Şekil 7.16'daki grafikte sunulmaktadır.



Şekil 7.16 Ünitelerde olan kayıp enerji ve kayıp ekserjiler (kW)

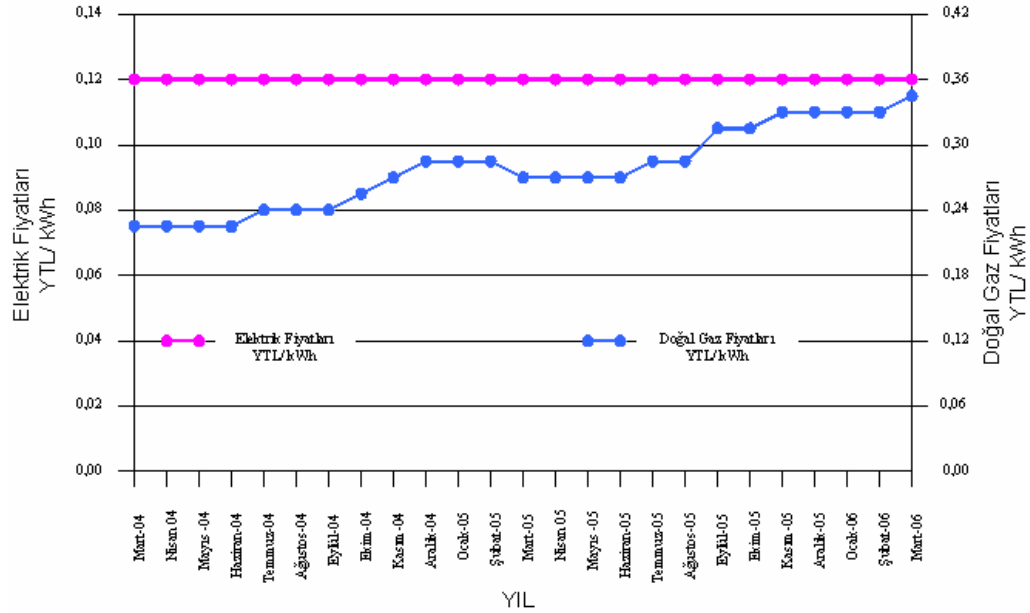
Şekil 7.16'da temsil ettiği grafik Çizelge 7.7 temsil ettiği değerler dikkate alınarak çizilmiştir. Buna göre; kazanda meydana gelen enerji kaybı ekserji kaybının yaklaşık üç katı diğer ünitelerde meydana gelen enerji ve ekserji kayıpları hemen hemen eşittir. Şekil 7.16'da ifadesine göre kazan ünitesi enerji analizi açısından, kondenser ünitesinde ekserji analizi açısından en büyük kayıplı üniteler olarak görülmektedir. Yapılan bu çalışmada amaç en büyük ekserji kayıplı üniteyi tesbit etmektir. Buradan hareketle tesis bünyesindeki üniteler içinde en büyük ekserji kaybının bulunduğu ünitenin kondenser olduğu tesbit edilmiştir. Bu nedenle en verimsiz ünite kondenserdur ve iyileştirmeler bu ünite üzerinde yapılmalıdır.

7.11. Esenyurt Santralinde Yıllık Üretim

Esenyurt kojenerasyon bölge ısıtması ile:

<i>Yıllık elektrik üretimi</i>	:1.400 GWh
<i>Isı üretim kapasitesi</i>	: 180MWth
<i>Net elektrik verimi</i>	: %47 (saha koşullarında)
<i>Yakıt kullanım verimi</i>	: %75

Aşağıdaki grafikte elektrik ve doğalgaz fiyatlarının Mart 2004 – 2006 yıllarındaki fiyatı verilmiştir. Vergiler dahil değildir.

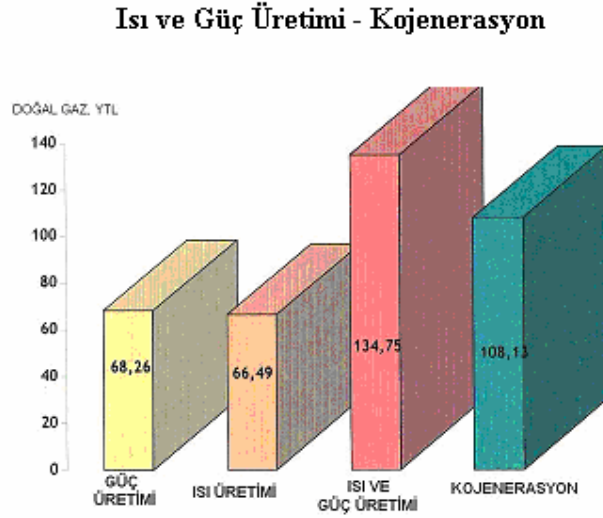


Şekil 7.17. Elektrik ve doğal gaz fiyatlarının Mart 2004 – 06 yıllarındaki fiyatları

Gaz enerjisiyle kojenerasyonda;

- Elektrik üretimi 1000 kWh
- Gerekli doğal gaz 1000 kWh için 3300 kWh_{th}
- Isı geri kazanımı(%75 verimlilikle):1725 kWh_{th}
- Kojenerasyon için gerekli doğal gaz maliyeti:108,13 YTL
- Sadece güç üretimi (bileşik devre kullanarak verimlilik:η=48%)
- Elektrik üretimi 1000 kWh
- Gerekli doğal gaz 1000 kWh için 2083 kWh_{th}
- Güç üretimi için gerekli gaz maliyeti 68,26 YTL
- Sadece ısı üretimi
- Isı üretimi 1725 kWh_{th}
- Gerekli doğal gaz 1725 kWh_{th} için 2029 kWh_{th}

- Gazın maliyeti 66,49 YTL



Şekil 7.18. Esenyurt santrali enerji üretimi yakıt maliyeti

Esenyurt kojenerasyon termik santralinde potansiyel yakıt ve yakıt maliyeti tasarrufu yaklaşık %25' tir.

Linyit, fuel oil ve kömür santrallerinin 1 MW veya 1000 kW başına kuruluş maliyetleri 1 600 000 – 2 400 000 \$ arasındadır. Yani çok pahalı yatırım gerektirir. Kojenerasyon sistemlerinde ise 1 000 000 – 1 200 000 \$'dır. Kojenerasyon sistemlerinde, egzoz ısısından üretilen buhar ya da sıcak suyu fabrikalarda ya da konutlarda değerlendirdiğimizde, bu ısı enerjisinin de, üretilen elektrik enerjisi ile toplamına göre hesap yaparsak, 1 MW kapasite için yatırım birim fiatı 500 000- 600 000 \$'a düşer. Yani kojenerasyon dediğimiz, elektrik ve ısı enerjilerinin birlikte üretim teknolojisi bize çok ucuz maliyetle bir tesis kurma imkanı verirken, bu tesisi çok ekonomik işletme maliyeti ile işletme imkanı da vermektedir. Çünkü işletme maliyeti içinde en yüksek pay yakıt maliyetidir. Yakıt maliyeti ise Kojenerasyon sisteminin %90'lara varan çevrim randımanı sayesinde çok düşük olmakta ve bu suretle yatırımcısına büyük karlar sağlamaktadır[42].

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. Sonuç

Yatırım maliyetinin yüksekliği, boru döşenmesi ve personel masrafı bölgesel ısıtmanın dezavantajlarını oluşturmaktadır.

Güvenilir ve tehlikesiz binalarda gaz vb. yakıt olmadığı için patlama ve yangın tehlikesi söz konusu değildir. Sistemde sıcak su kullanıldığı için, şofben gibi, yüzlerce zehirlenme ve ölüm olayına neden olan cihazlara gerek kalmamıştır. Boru hattının gaz yerine sıcak su taşıması olası deprem ya da kazalarda patlama ortadan kaldırmaktadır. Tüm kent, binalarda hiçbir şekilde yakıt yakmadan ve depolamadan 24 saat, 365 gün sıcak su kullanabilmektedir.

Ucuz kojenerasyon sistemiyle, bölgesel ısıtmada kullanılan doğal gazdan yüksek verim alınması ve bir girdi ile iki enerji üretimi yöntemiyle enerji maliyetinin düşük olması, kullanıcıların ısınma ihtiyaçlarını tüm yakıt türlerinden daha ucuza ve ekonomik karşılımlarına olanak sağlayan sistemi beslemek için ek bir enerji ithaline gerek kalmadığı için doğal gaz tasarufu sağlanmakta ve ülke ekonomisine katkısı büyük olmaktadır.

Son zamanlarda bölgesel ısıtma sistemleri; hava kirliliğinin önlenmesi, yer kazanılması ve enerji korunumu nedeni ile yerleşim bölgelerinde enerji temin sistemi olarak büyük ilgi görmektedir [23]. Bölgesel ısıtma sisteminin seçimini etkileyen faktörlerin başında ekonomik olması gelir. Sistemin ekonomik olarak kurulup işletilebileceği boyutların belirlenmesinde faydalanılacak genel bir kriter mevcut değildir. Bu kriterler her ülke için farklıdır. Bölgesel ısıtmanın ekonomik sınırlarının belirlenmesinde kullanılan önemli parametrelerden biri ısı yük yoğunluğudur. Almanya'da yapılan bir çalışma, ülkede bölgesel ısıtmanın 62-65 MW/km² ısı yük yoğunluğunda ekonomik olduğunu göstermektedir. Seçimi etkileyen diğer

faktörler; ülkede uygulanan ekonomi ve enerji politikalarıdır. Ülke enerji politikasının bölgesel ısıtmaya etkisini gösteren en iyi iki örnek; Danimarka ve Almanya'daki uygulamalardır. Danimarka'da yakıt tamamen ithal edildiği halde, petrol türevli hafif yakıtlara uygulanan yüksek vergi, bölgesel ısıtmayı teşvik etmiştir. Almanya'daki Ruhr bölgesinde ise madenciliğin bölge ekonomisi üstündeki etkisini göz önüne alan yönetim, daha ucuz olan ithal kömür yerine bölge kömürünü kullanan ısıtma sistemlerine ekonomik destek vermektedir. Ülkenin hava kirliliği standartları da bölgesel ısıtma sisteminin seçiminde olumlu yönde rol oynar. Çünkü küçük kapasiteli ısıtıcılarda hava kirliliğini Önlemek için yapılacak yatırım bölgesel ısıtma santralinkine oranla hayli yüksektir.

Temiz bir çevre klasik yöntemlerle her binada yakıt yakarak ısıtma ve sıcak su ihtiyacı karşılanmış olsaydı yüzlerce baca ve atılan atık gazlar ile çevreye verilecek zararlar söz konusu olacaktır.

Toplu konutların kojenerasyon ile birlikte planlanması ülkemizin birçok sorununu çözebiliyor.

- Çarpık kentleşme önleniyor, çağdaş konutlar ortaya çıkıyor.
- Alt yapı sorunu ve atık sorunu ortadan kalkıyor.
- Bacasız kent üretildiği için ve merkesi yerde kontrollü doğalgaz kullanıldığı için çevre temiz kalıyor. Hava kirliliği ortadan aklıyor.
- Enerji verimi %90 verimle üretiliyor.
- İthal edilen doğalgazın yüksek verimle kullanılması sağlanıyor.
- Enerji dar boğazında olan ülkemizin enerji gereksinimine katkıda bulunuluyor.
- Temiz ısı üretilerek konutların ısıtılmasında kullanılıyor.

Bilindiği gibi konut ve iş yerlerinin ısıtılması da enerji israfının yüksek olduğu alanlardır, böylelikle enerji israfın önüne geçiliyor.

8.2. Öneri

Ülkemiz enerji kaynakları, teknoloji ve finansman açısından dışa bağımlı bir ülkedir. Bu durum enerji sektöründe uzun vadeli etkin planlamaların önemini arttırmaktadır. Doğal gaz konusunda dışa bağımlı olan ülkemizin, bir şansıda Avrupa ve Asya arasında doğal gaz ve petrol boru hatlarının geçebileceği bir köprü ülke olmasıdır. Ülkemizin bu konuda çaba göstermesi boğazlardan tanker geçişinde engelleyerek boru hatları konusunda elinden geleni yapması gerekmektedir.

Elektrik enerjisinin yanı sıra, ısıtma ve sıcak su tüketimi bulunan bölgesel ısıtma projeleri kojenerasyon sistemlerinin en geniş uygulama alanı bulunduğu tesislerin başında gelmektedir. Bölgesel ısıtma projesinin uyguladığı alanın özelliğine göre, ısıtma yanı sıra soğutma yapılmasına da olanak sağlayan kojenerasyon sistemlerinin, kurulduğu bölgesel ısıtma projelerine; kesintisiz, kaliteli, ekonomik ve çevreci şekilde enerji üretmenin yanı sıra konforda sağladığı göz önüne alındığında ülkemiz için öneminin artacağı düşünülmektedir.

Türkiye, 2004 yılında ihtiyaç duyduğu primer enerji kaynaklarının %72'sini ithal yoluyla karşılamak zorunda kalmıştır. Kojenerasyon tesislerinin yaygınlaştırılması teşvik edilmezse, sosyo-ekonomik gelişmemizin getireceği enerji kaynakları tüketim hızı ile ithal zorunluluğu 2010 yılında %76'ya, 2020 yılında %82'ye tırmanacaktır.

Bugün ülkemizde işletmede olan toplam 5000 MW'lık kojenerasyon tesisi sayesinde 2004 yılında 3 milyon TEP (ton eşdeğer petrol) yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Bu tasarruf, 2004 yılında kullandığımız toplam 88 milyon TEP enerjinin %3,4'üdür ve parasal değeri bugünkü petrol fiyatlarıyla 1 milyar dolardır. Türkiye'nin bu tasarrufa ve bunun büyümesine çok ihtiyacı vardır.

Kojenerasyon uygulamasının amacı, özellikle sanayi sektöründe enerji verimliliğini sağlamak, sanayi ürünleri içindeki enerji maliyet payının düşürülerek birim maliyetin azaltılması yoluyla sektörün dış pazarlarındaki rekabet gücünü artırmak, sektöre güvenilir ve ucuz enerji temin etmek, birincil enerji kaynaklarından tasarruf etmek ve enerji yatırımlarına katkıda bulunmasını sağlamaktır.

Ekonomik olarak, ülke genelinde bileşik ısı- güç üretimi uygulamalarının yaygınlaşması elektrik enerjisi talebindeki artışı sonucunda yeni santrallerin yapılması gerekliliğini azaltacaktır. Ayrıca bileşik ısı- güç üretimi çerçevesinde sağlanan birincil enerjideki tasarruf aynı oranda çevresel açıdan da olumlu etki yaratacaktır.

Bileşik ısı-güç üretimi ile enerji ihtiyacı, kanvansiyenel sistemlere göre daha düşük maliyetle karşılanmaktadır. Elde edilecek tasarruf miktarı, kullanılan yakıtın maliyeti ile doğrudan elektrik şirketinden satın alınan elektriğin maliyeti artışındaki mevcut farka bağlı olacaktır. Bu fark ne kadar büyük o kadar büyük oranda tesis kendisini daha kısa sürede geri ödeyecektir. Atık su ya da yakıtların kullanılması halinde tasarruf potansiyeli önemli oranda artacaktır.

Ülkemiz ekonomisinde bu kadar büyük enerji tasarrufu sağlayan kojenerasyonlu merkezi ısıtma sistemleri özellikle yeni gelişmekte olan yerleşim merkezlerine, belediyelerimizden ve şehir planlamacılarımızdan yeni yerleşim birimlerine ve toplu konutlara inşaat müsadese verirken ısıtma sistemlerinde kojenerasyon teknolojisini aramaları uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Işık, E., İnallı, M., "Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma Sistemlerindeki Gelişmeler", **Mühendis ve Makine Dergisi**, 46(550):47-50 (1999).
2. Pelit, E., "İzmit Yenişehir Toplu Konut Alanının Bölgesel Isıtmasının Termodinamik ve Ekonomik Analizi", Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli,133-134 (1996).
3. Ağış, Ö., "Türkiye’de Özel Enerji Sektörünün Geleceği" **Doğal Gaz Dergisi**, 57 :114-118 (1998).
4. Külçe, N., Topuz, G., "Kojenerasyon Sistemi Seçimi ve Türkiye Örneği" **II. Uluslararası Birleşik Isı ve Güç Üretimi Konferansı**, İstanbul , 61-65(1996).
5. Ağabay, Ö., "Dağıtım Şebekesinde Kojenerasyon Tesisleri" **II. Uluslararası Birleşik Isı Ve Güç Üretimi Konferansı**, İstanbul,74-78(1996).
6. Costa, M.H.A., Balestieri J.A.P., "Comparative Study of Cogeneration Systems in a Chemical Industry" **Applied Thermal Engineering**, 21: 523-533 (2001).
7. Tan, M., "Sanayide Kojenerasyon Uygulamalar", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara,13-14 (2003).
8. Narter, F., Öztürk, İ.T., "Merkezi Isıtma", **Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınları**, 1: 25-28(1996).
9. Lemar, P.L., "The potential impact of policies to promote combined heat and power in US industry" **Energy Policy** , 29:1243-1254 (2001).
10. Guarinello, F., Gerqueira, S., Nebra, S.A., "Thermoeconomic Evaluation Of A Gas Turbine Cogeneration System" **Energy Conversion and Management**, 41:1191-1200 (2000).

11. Tang, O., Mohanty, B., "Industrial energy efficiency improvement through cogeneration a case study of the textile industry in thailand", **Energy**, 21: 1169-1178 (1996).
12. Tolmasquim, M.T., Szklo, A.S., Soares, J.B., "Economic potential of natural gas fired cogeneration plants at malls in Rio de Janeiro", **Energy Conversion and Management**, 42 : 663-674 (2001).
13. Luz-Silveira, J., Beyene, A., Leal, E.M., Santana, J.A., Okada, D., "Thermoeconomic analysis of a cogeneration system of a university campus", **Applied Thermal Engineering**, 22:1471-1483 (2002).
14. Gencay, E., "Kojenerasyon Santrallerinde Gaz Türbinleri" **5. Uluslararası Kojenerasyon ve Çevre Konferansı ve Sergisi**, İstanbul , 55-59, (1999).
15. Holanda, M.R., Balestieri, J.A.P., "Cogeneration in a solid-wastes power-station: a case study", **Applied Energy**, 63:125-139 (1999).
16. Koçak, T., ve Gülşen Aksa, O., "Kojenerasyon nedir? Kojenerasyon Teknikleri ve Sistem Seçimi", **Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferans Bildirileri, Makina Mühendisleri Odası Yayın No: 210**, İstanbul, 35-58 (1998).
17. Sakawa, M., Kato, K., Ushiro, S., noaka, M., "Operation Planning of District Heating and Cooling Plants Using Genetic Algorithms for Mixed Integer Programming", **Applied Soft Computing**, 1:139-150 (2001).
18. Consonni, S., Lozzo, G., Macchi, E., "Optimisation of Cogeneration Systems Operation Part ," **Prime Movers Modelization**, 313-322(1989).
19. Derbentli, T., "Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyonun Ekonomik Olurluğu" **Mühendis ve Makine Dergisi**, 473: 45 – 48 (1999).

- 20.Önen, A.,“Çorlu Emlak Konut Sitesinde Isı Kuvvet Santralinin Uygulanabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trakya, 44 (1999).
- 21.Arisoy, A., “Bölgesel Isıtma”, **Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferans Bildirileri, Makine Mühendisleri Odası Yayın No: 210**, İstanbul, 73-84 (1998).
- 22.Karytsos, C., Mendrinos, D., Goldbrunner, J., “Low Enthalpy Geothermal Energy Utilisation Schemes for Greenhouse and District Heating at Traianoupolis Evros”, **Greece Geothermic**, 32: 69-78 (2003).
- 23.Porter, R. W., “Economic Distribution Distance for Cogenerated District Heating and Cooling”, **Energy**, 10(7):851-859 (1985).
- 24.Gustovsson, L. and Karlsson, A., “Heating Detached Houses in Urban Areas”, **Energy**, 28:851-875 (2003).
- 25.Söderman, M. L., “Recovering Energy From Waste in Sweden-a Systems Engineering Study”,**Resources Conservation and Recycling**,38 :89-121(2003).
- 26.Roos, A., Bohlin, F., Hektor, B., Hillring, B., “Wood Fuel Procurement Strategies of District Heating Plants”, **Energy**, 28:127-140 (2003).
- 27.Grohnheit, P.E. and Martensen, B.O.G.,”Competition in the Market for Space Heating. District Heating as the Infrastructure for Competition Among Fuels and Technologies,” **Energy Policy**, 31: 817-826 (2003).
- 28.Bavbek, M.,”Bölgesel Isıtma Bileşik Isı -Güç Santrali Tasarım ile ilgili Bilgisayar Program Geliştirme”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**,Ankara, 126 (1990).
- 29.Roy-Aikins,J.E.A., ”Cogeneration in Rural Development”, **Energy**, 20(2):95-104 (1994)

- 30.Derbentli,T.,”Bileşik Isı-Güç Üretimi”, **Enerji: Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Yalıtım ve Doğalgaz Dergisi**, 1(6):67-68 (1996).
- 31.Tsatsaronis, G. and Pisa, J.,”Exergoeconomic Evaluation and Optimisation of Energy Systems-Application to the CGAM Problem”, **Energy - The International Journal**, 19(3): 287-321 (1994).
- 32.İmal, M.,”Endüstriyel Tesislerde Kullanılan Buharlı Birleşik ısı-Güç Sistemleri”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 69 (1991).
- 33.Tomsic, M., and Mansour, F.,”Optimal Operation of Cogeneration Plants in Industry”, **Energy**, 14(8): 483-490 (1989).
- 34.Sönmez, A.,”Kojenerasyon Teknolojisi ve Bir Kombine Çevrim Santralinde Çalışma Şartlarının Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul 61 (1988).
- 35.Bonilla, D., Akisawa, A., Koshiagi, T.,”Modelling the Adoption of Industrial Cogeneration in Japon Using Manufacturing Plant Survey Data”, **Energy Policy**, 31: 895-910 (2003).
- 36.Wahlund, B., Yan, J., Westermarck, M., “A Total Energy System of Fuel Upgrading by Drying Biomass Feeds to for Cogeneration: A Case Study of Skelleftea Bio Energy Combine”, **Biomass and Bio Energy**, 23 :271-281 (2002).
- 37.Taki, Y., Babus' Haq, R.F., Probert, D., “A Cogeneration-District Heating Scheme for Leicester city”, **UK Energy**, 18 (6): 687-698 (1993).
- 38.Stephen, J., “Esenyurt Kojenerasyon Termik Santrali” **Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Bildirileri Konferansı El Kitabı, Yayın 210**, İstanbul, 101-108 (1998).

39. Moran M. J. And Sciubba, E., "Exergy Analysis: Principle and Practice" ***Journal of Engineering for Gas Turbines and Power- Transactions of the ASME***, 116:285-290 (1994).
40. Gaggioli, R. A., "The Concepts of Thermodynamic Friction, Thermal Available Energy, Chemical Available Energy and Thermal Energy", ***Chemical Engineering Science***, 17:523-530 (1962).
41. Kotas, T. J., "Exergy Concepts for Thermal Plant", ***Internal Journal of Heat and Fluid Flow***, 2(4):147-163(1980).
42. Türkiye Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, "Kentsel Bölgelerde Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma Çalıştay", "Enerji Verimliliğinin Artırılmasına AB Twinning" (Eşleştirme Projesi), [http://www.eie.gov.tr\(2007\)](http://www.eie.gov.tr(2007)).
43. Koçak, T., ve Gülşen Aksa, O., "Kojenerasyon nedir? Kojenerasyon Teknikleri ve Sistem Seçimi", ***Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferans Bildirileri, Makina Mühendisleri Odası Yayın No: 210***, İstanbul, 35-58, 73-84, 101-108 (1998).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ALBAYRAK, Sirer
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 27.02.1973- Sivas
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 336 94 64
e-mail : sireralbayrak@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makina Eğitimi	2007
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makina Eğitimi	2001
Lise	Sivas E. M. L. ve Teknik Lisesi	1992

İş Deneyimi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tenis, Bilgisayar teknolojileri, Basketbol