

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

**ATIK ISIDAN FAYDALANMA VE ÖZEL BİR
FABRİKA UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Selman GÜNEŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ
Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Hakan SOYHAN

Haziran 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK ISIDAN FAYDALANMA VE ÖZEL BİR
FABRİKA UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Selman GÜNEŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Bu tez 12 / 66 / 2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doc. Dr. Hakan S. Soyhan
.....
Jüri Başkanı

Hakan

Yrd. Doc. Dr.
Ahmet KOLİP
.....
Üye

Akrem

Yrd. Doc. Dr. Ekrem Büyükkaya
.....
Üye

Ekrem

TEŞEKKÜR

Atık ısıdan faydalanma ve özel bir fabrika uygulaması konusunu bana tez konusu olarak tespit eden, bilgi ve tecrübesiyle bana yol göstericilik yapan, saygıyla anacağım değerli hocam Sn. Dr. Hakan Serhad SOYHAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Sistemi daha iyi düşünüp tasarlayabilmem için tesise istediğim sıklıkta gidip veri almamı ve sistemi yerinde görmemi sağlayan, ÇAMSAN fabrikası çalışanlarına teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
İNSAN VE ENERJİ.....	2
2.1.Dünyada Enerji Üretimi.....	4
2.2.Elektrik Maliyeti.....	6
2.3.Türkiye'nin Mevcut Enerji Durumu ve Kojenerasyon Politikası.....	7
2.4. Gaz Türbinli Santraller.....	12
2.5.Buhar Türbinli Santraller.....	14
2.5.1. Buhar Türbinli Santral Bölümleri ve Görevleri.....	16
2.6. Kombine Çevrimli Termik Santraller.....	17
2.6.1. Bir kombine çevrimin termodinamik analizi.....	23
2.6.2. Kombine çevrimli santrallerin tasarımında göz önüne alınan başlıca esaslar.....	24
2.6.2.1. Termik verim.....	25
2.7. Örnek Bir Enerji Santrali Tanıtımı ve İncelenmesi.....	27
2.8. Bir Enerji Santralini Oluşturan Elemanlar.....	30

2.8.1. Eşanjör (Isı Değiştiricisi).....	30
2.8.1.1. Eşanjör türleri.....	30
2.8.2. Evaporatör.....	32
2.8.2.1. Evaporatörde kapasitenin belirlenmesi için gerekli hususlar.....	36
2.8.2.2. Evaporatör çeşitleri.....	36
2.8.3. Soğutma kulesi.....	40
2.8.3.1. Mollier diyagramı.....	41
2.8.3.2. Su soğutma kulesi tipleri.....	46
2.8.3.3. Soğutma kulesi tasarımında etkili olan faktörler.....	47
2.8.4. Yoğuşturucu (Kondenser)	51
2.8.4.1. Su soğutmalı kondenserler.....	52
2.8.4.2. Hava soğutmalı kondenserler.....	55
2.8.4.3. Evaporatif (hava + su soğutmalı) kondenserler.....	57
2.8.5. Ara kızdırıcı.....	58
2.8.5.1. Regeneratif sistemi.....	58
2.8.5.2. Besleme suyunun buharla ısıtılması.....	62
2.8.6. Buhar ve gaz türbinleri.....	64
2.8.7. Alternatörler.....	66
2.8.7.1. İndüklenme.....	66
2.8.7.2. İndüklenen e.m.k'nın değeri.....	68
2.8.7.3. Dönen bir bobinde indüklenen e.m.k.....	68
2.8.7.4. Alternatörlerin yapıları.....	71
 BÖLÜM 3.	
OTOPRODÜKTÖRLER.....	74
 BÖLÜM 4.	
KOJENERASYON.....	77
4.1. Kojenerasyonun Gerekliliği.....	80
4.2. Kojenerasyonun Faydaları.....	80
4.2.1. Endüstriyel faydaları.....	81
4.2.2. Milli ekonomiye faydaları.....	81

4.3. Kojenerasyon Uygulamalarının Yaygınlaştırılması.....	82
BÖLÜM 5.	
PROJELENDİRME.....	84
5.1. ÇAMSAN Hakkında.....	84
5.2. Projenin Tasarlanması.....	85
5.3. Termik Reaksiyonlar ve Enerji Eldesi.....	87
5.4. Durum 1 için Eleman Seçimlerinin Yapılması.....	91
5.5. Durum 2 İçin Eleman Seçimlerinin Yapılması.....	97
5.6. Sistem İçin Genel Maliyet Analizi (Fizibilite).....	102
5.6.1. Alternatör + buhar türbini.....	103
5.6.2. Soğutma grubu.....	104
5.6.3. Sistemde kullanılan boru grubu.....	105
5.6.4. Isı değıştiricisi.....	105
BÖLÜM 6.	
SONUÇ.....	108
KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	113

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

B	: Birim yüzeydeki manyetik kuvvet çizgisi
C _p	: Özgül Isı
e	: Elektromotor kuvvet (e.m.k)
E _ç	: Sistemden çıkan enerji
E _g	: Sisteme giriş yapan enerji
GW	: Giga Watt
h _ç	: Sistemden çıkış yapan entalpi
h _f	: Oluşum entalpisi
h _g	: Sisteme giriş yapan entalpi
K	: Isı iletim katsayısı / Toplam ısı geçişi katsayısı
L	: Uzunluk
MW	: Mega Watt
n	: Kademe sayısı
t _a	: Kazan basıncındaki doyma sıcaklığı
t _k	: Kondenser yoğuşum suyu sıcaklığı
R _{kir}	: Kirlilik ısı direnci
V	: Hız
W	: Watt
η	: Verim

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Gaz türbinli santrallerin çalışma prensibi.....	12
Şekil 2.2.	Buhar türbinli santral kesiti.....	14
Şekil 2.3.	Buhar türbinli termik santralin prensip şeması ve bölümleri...	15
Şekil 2.4.	Termik santral enerji dönüşüm şeması.....	15
Şekil 2.5.	Kombine çevrimli elektrik santrallerinin çalışma prensibi...	18
Şekil 2.6.	Kombine çevrimin şematik gösterimi.....	22
Şekil 2.7.	Kombine çevrim için T-s diyagramı.....	22
Şekil 2.8.	Plakalı eşanjör kesitleri.....	32
Şekil 2.9.	Bir akışkanın plakalı eşanjörde akışı.....	32
Şekil 2.10.	Batch pan tipli evaporatör	38
Şekil 2.11.	Doğal sirkülasyonlu evaporatör.....	39
Şekil 2.12.	Zorlanmış sirkülasyon.....	39
Şekil 2.13.	Mollier diyagramı.....	42
Şekil 2.14.	4 üniteden oluşan bir soğutma grubunun şekli.....	43
Şekil 2.15.	Karşıt akışlı soğutma kulesinde su / hava sıcaklık bağlantısı..	45
Şekil 2.16.	Hiperbolik kule.....	46
Şekil 2.17.	Psikrometrik diyagram kullanılarak sislenme tahmini.....	50
Şekil 2.18.	Rankine çevrimi.....	59
Şekil 2.19.	Rankine çevrimi.....	59
Şekil 2.20.	Carnot çevrimi.....	60
Şekil 2.21.	Carnot çevrimi.....	60
Şekil 2.22.	Rejeneratif sistemin sağladığı yararın grafiksel gösterimi...	61
Şekil 2.23.	Sankey diyagramı.....	61
Şekil 2.24.	Basınç fonksiyonu olarak verim artışı.....	64
Şekil 2.25.	Rejeneratif çevrimin şematik gösterimi.....	66

Şekil 2.27.	Dönen bir bobinde indüklenen emk.....	69
Şekil 2.28.	Alternatif akım.....	70
Şekil 2.29.	Stator.....	72
Şekil 2.30.	Rotor.....	73
Şekil 4.1.	İdeal bir kojenerasyon santrali.....	78
Şekil 4.2.	Bir santralin motor kısmı.....	79
Şekil 5.1.	Projenin şematik çizimi.....	86
Şekil 5.2.	Su buharının ısı değiştiricisine giriş ve çıkış koşulları.....	93
Şekil 5.3.	Su buharının türbine giriş ve çıkış koşulları.....	95
Şekil 5.4.	Su buharının türbine giriş ve çıkış koşulları.....	101

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Teknoloji ve yakıt vasıtasıyla dünya düzeni kapasitesi.....	4
Tablo 2.2.	Teknoloji vasıtasıyla dünya enerji üretimi.....	5
Tablo 2.3.	Fosil yakıt kullanan elektrik santralleri için yakıt tüketimi.....	5
Tablo 2.4.	Birincil enerji üretimi.....	8
Tablo 2.5.	Birincil enerji tüketimi.....	9
Tablo 2.6.	Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları üretim-tüketim değerleri ile üretim ve talep fonksiyonları.....	10
Tablo 2.7.	1996-2010 yılları arasında kurulacak santraller.....	11
Tablo 2.8.	Türkiye'nin elektrik üretim ve tüketim miktarları.....	11
Tablo 2.9.	Adapazarı, Gebze ve İzmir termik santrallerinin özellikleri.....	19
Tablo 2.10.	Esenyurt kombine çevrimli doğalgaz termik santrali teknik özellikleri.....	21
Tablo 2.11.	Amerika'da bulunan 3 adet santralin bazı özellikleri.....	27
Tablo 5.1.	300 °C için hesaplanan değerler.....	88
Tablo 5.2.	100 °C için hesaplanan değerler.....	90
Tablo 5.3.	69 kPa ve 90 °C'deki suyun entalpisinin tespiti.....	93
Tablo 5.4.	4.5 MPa basınçta kızgın su buharının entalpi değerleri.....	94
Tablo 5.5.	4.5 MPa basınçta kızgın su buharının entalpi değerleri.....	95
Tablo 5.6.	0.2 Mpa basınçta 150 °C'de su buharının entalpi değerleri.....	95
Tablo 5.7.	90 °C sıcaklık ve 69 kPa basınçta su buharının özgül ısısı...	99
Tablo 5.8.	CO ₂ gazının 1 atm basınçta özgül ısısı.....	99
Tablo 5.9.	Su buharının 1 atm basınçta özgül ısısı.....	99
Tablo 5.10.	0.4 MPa basınçta su buharının entalpi değerleri.....	101
Tablo 5.11.	Durum 1 için seçilen buhar türbini ve özellikleri.....	104
Tablo 5.12.	Durum 2 için seçilen buhar türbini ve özellikleri.....	104
Tablo 5.13.	Birinci durum için hesaplanan toplam maliyet.....	106
Tablo 5.14.	İkinci durum için hesaplanan maliyet.....	106

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kojenerasyon, fizibilite

Kojenerasyon elektrik enerjisi elde edilirken aynı zamanda buhar ve ısı enerjisi eldesinden dolayı enerji üretiminin en etkin yollarından biridir.

Büyük fabrikalarda fabrika için gerekli elektrik veya ısı enerjisi eldesi için parçalanmış odun, gaz veya kömür yakıt olarak kullanılır. Kojenerasyon, fabrikanın kullanımı için hem elektrik hem de ısı üretebilir. Kojenerasyon, yakıtın termodinamiksel olarak en etkili şekilde kullanılmasına olanak verir. Elektriğin üretimi sırasında daima bir miktar ısı enerjisi kaybı olur, fakat bu termal enerji kojenerasyonda geri kazanılarak kullanılır.

Kojenerasyon sistemleri, küresel ısınmayı azaltmada rol oynama gibi önemli özellikleri keşfedildiğinden beri gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada kojenerasyon sistemleri bütünüyle incelendi. Daha sonra geliştirilen proje Sakarya'nın Hendek ilçesi 2. OSB (Organize Sanayi Bölgesi)'de bulunan ÇAMSAN isimli fabrikaya uygulandı. Yapılan fizibilite analizi sonunda fabrikanın devamlı çalışması sonucunda sistemin kendisini 2 ay içinde amorti edeceği hesaplandı.

USING WASTE HEAT AND IT'S APPLICATION TO A SPECIAL FACTORY

SUMMARY

Key words: Cogeneration, feasibility

Co-generation, an efficient method of generating energy, involves producing electricity at the same time as creating heat and steam for industrial purposes.

In large factories, wood waste, gas or coal is used to generate electricity or heat for the factory. Co-generation can produce both electricity and hot steam for factory use. Cogeneration allows using fuel in a thermodynamically efficient way. Some energy always rejected as waste heat during separate production of electricity, but this thermal energy is put to good use in cogeneration.

Cogeneration systems are becoming popular since they have important advantages such as their high productivity in reducing global heating. In this study, the formation of a cogeneration system was investigated thoroughly. Then the developed procedure is applied to a factory called CAMSAN. CAMSAN is settled on 2nd Organizational Industrial Area (OSB in Turkish) of Hendek region in City of Sakarya, Turkey. Afterwards a feasibility analysis is made and it is found that the establishment of the system will be compensated in 2 months if the factory runs in full time.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyada enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Enerji üretiminde amaç kaliteli, güvenilir ve ekonomik enerji üretimi olmalıdır. Enerji temininde ise sürdürülebilir kalkınma önem kazanmaktadır. Bugünkü dünyanın yaşam kalitesi yükseltilirken gelecek dünyaya da aynı yaşam kalitesinin sunulması gerekmektedir. Ülkelerin enerji politikalarındaki amaç, sürdürülebilir enerji üretimi olmalıdır.

Küresel rekabetin arttığı bir ortamda enerjide sürdürülebilirlik, kaliteyi yükseltmek ve maliyeti düşürmekle olanaklıdır. Kojenerasyon enerji sistemleri, bu amaç için kullanılan enerji üretim tekniklerinin başında yer almaktadır. Enerjinin çok büyük öneme sahip olduğu günümüzde verimliliğin artırılmasının ne kadar önemli olduğu tartışılmaz bir gerçektir.

Bu amaçla herkes en verimli biçimde çalışmak, enerjisini en verimli biçimde sonuna kadar kullanmak ve en az biçimde enerji tüketerek üretim yapmak zorundadır. Her geçen gün kaynak bulmanın zorlaşacağı şüphe götürmez bir gerçektir.

BÖLÜM 2. İNSAN VE ENERJİ

İnsanoğlu bir enerji kaynağı olarak ateşi kullanmaya başladıktan sonra, yeryüzünde sadece yediği gıdadan alınan enerji ile yaşamını sürdüren diğer canlılardan ayrılarak yeni bir döneme girmiştir. O günden bu güne yeni enerji kaynakları arayışı içinde bulunan insanoğlu, bu kaynakları kendi amacı için giderek artan bir tempo ile kullanmıştır. Geçmişte olduğu gibi bugün de, daha çok enerji kaynağını kullanan insan toplulukları daha güçlü olmakta ve daha rahat yaşamaktadır. Bu yönü ile hayatımızda çok önemli bir yer tutan enerjiden vazgeçmemiz mümkün değildir [1].

Çevresel faktörler, özel ve kamu sektörünün yapabileceği enerji yatırımlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Son yıllarda enerji üretimi, bir yerden başka bir yere taşınması veya enerjinin bir türünden başka bir türeüne dönüştürülmesi sırasında verimlilik, tasarruf ve ekoloji kavramları ön plana çıkmıştır. Bu nedenle termik ve nükleer santral yatırımları ertelenmiştir. Geçen yüzyılda tam anlamı ile petrol ön plana çıkarken, günümüzde elektriğin ön plana çıkması beklenmektedir [1].

Enerji üretim ve tüketiminde, ekonomik ve sosyal gelişimi destekleyecek, çevreyi en az düzeyde kirletecek, minimum maliyette enerji arzı hedef alınmak durumundadır. Bu açıdan, birincil enerji kaynaklarının mümkün olan en verimli şekilde kullanılabilmesi için, enerjinin yalnızca dönüşümünün değil, kullanılabilirliğinin de araştırılması gerekir. Enerji sektöründe temel amaç, artan nüfusun ve gelişen ekonominin enerji ihtiyaçlarının sürekli, kesintisiz bir şekilde ve mümkün olan en düşük maliyetlerle, güvenli bir arz sistemi içinde karşılanabilmesidir. Buna ilaveten işin maddi kısmının yanında kojenerasyonsuz güç üretim sistemlerinin atık ısıları iklim değişikliklerine neden olmakta, yakıt enerjisi verimsiz kullanılmakta, suda ve havadaki ekolojik dengeyi bozmaktadır [2].

Bu kapsamda, diğ er enerji kaynaklarına göre kolay temin edilebilen ve çevreye etkisi daha az olan doğ algazın ö lkemizde birincil enerji kaynağı olarak kullanımını giderek artmaktadır. Yüksek verim ve kısa zamanda işletmeye alma gibi avantajlarından dolayı doğ algaz yakıtlı kombine çevrim santralleri ö lkemizde elektrik enerjisi üretiminde son yıllarda giderek artan bir oranda kullanılmaktadır [3].

Günümüzde kalkınmanın ve refahın ölçütlerinden biri de toplumların kişi başına ürettiğı ve tükettiğı enerji miktarıdır. Enerjinin üretilen ve kullanılan biçimleri ısı enerjisi, mekanik enerji ve elektrik enerjisidir. Bu enerji türlerinin üretilmesinde birincil enerji kaynakları olan fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğ algaz), nükleer bölünme (filyon), odun, biyo-kütle, güneş, su, rüzgar, yer altı sıcak ve kaynar su (hidrotermal) kaynakları kullanılmaktadır. Bu kaynakların değışik teknolojiler kullanılmasıyla ikincil enerji kaynakları olan elektrik (termik santraller, barajlar) ve ısı enerjisi (kazanlar, özel nükleer santraller) ile mekanik enerji (fosil yakıtlı motorlar) elde edilmektedir [4].

Jeotermal kaynakların elektriksel güç üretiminde kullanılması dünyada yaygın bir uygulamadır. Güç üretimi için uygulanan başlıca iki yöntemden birisi, jeotermal akışkandan elde edilen su buharının doğ rudan türbine gönderilmesidir. Diğ er yöntemde ise, jeotermal akışkan, ikincil bir akışkanın kullanıldığı kapalı bir güç çevrimine ısı vermek için kullanılmaktadır. Kaynak sıcaklıklarına bağılı olarak, yukarıda bahsedilen iki yöntemin birarada kullanılması da olanaklıdır [3].

Jeotermal bölge ısıtmalarında, ısıtma amacı ile kullanılan suyun dağıtım sıcaklığı; uygulamalarda 70 - 85 °C aralığında olmaktadır. Böylece, görece yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynağın termodinamik kullanılabilirliğinin önemli bir kısmı, düşük sıcaklıktaki dolaşım suyunun ısıtılması sırasında yitilmektedir. Buna karşılık, akışkanın yüksek termodinamik potansiyelinin; önce güç üretiminde, sonrasında ısıtma amacı ile kullanılmasıyla, ısıtma kapasitesi önemli ölçüde azaltılmadan, güç üretilmesi olanaklıdır [5].

Yurdumuzda bölge ısıtmasında kullanılan jeotermal kaynaklar, bazı bölgelerde 130°C üzerinde sıcaklıklara ulaşmaktadır. Kurulmuş olan bölge ısıtılma

sistemlerinde, jeotermal suyun enerjisi bir ısı değiştirgecinde temiz suya aktarılmakta ve 70-85°C sıcaklıktaki temiz su, dolaşım suyu olarak bölgeye gönderilmektedir [6].

2.1. Dünyada Enerji Üretimi

Tablo 2.1’de yer alan 1996 yılı verileri yer almaktadır. Alternatif yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerji bu tabloda yer almamaktadır. Buhar türbinleri, gaz türbinleri ve kombine çevrimler için mevcut kapasiteler 3 MW’dan daha büyüktür. Tüm gaz türbinlerinin yaklaşık %40’ı sıvı yakıtlardan elde edilen gazlar tarafından çalıştırılır. Teknoloji vasıtasıyla dünya enerji üretim pazarının coğrafı dökümü Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Teknoloji ve yakıt vasıtasıyla dünya düzeni kapasitesi

Buhar Türbinli Elektrik Santralleri (%66)	Kullanılan Yakıt
	Kömür 950 GW
	Gaz 330 GW
	Yağ 315 GW
	Diğer 55 GW
	Nükleer 360 GW
Toplam	2050 GW
Gaz Türbinli Elektrik Santralleri (%10)	
	Basit Çevrim 215 GW
	Kombine Çevrim 85 GW
Toplam	300 GW
Hidroelektrik Santralleri (%22)	Hidro enerji 680 GW
Toplam	680 GW
Diğer (%2)	70 GW
Toplam	70 GW
GENEL TOPLAM	3100 GW

Tablo 2.2 Teknoloji vasıtasıyla Dünya Enerji Üretimi [49]

1995 Kaynaklı Elektrik Üretimi	ESSCB ve DA hariç tüm Dünya (TWh)	ESSCB ve DA hariç tüm Dünya (%)	ESSCB ve DA (TWh)	ESSCB ve DA birlikte tüm Dünya (TWh)
Hidro	2,247.9	% 20.2		
Nükleer	2,051.4	% 18.5		
Diğer	190.3	% 1.7		
Termik Santraller	6,617.4	% 59.6		
TOPLAM	11,107.0	% 100.0	1,733.7	12,840.7

Notlar: ESSCB = Eski Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
 DA = Doğu Avrupa
 TWh = 1.000 GWh

Tablo 2.3 Fosil Yakıt Kullanan Elektrik Santralleri için Dünya Yakıt Tüketimi [49]

Elektrik Santrallerine Yakıt Girdileri	(BTYE)	(%)
Yağ	233.180	% 14.6
Gaz	291.113	% 18.3
Katı Yakıtlar	1,070.602	% 67.1
TOPLAM	1,594.895	% 100.0

Notlar : BTYE = Bin Ton Sıvı Eşdeğeri
 Katı Yakıtlar = Taş kömürü, Kok kömürü, Linyit kömürü

1997'de Dünya çapındaki kombine çevrim santrallerinin düzenlenmiş elektrik kapasitesi yeni yüklemelerle birlikte yılda ortalama yaklaşık 25-30 GW artarak, toplamı 150 GW'ı geçmiştir [49].

2.2. Elektrik Maliyeti

Elektrik gideri, üretilen elektriğin MWh'ne ilişkin kendine özgü bir terimdir. Esas olarak sermaye maliyeti, yakıt maliyeti ile işletme ve bakım giderlerini içerir. Verilmiş başvuru için elektrik santral türünü seçerken üretilmiş elektrik gideri ana unsurdur. Değerlendirilen diğer faktörler şunlardır:

- a) Uygun prosedür,
- b) Finansal olabilme, kredi yapıları,
- c) Çevresel sorunlar (nükleer atık, hava emisyonları, su tüketimi, ısı yayımı, gürültü),
- d) Yapım süresi, projenin değer düşme periyodu.

Bütün elektrik santralleri üretim giderini mümkün olduğunca az miktarda tutmak için düzenlenir. Bu hedefe yasal ve çevresel korumalar sınır durumlar çizer.

Verilen bir elektrik santral için elektrik üretimi başına düşen sermaye giderleri ücrete, o santral için tükenme oranına, faize ya da sermaye yatırımlarındaki (yıllık gelir faktörü) istenen gelire, ve santralin yük faktörüne bağlıdır. Elektrik üretimi başına düşen yakıt giderleri yakıtın kendine özgü fiyatı ile orantılı ve yüklemenin ortalama elektrik üretim verimi ile ters orantılıdır.

İşletme ve bakım giderleri sabit işletme, onarım ve idare (personel, sigorta, vs.) , değişken işletme ve onarım, tamir (tüketim malları, yedek parçalar, vs.) giderlerini içerir.

Sermaye giderini, yakıt giderini ve işletme ve bakım giderini ekleyerek elektrik gideri hesaplanır. Mevcut değer, ekonomik karşılaştırmalar için kullanılan genel bir kuraldır. Bir elektrik santrali için farklı zamanlarda çeşitli giderlere maruz kalınır fakat finansal hesaplamalar için genellikle ticari işletmenin başlaması zamanı olan özel bir başvuru zamanına ayarlanır. Bu dönüştürülmüş miktarlar mevcut değer olarak bilinir.

Nominal verimdeki eşdeğer faydalanma zamanı nominal verim tarafından bölünmüş olan periyodik zamanda bir santral tarafından sağlanan elektrik enerjisidir. Bu tanım farklı çalışma yöntemlerinin (örneğin; kısmi yük çalışması) etkileri için elektrik şebekesindeki önem üzerine elektrik santralleri için düzeltmeler sağlar, böylelikle mukayese edilebilir temelde analiz edilebilirler. Hükümet denetimi kaldırılmış enerji üretim piyasasında, elektrik santralleri bir ortalama elektrik üretim gideri üzerinden değil fakat talep ve arz esası üzerinden fiyatlandırılır. Bu yüzden, sabit ve değişken giderleri anlamak önemlidir.

Sabit giderler :

- a) Sermayedeki faiz ve değer azalması,
- b) İşletme, bakım ve idare (örneğin personel) sabit giderleridir.

Değişken giderler :

- a) Kullanılan yakıt,
- b) İşletme, bakım ve tamir (örneğin yedek parçalar) değişken giderleridir.

Az talep ve yüksek arz (örneğin, gece saatleri) zamanı için, elektrik istasyonları değişken giderler kadar düşük ücretten fiyatlandırılabilir ve zamanın kısa periyodları için, daha düşük bir fiyat olsa bile, sonradan istasyonun durması ayrıca giderlere sebep olur. Yüksek talep (örneğin, öğle zamanı) zamanlarında, ek sabit giderlerini geri kazanacak seviyede fiyatlanabilirler. Sadelik sebepleri için, ortalama elektrik üretim gideri takip eden kıyaslar için kullanılacaktır.

2.3. Türkiye'nin Mevcut Enerji Durumu ve Kojenerasyon Politikası

Kalkınmakta olan ve nüfusu artan bir ülke olması nedeniyle Türkiye'nin enerji tüketimi hızla artmaktadır. Bu da doğal kaynakların bilinçsizce ve büyük bir hızla tüketilmeye başlamasına neden olmaktadır. Bu bilinçsizce tüketim, enerji kaynaklarının verimli kullanımını gündeme getirdiği gibi, tüketim sonunda oluşan her türlü katı, sıvı ve gaz atıkların da arıtılmadan doğaya atılmasının meydana getirdiği önemli çevre kirliliğinin önlenmesi arayışını da beraberinde getirmektedir [8].

Türkiye enerji kaynakları açısından, ne yazık ki kendisine yeterli bir ülke değildir. Petrolü yok denecek kadar az, hidroelektrik nispeten bol ama yetersiz, 6 milyar tona varan linyit rezervleri ise kalitesizdir. Dolayısıyla Türkiye, önce kendi kaynaklarına yönelip dışa bağımlılığı asgari düzeyde tutmak, sonra da dış kaynaklara yönelirken, istikrarlı coğrafyalar aramak ve bu bağımlılığı mümkün olduğunca fazla sayıda ülke arasında yaymak zorundadır [7].

Tablo 2.4’de 1990-99 yılları arasında Türkiye’nin birincil enerji kaynakları üretimi verilmektedir. 1999 yılında enerji üretiminin yaklaşık 27 milyon ton eşdeğer petrole geldiği görülmektedir. Petrol ve doğalgaz üretimleri oldukça düşük olup, Türkiye’de ana enerji kaynağının linyit başta olmak üzere kömür olduğu da tespit edilmektedir. Kömürden sonra diğer ağırlıklı enerji kaynağı hidrolik enerji olup, 1999 yılında 34678 GWh ile toplam enerji üretiminde hissedilebilir ağırlıktadır.

Tablo 2.4 Birincil enerji üretimi [9]

YILLAR	TAŞ KÖMÜRÜ	LİNYİT	ASFALTI T	DOĞALG AZ	PETROL	RÜZGAR	ODUN	HAYVAN VE BİTKİ ARTIKLA	GÜNEŞ	TOPLAM
1990	2745	44407	276	212	3717	80	17870	8030	21	25123
1991	2762	43207	139	139	4451	81	17970	7918	27	25138
1992	2830	48388	213	198	4281	70	18070	7772	32	26408
1993	2789	45685	86	200	3892	78	18171	7377	38	26021
1994	2839	51553	0	200	3687	79	18272	7074	45	26059
1995	2248	52758	67	182	3516	86	18374	6765	52	26255
1996	2441	53888	34	206	3500	84	18374	6666	80	26926
1997	2513	57387	29	253	3457	83	18374	6575	80	27678
1998	2156	65204	23	565	3224	91	18374	6739	100	28863
1999	1990	65019	29	731	2940	83	17642	6529	112	27057

Türkiye’de enerji tüketiminin yıllar itibariyle değişimi Tablo 2.5’den görülebilir. 1990 yılında 52,6 Mtep olan enerji tüketimi 1999 yılında 76,631 Mtep’e

ulaşabilmiştir. Aynı çizelgede petrolün 1999 yılında genel enerji tüketiminin % 49.9'unu teşkil ettiği görülmektedir.

Tablo 2.5 Birincil enerji tüketimi (Orijinal Birimler) [9]

YILLAR	TAŞ KÖMÜRÜ (1000 TON)	LİNYİT (1000 TON)	ASFALTİT (1000 TON)	DOĞALGAZ (MİLYON m ³)	PETROL (1000 TON)	RÜZGAR (GWH)	ODUN (1000 TON)	HAYVAN VE BİTKİ ARTIKLARI	GÜNEŞ (1000 TON)	TOPLAM
90	8191	45961	287	3418	22700	80	17870	8030	21	52632
91	8824	48851	139	4205	22113	81	17970	7918	27	53915
92	8841	50659	197	4602	236600	70	18070	7772	32	56298
93	8544	46086	102	5088	27037	78	18171	7377	38	59845
94	8192	51178	0	5408	25859	79	18272	7074	45	58675
95	8548	52405	66	6937	27918	86	18374	6765	52	63215
96	10892	54961	34	8114	29604	84	18374	6666	80	69402
97	12537	59474	29	10072	29176	83	18374	6575	80	73257
98	13146	64504	23	10648	29022	91	18374	6739	100	74248
99	11197	61049	29	12808	23939	87	17642	6529	1121	76631

Günümüzde ülkemiz elektrik üretiminin % 40'ını hidrolik, % 37'sini linyit, % 20 kadarını da ithal doğalgazdan sağlamakta, hidroelektrik potansiyelinin şimdilik % 30'unu kullanmaktadır. 1980'lerin başında hidroelektrik potansiyelinin ancak % 15'ini kullanırken, bugün % 30'unu devreye sokmuş bulunmakta ve 2010 yılına kadar bu oranı % 65'e, 2020 yılında da % 80'e çıkarılması tasarlanmaktadır. Ancak Türkiye'nin artık Keban gibi büyük proje imkanları kalmamıştır. Bundan sonra yapılacak barajlar sayıca fazla, boyutça orta ve küçük çapta olacak, ürettikleri enerjinin birim maliyeti artacaktır. Nitekim TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.) 2010 yılına kadar toplam 700 MW gücünde 34 baraj kurmayı planlamakta, daha sonrası için diğer 300 barajın projesi üzerinde çalışmaktadır [7].

Tablo 2.6 Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları üretim-tüketim değerleri ile üretim ve talep projeksiyonları [7]

KAYNAKLAR	Üretim - Tüketim Değerleri			Üretim ve Talep Fonksiyonları		
	2000	2001	2005	2010	2015	2020
Üretim (Bin ton eşdeğer petrol)						
Hidrolik	2655	2065	4162	5623	7190	8381
Jeotermal+Güneş+Rüzgar Enerjisi	1988	2059	2118	4245	6131	9081
Biyokütle Enerjisi	6445	6201	5325	4417	4001	3925
Toplam	11088	10325	11605	14825	17322	21387
Yenilenebilir Enerji Üretimi / Toplam Enerji Üretimi (%)	39.6	37.7	34	30	31	30
Yenilenebilir Enerji Kaynakları / Toplam Birincil Enerji Arzı (%)	13	13	9	8	8	7
Yenilenebilir Elektrik Enerjisi Üretimi (GWh)						
Hidrolik Enerjisi	30879	24010	48398	65837	83605	97456
Jeotermal+Güneş+Rüzgar Enerjisi	109	152	113	113	113	113
Toplam	30988	24162	48511	65500	93718	97569
Yenilenebilir Elektrik Enerjisi Üretimi / Toplam Elektrik Enerjisi Üretimi (%)	24,80	19,70	25,00	22,00	21,00	18,00

Ancak, barajların üretimi yağışa bağlı olduğundan, kurulu kapasitenin büyük bir kısmını bu kaynağa dayandırmak sakıncalıdır. Dolayısıyla bu kaynağı, yakıtı her an bulunabilir türden, örneğin kömür santralleriyle desteklemek gerekir. Tablo 2.7' de 1996-2010 yılları arasında TEDAŞ ve özel sektörde kurulması planlanan santraller verilmiştir [7].

Tablo 2.7 1996-2010 yılları arasında TEDAŞ ve özel sektörcü kuruluşların yapılmış santral türleri ve kapasiteleri [11]

Linyit / Taş Kömürü	Hidrolik	Doğal Gaz	Nükleer	İthal Kömür	Fuel-Oil
33 Ünite	75 Ünite	20 Ünite	2 Ünite	6 Ünite	4 Ünite
9687 MW	11325 MW	11927 MW	2000 MW	3000 MW	776 MW

Ülkemizin kurulu gücü 1950 yılında 408 MW iken 2000 yılı sonu itibariyle 27868 MW'a ulaşmıştır. Net elektrik tüketimi 1950 yılında 32 kWh\kişi iken bu değer 1999 yılı için 1417 kWh\kişi'ye ulaşmıştır. Bu değer gelişmiş ülkelerle karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Tablo 2.8'de bu gelişmenin ayrıntıları yer almaktadır.

Tablo 2.8 Türkiye'nin elektrik üretim ve tüketim miktarları [11]

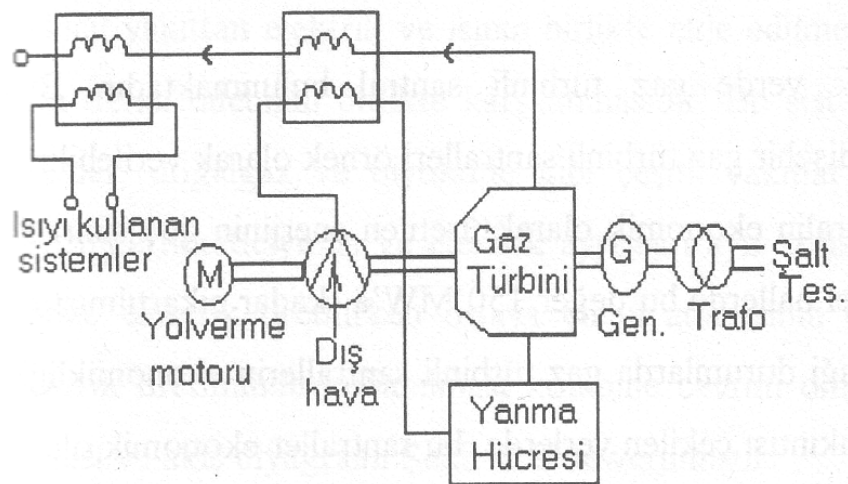
Türkiye Elektrik Üretimi							Toplam Net Tüketim							
Kurulu Kapasite (MW)				Enerji (GWh)			İthal Gwh	İhraç Gwh	Brüt Gwh	Pik Kapasitesi Mw	Enerji Gwh	Türkiye'nin nüfusu * 1000	Net Tüketim KwH/Kisi	Yük Faktörü %
Yıllar	Termik	Hidrolik	Toplam	Termik	Hidrolik	Toplam								
1950	390	18	408	759	31	790	0	-	790	-	679	2094	32	-
1960	861	412	1273	1814	1001	2815	0	-	2815	-	2396	27755	86	-
1970	1510	725	2235	5590	3033	8623	0	-	8623	1508	7308	35605	205	65
1980	2988	2131	5119	11927	11348	23275	1341	-	24617	4023	20398	44737	456	66
1990	9551	6764	16315	34395	23148	57543	176	907	56812	9056	46820	56473	829	73
1993	10653	9774	20427	39857	33951	73808	213	589	73432	11852	59237	59869	989	71
1994	10993	9933	20926	47736	30586	78322	31	570	77783	12760	61401	61444	999	70
1995	11089	9933	21022	50706	35541	82647	0	696	85552	13876	67394	62526	1078	71

Tablo 2.8 (Devamı) Türkiye'nin elektrik üretim ve tüketim miktarları [11]

Yıl	1996	1997	1998	1999	2000
Üretim	11312	11787	13036	15556	16181
Tüketim	9935	1010	10307	10537	11643
Yazık	21247	21890	23352	26117	27868
Yazık	54387	63480	68788	86661	92263
Yazık	40475	39816	42229	34678	42216
Yazık	94862	10329	11102	11644	126119
Yazık	270	2492	3299	2330	3690
Yazık	343	271	298	285	392
Yazık	94789	105517	11402	11848	130201
Yazık	15231	16717	17565	18804	19083
Yazık	74157	81885	87705	91222	-
Yazık	63898	62866	63451	64385	-
Yazık	1161	1303	1382	1417	-
Yazık	72	71	72	71	-

2.4. Gaz Türbinli Santraller

Gaz türbinli santrallerde benzin, motorin ve doğalgaz gibi ısı değeri yüksek yakıtlar kullanılır. Burada elektrik enerjisi üretimi esnasında Şekil 2.1'de görüldüğü gibi gazın sıkıştırılması sonucunda açığa çıkan ısı enerjisi gaz türbinine verilir ve mekanik enerji üretilmiş olur. Buna bağlı olan jeneratörde mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur.



Şekil 2.1 Gaz türbinli santrallerin çalışma prensibi [12]

Bu santrallerin çalışma prensibi buhar türbinlerinininkine benzerdir. Sadece kullanılan yakıt ve türbinde bir farklılık vardır. Bu santrallerin avantaj ve dezavantajları şöyle sıralanabilir:

Gaz türbinli santrallerin avantajları;

- a) Az yer kaplarlar ve çok az suya ihtiyaç duyarlar,
- b) İlk yatırım maliyeti düşüktür,
- c) Montaj ve imalat süreleri kısadır,
- d) Çok kısa sürede devreye alınırlar, 40 - 50 MW'lık bir gaz türbini 10 dakikada devreye girer,
- e) Çevreye zarar vermezler [12].

Gaz türbinli santrallerin dezavantajları;

- a) Türbin verimi düşüktür. Yakıt girişinin %30 ile %35'i mil çıkışına iletilmektedir. Gaz türbinlerinin verimi 1950'lerde %20 civarındaydı. 1980'lerin başlarına kadar bu oran %30'a yükseldi. 1998 yıllarında en basit bir santral verimi %35-40 civarındadır.
- b) Türbinin devir sayısı bir hayli yüksektir. Bu da sürtünme kaybına bağlı aşınma sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bunu önlemek için türbine dişliler takılmıştır.

Ülkemizdeki birçok bölgede gaz türbinli santral bulunmaktadır. Bu santrallere Bornova ve Seydişehir gaz türbinli santralleri örnek olarak verilebilir [12].

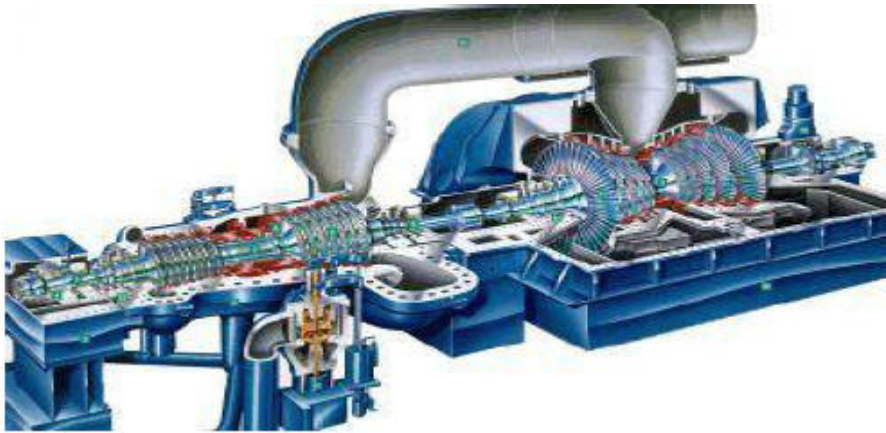
Bir gaz türbinli santralin ürettiği enerjinin güç sınırı 5 ile 20 MW arasındadır. Özel hallerde bu değer 150 MW'a kadar çıkartılmıştır. Enerjinin acil olarak gerektiği durumlarda gaz türbinli santrallerin ekonomikliği çok önemli değildir. Enerji sıkıntısı çekilen yerlerde bu santraller ekonomik olur, ancak çok büyük güçlere çıkılmamalıdır. Çünkü tesis masrafları büyük ve ömürleri kısadır.

Dünya Enerji Konseyi tahminlerine göre gaz yakıt kullanımında büyük gelişme yaşanmaktadır. Buna göre; gazın kullanımı 1980'lerde %12 iken 2010 yılında %17'ye çıkacaktır. 1985 ile 1989 yılları arasındaki fosil yakıtla çalışan bütün güç santrallerinin

%12'si kombine dönüşümlü gaz santralleriydi. 1994'e kadar bu durum %37'lere kadar yükselmiş ve uzmanlar bu yükselişin devam edeceğini tahmin etmektedirler. Gaz endüstrisindeki gelişmeler nedeniyle ana boru hatlarının inşasının artacağı, bu amaçla boru hatlarına 2300 km ilave edilmesi önümüzdeki 10 yıl sonuna kadar tahmin edilmektedir. Bunlara bazı projeler dahildir. Bunlar; İran körfezinden Hindistan'a, Hindistan'dan Avusturalya'ya vb. gazın verimliliğinin yüksek olması, çevreye saygılı olması ve inşasının çok hızlı yapılması nedeniyle gelişme hızlı olmaktadır [12].

2.5. Buhar Türbinli Santraller

Termik santrallerde buhar kazanlarında yakıt ve hava karışımı uygun şartlarda yakılır. Bu esnada kazanda bulunan sudan, yüksek sıcaklıkta yüksek basınçlı buhar elde edilir. Elde edilen yüksek basınçlı buhar, buhar türbinine gönderilerek mekanik enerji elde edilir. Buhar türbinine bağlı olan alternatörde bu enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu prensiple çalışan termik santrallere buhar türbinli santraller denir.

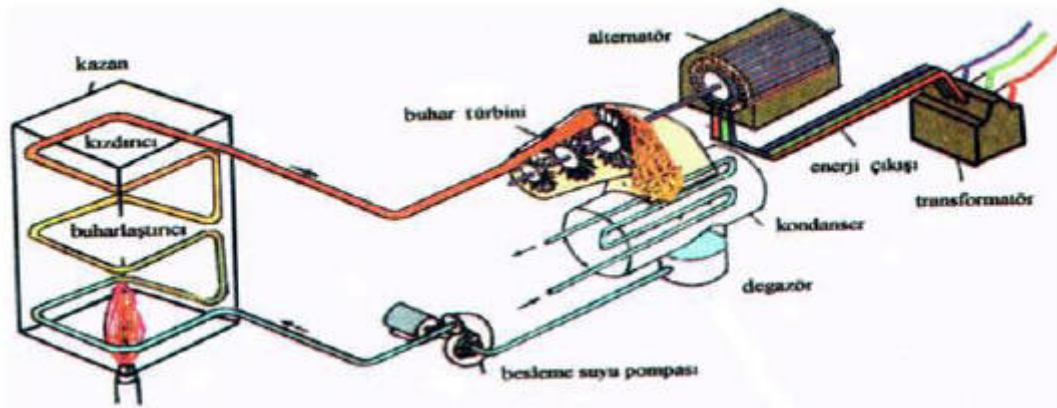


Şekil 2.2 Buhar türbinli santral kesiti[10]

Prensip olarak buhar türbinli bir termik santralin kesiti Şekil 2.2' de ve çalışması Şekil 2.3'de verilmiştir. Besleme suyu pompasından basılan su kazana gönderilir kazanda ısıtılan su ilk önce buharlaşır, sonra kızdırıcılardan geçerek kızdırılır (nemi alınır). Elde edilen kızgın buhar, buhar türbinine gönderilir. Buhar türbininin kanatlarına çarpan buhar, türbini döndürür. Buhar türbinine bağlı alternatör bu

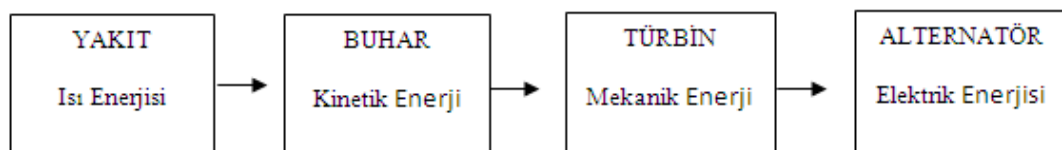
dönme şeklindeki mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Alternatör çıkışı bir yükseltici trafo ile enerji nakil hatlarına verilir. Sistemin dönüşüm şeması Şekil 2.4’de verilmiştir.

Buhar türbininde işi biten çürük buhar, kondensere gelerek tekrar su haline dönüştürülür ve besleme suyu pompası ile tekrar kazana girer. Böylece termik yolla enerji elde edilmiş olur.



Şekil 2.3 Buhar türbinli termik santralin prensip şeması ve bölümleri [10]

Buhar türbinli santraller; yıllık yağış ortalamasının düşük olduğu zamanlarda, hidroelektrik santrallere alternatif olarak, termik enerji kaynakları kullanılarak elektrik enerjisi üretimine devam ederler. Yılın her mevsiminde istenilen niteliklerde ve sürekli enerji üretebilmesi özelliğinden dolayı elektrik enerjisi üretiminde önemi büyüktür. Isı değeri düşük linyit kömürü gibi katı yakıtların değerlendirilmesine imkan sağlamakla beraber, santral bacalarından çıkan atıklar nedeniyle asit yağmuru ve sera gazı etkisi yaratmaları dolayısıyla çevreye zarar verme ihtimalleri de söz konusudur.



Şekil 2.4 Termik santral enerji dönüşüm şeması

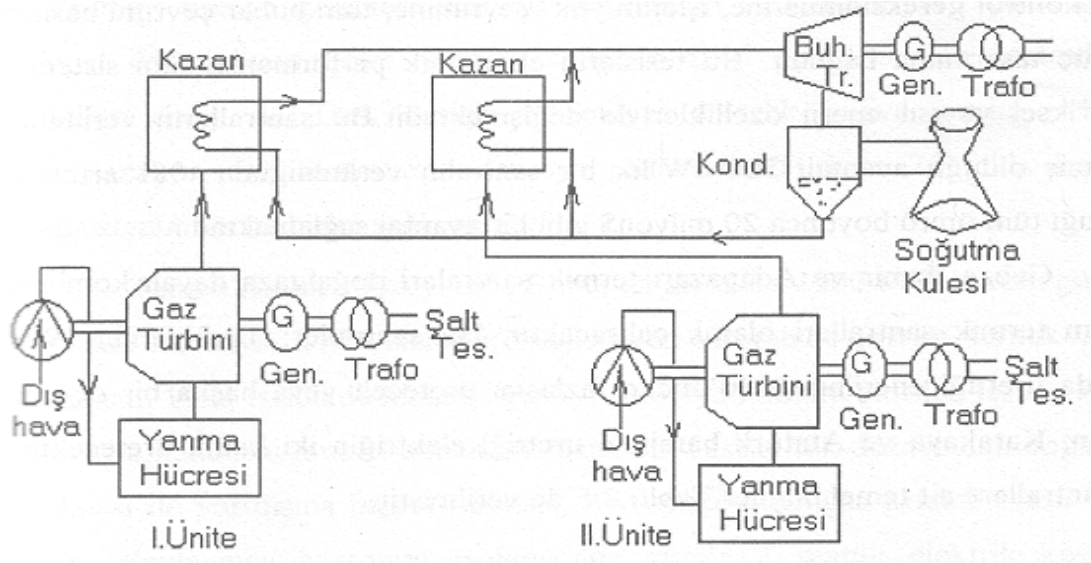
2.5.1. Buhar Türbinli Santral Bölümleri ve Görevleri

- a) Ham kömür silosu (Bunker): İşlenmemiş kömürün depolandığı yerdir.
- b) Besleyici: Öğütücü makine için, uygun miktarda kömürü otomatik olarak ayarlayan makinedir.
- c) Öğütücü (Değirmen): Kömürü çok ince toz haline getiren bölümdür.
- d) Ocak (Yakıcı): Yakıtın yakıldığı kısımdır.
- e) Kazan: Boru demetinde, sudan ayrılan buharın ve ekonomizerden gelen düşük yoğunluklu buharın toplandığı kısımdır.
- f) Kızdırıcı: Kazandan gelen, düşük ısı buharın sıcaklığını ve dolayısıyla basıncını artıran kısımdır.
- g) Ekonomizer: Kazan boru demetini terk eden, gaz halindeki yanma ürünleri yüksek sıcaklıktadır. Bunların, bacadan direkt olarak atılması fazlaca enerji (ısı) kaybına neden olur. Atılmak üzere giden sıcak gazların, bir kısmından faydalanmak için ekonomizer kullanılır. Besleme suyunu bir miktar ısıtır.
- h) Dom: Ekonomizer ve buharlaştırıcı borulardan gelen suyun toplandığı yarısı buhar, diğer yarısı su olan tanktır.
- ı) Toz tutucu (Elektro Filtre): Atılmak üzere bacaya giden, çevreye zararlı tozların tutulduğu yerdir.
- i) Emme fanı: Yanmış gazları, kazanın ısı transfer yüzeyinden, kızdırıcıdan, ekonomizer ve hava ısıtıcısından çekerek ocak basıncını atmosfer basıncının biraz altında tutan elemandır.
- j) Hava ısıtıcı: Bacaya giden, yüksek ısıdaki yanmış gazların ısını bir miktar düşüren, yanma için gerekli havayı ısıtan bununla birlikte öğütücüdeki kömürün kurutulması için kömürün olduğu bölüme yeterli miktarda sıcaklık temin eden kısımdır.
- k) Türbin: Yüksek basınçlı buharın kinetik enerjisini, mekanik enerjiye dönüştüren makine düzeneğidir. Buhar türbinlerinde, enerji doğrudan türbin miline geçtiğinden verimleri yüksektir. Türbinler yüksek devirler elde etmek için, yatay milli olarak yapılmışlardır. Enerji üretmede kullanılan buhar sıcaklığı 600°C ile 950°C arasındadır. Verimi, türbinin büyüklüğüne buhar basıncına ve sıcaklığına göre değişir.

- l) Kondenser (Yoğuşturucu): Türbinden çıkan kullanılmış buhar, kondensere gönderilir. Buharın tekrar suya dönüştürülmesi (yoğunlaştırılması) işlemi yapan kısımdır. Kondenser, içinden soğuk suların pompalandığı borulardan oluşan büyük bir odadır.
- m) Degazör: Kondenserden gelen yoğuşturulmuş buharın su haline gelerek toplandığı su tankı ve aynı zamanda kazan tasfiye sisteminden gelen saf suyun da depolandığı su tankıdır.
- n) Kondenser pompası: Kondenserde elde edilen yoğuşturulmuş buhar ortalama 20°C ile 40°C arasındadır. Yoğuşturulan buharı, tekrar ısıtıcılara pompalayan elemandır.
- o) Kazan suyu besleme pompası: Alçak ve yüksek basınç ısıtıcılarında ısıtılan suyu, ekonomizere gönderen elemandır.
- p) Alçak basınç-yüksek basınç ısıtıcıları: Besleme suyunu, türbinden aldığı buharla ısıtan kısımdır.
- r) Baca: Kazan içindeki işi biten baca gazının(yanma ürünlerinin) dışarı atıldığı kısımdır.
- s) Generatör (Alternatör): Türbin mekanik enerjisini, elektrik enerjisine dönüştüren elemandır.[10]

2.6. Kombine Çevrimli Termik Santraller

Bu santraller yakılan yakıtın gazlaştırılması ve üretilen gazın gaz türbinlerinde yakıt olarak kullanılması prensibine dayanır. Çıkışta bir buhar türbini için buhar üreten, ısıyı geri kazanan buhar jeneratörlerine sahip bir veya birkaç gaz türbinlerinden oluşan bir sistem olarak tanımlanır. Bu sistemin en önemli özelliği birincil yakıttan elektrik ve ısının birlikte elde edilmesidir. Dolayısıyla hem güç hem de ısı talebinin birlikte karşılanmasıdır. Bu sistemde kömür, petrol türevi yakıtlar, doğalgaz ve biyokütle gibi çeşitli yakıtlar kullanılmaktadır. Birleşik çevrimde tüketiciye ısı ve elektrik ayrı olarak aynı tesisten verilmektedir. Tek bir tesiste elektrik üretilirken ortaya çıkan atık ısının ek bir donanımla yeniden elektrik üretiminde kullanılması kombine çevrim olmaktadır. Santralın prensip şeması ve akış diyagramı Şekil 2.5 'de verilmiştir [12].



Şekil 2.5 Kombine çevrimli elektrik santrallerinin çalışma prensibi [12]

Şekilde görüldüğü gibi santral, alacağı doğalgazı, gaz türbinlerinde yakmak suretiyle türbin kanatlarını, basınçlı gazın hareketiyle çevirecektir. Bu mekanik enerji jeneratörü çevirerek elektrik enerjisi üretmektedir. Sıcak gazlar gaz türbinlerini geçtikten sonra egzost kanalıyla atık ısı kazanlarına gitmektedir. Kazanda bulunan soğuk su, egzost gazı sayesinde ısıtılarak suyun buharlaşmasını sağlamaktadır. Elde edilen sıcak ve basınçlı buhar, buhar türbinlerine gider ve türbin kanatlarına çarparak türbinde bir mekanik enerji oluşturur. Elde edilen mekanik enerji buhar türbinine bağlı jeneratörü çevirerek elektrik enerjisi üretilmiş olur. Sıcak gazların ve egzosttan çıkan atık gazların birlikte kullanılmasından dolayı bu tip santrallere kombine çevrim santralleri denilmektedir.

Kazanda üretilen buharın büyük bir kısmı sanayide ısı eldesi amacıyla kullanılır. Bu santrallerin verimi; tesisin rakımına, ortam sıcaklığına, bağıl nem oranına, çıkış kontrol gereksinimlerine, işletim yük çevrimine, tüm buhar çevrimi basıncı ve güç tasarımına bağlıdır. Bu tesislerin ekonomik performansı, tüm sistemin elektriksel ve ısı enerjisi özellikleriyle değişmektedir. Bu santrallerin verimi getirmiş oldukları en büyük avantajdır. Örneğin; 500 MW'lık bir santralin verimliliğinin %1 artması, çalıştığı tüm ömrü boyunca 20 milyon US\$ gibi bir avantaj sağlamaktadır [13].

Gebze, İzmir ve Adapazarı termik santralleri doğalgaza dayalı kombine çevrim termik santralleri olarak çalışmaktadır. Bu santraller; Türkiye'nin 1998 yılında ürettiği enerjinin %30'undan fazlasını üretmiş veya başka bir deyişle Keban, Karakaya ve Atatürk barajının ürettiği elektriğin iki katını üretmiştir. Bu santrallere ait temel bilgiler Tablo 2.9'da verilmiştir.

Tablo 2.9 Adapazarı, Gebze ve İzmir termik santrallerinin özellikleri [13]

Özellikleri	Adapazarı	Gebze	İzmir	Toplam
Kurulu Güç (MW)	777	1554	1523	3854
Yıllık Üretim (Milyar kWh)	6,33	12,66	12,41	31,4
Sözleşme Yürürlük Tarihi	Ekim 1998	Ekim 1998	Ekim 1998	
Ticari İşletme Sözleşme	Ekim 2002	Ekim 2002	Ekim 2002	
Satış Fiyatı Cent/kWh	4,2	4,2	4,2	

Bu santraller yılda 6 milyar m³ doğalgaz kullanmakta ve temiz elektrik üretmektedir. Bu santrallerin yapımında toplam 5 bin işçi çalışmıştır. Bu santraller devlete ve bütçeye bir yük getirmeyen, gerçek bir özelleştirme modeliyle yapılmıştır. İhtiyaç duyulan elektrik enerjisi, daha ucuz ve kaliteli şekilde elde edilmekle kalmamış, aynı zamanda enerji alanındaki en ileri teknoloji ülkeye getirilmiştir. Bu santrallerin anlaşmalarıyla Türkiye'ye 2 milyar 650 milyon dolar sermaye girişi olmaktadır. Bu santrallerden üretilen enerji ile Türk sanayi 60 milyar dolarlık ilave üretim imkanına kavuşmuştur. Bu santrallerin devreye girmesiyle Türkiye 75 yılda kurduğu kapasitenin dörtte birini elde etmiştir.

Temel Aralık 1996 yılında Bursa'da atılan ve 1400 MW kurulu gücünde yılda 11 milyar kWh elektrik enerjisi üreten kombine çevrim termik santral, kasım 1998 tarihinde hizmete girdi. 512 milyon dolara bitirilen tesisin 15 Ocak 2002'de kendisini amorti etmesi planlanmıştır. Tesisin tek dezavantajı doğalgaza dolayısıyla yurtdışına bağımlı olması. 2002 yılında doğalgaz krizinde tesis yeterli olamayınca Marmara Bölgesi'nde günde 2 saatlik elektrik kesintileri oluşmuştu. Türkiye'nin enerji ihtiyacının %10'unu bu tesis karşılamaktadır. Yetkililer tesisin çevreye herhangi bir zararı olmadığı noktasında hemfikirdirler. Tesis dikilen 40 bin ağacın sadece yüzde 4'ünün fire verdiğini belirtilmektedir.

Bu santralin üretmiş olduğu elektrik enerjisi, Atatürk barajının bir yılda ürettiği elektrik enerjisinden daha fazla olmuştur. Doğalgaz santralleri tümüyle kombine çevrim santrali olarak kurulmaktadır. Son 15-20 yıllık zamanda süper alaşımlarla üretilen gaz türbinlerinin çıkış güçlerinin artırılması ve veriminin yükseltilmesi burada etkili olmuştur [13].

Ülkemizde işletmede olan kombine çevrim santralleri Ambarlı doğalgaz 1350 MW, Aliğa dizel (180 MW), Gebze Dilovası doğalgaz (253,4 MW) dır. Bunların yanında Trakya Hamitabad kombine çevrimli termik santraline ilişkin veriler aşağıda verilmiştir.

Birinci Kısım;

4 x 100 MW	4 adet gaz türbinli santral
2 x 100 MW	2 adet buhar türbinli santral

İkinci kısım;

4 x 100 MW	4 adet gaz türbinli santral
2 x 100 MW	2 adet buhar türbinli santral

Toplam 12 adet ünite var ve her ünitenin gücü 100 MW

Toplam santral gücü $12 \times 100 \text{ MW} = 1200 \text{ MW}$

Verim ; Gaz türbinli de %30, buhar türbinli de %15 olmak üzere toplam %45'dir.

Doğa Holding A.Ş. ile ABD kökenli Mission Energy firmasının ortaklaşa yaptıkları İstanbul Esenyurt' da 180 MW kurulu gücündeki Esenyurt Doğalgaz kombine Çevrim Termik ve Kojenerasyon santrali 22 Mayıs 1999 tarihinde ticari işletmeye geçmiştir. Santralin ürettiği elektrik enerjisi ulusal şebekeye tesisi sahası üzerinden geçen 154 KV'luk yüksek gerilim hatlarına bağlanılarak aktarılmıştır. Türkiye'de ilk örneği teşkil etmiş olan 180 MW'lık elektrik ve ısı birleşik çevrimli doğalgaz yakıtlı termik santral, elektrik enerjisi üretimi yanında atık gazlardan yararlanarak 100 MW ısı üretmiştir. Bu da 40 bin konutluk Esenyurt'ta ilk aşamada 14 bin konutun tüm ısı ve sıcak su ihtiyacını karşılamaktadır. Bu santrale ait bazı teknik özellikler Tablo 2.10'da verilmiştir [13].

Tablo 2.10 Esenyurt kombine çevrimli doğalgaz termik santralinin teknik özellikleri [13]

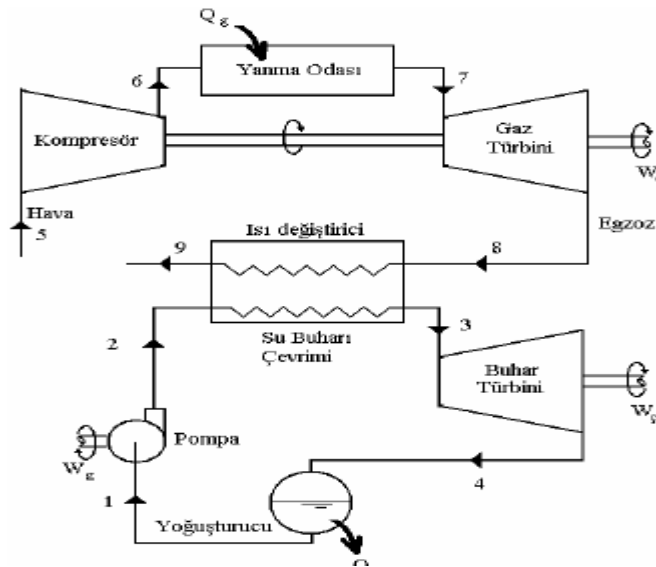
Tesis tipi	Elektrik-Isı Birleşik Çev. D. Gaz Termik Santrali
Tesis yeri	İstanbul, Büyükçekmece İlçesi, Esenyurt Belediyesi
Tesis Alanı	30.000 m ²
Ana Yakıt	BOTAŞ'dan alınacak Doğal Gaz
Yedek Yakıt	Tüpraş 400 Motorin (20.000 m ² yedek tank)
Üretim Kapasitesi	100 MWth (110/700C, 2150 m ² /h sıcak su) Ayrıca 20 MW yedek kazan.
Tesis Konfigürasyonu	2 adet 125 MW Gaz Türbini 1 adet 140 MW Buhar Türbini 2 adet Atık Isı Kazanı
Ana Soğutma Sistemi	Hava Soğutmalı Yoğuşturucu
Net Elektrik Verimi	% 50,1 (saha koşullarında)
Yakıt Kullanım Verimi	% 63,17

Santralin 1 milyar 300 milyon kWh'lık yıllık enerji üretiminin tamamı TEDAŞ'a (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.) satılmaktadır. Kombine çevrimin yanında, tüketiciye sadece elektrik ve istenirse ısı verilmesine olanak sağlayan sistemler kojenerasyon sistemleridir [13].

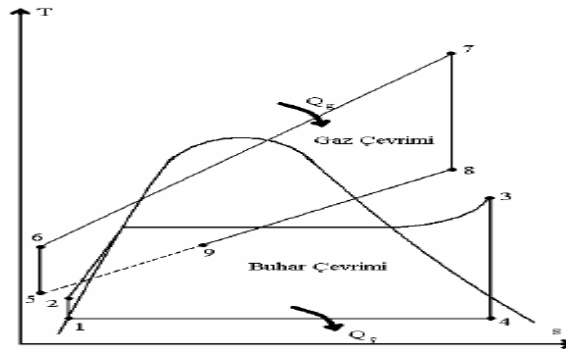
Kombine güç çevrimleri, gaz ve buhar türbinlerinin birlikte kullanıldığı çevrimlerdir. Kombine çevrim fikri basit Brayton çevriminin verimini, yüksek sıcaklıklarda çalışmasının sağladığı kazançlardan yararlanmak ve egzost gazlarıyla atılan ısı enerjisini geri kazanarak bu enerjiyi buharlı güç çevrimi gibi bir alt çevrimde ısı kaynağı olarak değerlendirmek fikrinden hareketle ortaya çıkmıştır. Kombine güç çevrimleri geçen yüzyılın başından beri tasarlanan sistemler olmasına rağmen ilk kombine çevrim santrali 1950'de kurulmuş olup, daha sonra hızla artan uygulamaları ile günden güne gelişim göstermektedir. Şekil 2.6'da kombine çevrimlerin şematik gösterimi ve Şekil 2.7'de T-s (Sıcaklık-entropi değişimi) diyagramları görülmektedir. Bu çevrimde egzost gazlarının enerjisinden, bir ısı değiştiricisi yardımıyla, alt çevrimde buhar üretiminde faydalanılır. Alt çevrimde ara ısıtma ve ara buhar alma işlemleri de yapılabilir [14].

Sistemin çalışması ise kısaca şöyle özetlenebilir:

Gaz türbininden çıkan atık egzost gazları, yüksek sıcaklıkta olduğundan atık ısı kazanında sıcak su buharını ısıtmakta ve bu kızgın buhar yüksek basınç buhar türbinine gönderilerek enerjisini bırakmaktadır. Bir kısım enerjisini yüksek basınç buhar türbinine gidecek su buharına bırakan egzost gazları, kondenserdan pompalanan sıcak suya ekonomizörde ön ısıtmadan sonra enerjisini bırakarak atmosfere atılmaktadır. Yüksek basınç buhar türbininden çıkan kızgın su buharı buradan orta basınç buhar türbinine gelerek bir kısım enerjisini bırakıp, alçak basınç buhar türbinine kızgın buhara bir miktar daha kızgın buhar eklenerek girmektedir. Buradan çıkan buhar kondansere yoğunlaşmaya gelmektedir [15].



Şekil 2.6 Kombine çevrimin şematik gösterimi



Şekil 2.7 Kombine çevrim için T-s diyagramı

Yakıt olarak doğalgaz kullanılan gaz türbinlerinden elde edilen elektrik enerjisinin yanı sıra türbin egzostundan yüksek sıcaklığa sahip egzost gazlarının atık ısısının kazana verilmesiyle elde edilen buhar ile buhar türbinlerinden de ek elektrik üretimi sağlanmaktadır. Bu santrallerde gaz türbinli çevrimlerin üst sıcaklığının yüksek olması ve buhar türbinli çevrimlerin alt sıcaklıklarının düşük olması avantajları birleştirilerek kombine çevrim verimi %60 civarında gerçekleştirilebilmektedir. Doğalgaz yakıtlı kombine çevrim termik santralleri diğer fosil kaynaklı yakıt kullanan termik, nükleer ve hidroelektrik santrallerine göre daha düşük kurulum maliyeti ile daha kısa sürede işletmeye alınabilmektedirler [16].

2.6.1. Bir kombine çevrimin termodinamik analizi

Güç tesisi değişik cihazlardan oluşmakta ve bu cihazlarda sıcaklık, basınç, kimyasal kompozisyon değişimi olmaktadır. Ayrıca yanma odasında kimyasal bir reaksiyon gerçekleşmektedir. Açık sistem ve kararlı rejim durumu için termodinamiğin 1. kanunu bu sistem için aşağıdaki gibi yazılabilir [20].

$$E_g = E_{\dot{c}}$$

$$h_2 - h_1 = \int T_{Cp}dT$$

$$Q - W = \Delta H$$

$$\Delta H = \sum_i n_{\dot{c}}h_{\dot{c}} - \sum_i n_{\dot{g}}h_{\dot{g}}$$

$$\sum m_{\dot{g}} = \sum m_{\dot{c}}$$

Entalpiler, oluşum entalpileri de dahil edilerek özgül ısılarda sıcaklıkla değişimi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$h = \Delta h_{\text{olus}} + \int_{T_0}^T C_p \cdot dT \quad [18]$$

2.6.2. Kombine çevrimli santrallerin tasarımında gözönüne alınan başlıca esaslar

Şehirlerin elektrik enerjisi ihtiyaçlarını temin eden santrallerin çok büyük boyutlarda yapılması gerektiğinden ve buhar türbinlerinin güç sınırlarının sıradan termik makinelerle kıyaslanamayacak kadar büyük olmasından dolayı, büyük termik santraller buhar santrali olarak yapılırlar.

Avrupa ve Amerika'da inşa olunan yeni büyük buhar santralleri arasında önemli farklar göze çarpmaz. Amerika'da bir santralde şimdiye kadar erişilen maksimum toplam güç 1,4 milyon kW'dır. Bu büyük üniteler genelde blok olarak tasarlanmış ve kurulmuştur. Kazan, türbin ve jeneratörler için büyük ünite güçlerinden başka verimin artmasında etkili olan unsurlar;

- a) Yüksek basınç ve sıcaklıklar,
- b) Birkaç kademeli ara kızdırma,
- c) Besleme suyunun büyük miktarda ısıtılması olarak yazılabilir.

Asgari hava boşluğundan istifade gibi hususlarda da Amerika'da, Avrupa'dan daha büyük ölçüde ilerleme kaydedilmiştir.

Amerika'da 170 atü'ye kadar doğal sirkülasyonlu, dik borulu; daha yüksek basınçlar için ise zorlamalı (cebri) sirkülasyonlu kazanlar kullanılır. Çünkü bu halde doğal sirkülasyon meydana gelemez. Mümkün olduğunca iyi kazan verimine erişmek için baca gazları sıcaklığı 93 °C'ye indirilir. Kritik basınçların aşılması ve dolayısıyla ferritik çelikler için kritik sıcaklık olan 565 °C'in aşılması sebebiyle Amerika'da büyük kazan inşaatında ostenitik çelikler kullanılır [19].

Avrupa'da halen işletmeye alınmış olan en büyük ünite 150 MW'dır. 200 MW'lık ünite inşa halindedir. İngiltere'de her biri 200 MW'lık beş üniteden oluşan 1000 MW kurulu gücünde bir santralin inşası planlanmıştır.

Avrupa santrallerinin kullanma faktörleri Amerika'dakilerden düşük olduğundan, halen Avrupa'da 530 °C'ı aşarak ferritik çelikler kullanmama yolunda herhangi bir sınırlama mevcut değildir. Bununla beraber Avrupa'da kullanma faktörleri yüksek olan bazı özel endüstri santrallerinde 600 °C'ın üzerinde buhar sıcaklığı kullanılmıştır [19].

2.6.2.1. Termik verim

Geçtiğimiz yüzyıl başlangıcında 1 kWh'lık enerji üretimi için 10000 kcal'lık ısı sarfedilmekteydi. Termik santrallerin termik randımanı da sadece % 36 idi. Halen bu değer % 40'a yaklaşmaktadır. 1950'li yıllarda santrallerin maksimum verimleri genellikle % 35,5 civarında idi. Şu halde o zamandan beri % 19 nisbetinde bir yükselme mevcuttur. Böylece bir buhar çevriminin verim artışı, yani çok yüksek basınç ve debide taze buhar üretimi, ara kızdırmalar ve besleme suyunun geniş ölçüde ön ısıtılmasıyla sağlanmıştır. Kazan ve jeneratör verimlerinin yükseltilmesi genel verimin artmasına çok az etki etmiştir [19].

Giriş basıncının ve sıcaklıklarının yükseltilerek verimin artırılması;

Büyük güçlü ünitelerde giriş buharlarının 80 atü ve 500 °C olan şartlarını 140 atü ve 600 °C'ye değiştirmekle ısı ihtiyacı 2700 kcal/kWh'dan 2500 kcal/kWh'a indirilebilir (ara kızdırıcı kullanılmaksızın). Bu esnada alçak basınç türbininin çıkışında, çıkıştaki rutubet derecesinin % 14'ün altında olması sağlanır. Yüksek basınçların kullanılabilmesi için buhar miktarının büyük olması gerekir [19].

Ara kızdırma ile verimin artırılması;

Çıkıştaki nem oranı ile belirlenen basınç ve sıcaklık arasındaki ilişki ara kızdırma uygulaması ile değiştirilebilir. Çıkıştaki nem oranı % 14 civarında tutulsa bile su damlacıklarının azaltıcı yöndeki etkileri tamamen yok edilmiş olamaz. Bu nem oranı 50 MW'lık bir ünite, 15 °C soğutma suyuyla denk gelen vakum derecesinde, 100 atü 550 °C veya 140 atü 600 °C'lik buharın genişlemesine denk gelir. Termik verimler (kazan verimi dahil) % 33 ve % 34'e yükselir. Sıcaklığı yükseltmeden

basıncın arttırılması çıkış neminin uygun olmayan bir değere yükselmesine sebep olur. Bu değeri % 14'ün altında tutabilmek için devreye basit veya çift olarak yapılmış ara kızdırıcı eklenir.

Ara Kızdırıcının iki çeşit etkisi vardır:

- a) Entalpi düşümünün iki veya daha fazla bölümlere bölünmesiyle, hafif bir düşüş yükselmesi ve entalpi farklarındaki artış dolayısıyla güç yükselmesi elde edilir.
- b) Çıkış neminin maksimum değer altına indirilmesiyle türbinde genişlemenin termodinamik verimi iyileşir. Buna karşılık ara kızdırma için verilen enerji elde edilir. Toplam kazanç, ara kızdırıcının doğru seçimine bağlı olarak % 2 ile % 4 arasında değişir. Pratik olarak izoterm bir genişleme sağlanır. Birçok ara kızdırmalarla verim yükseltilebilir [19].

Besleme suyunun ısıtılmasıyla verimin yükseltilmesi;

Türbinden alınan ara buharla besleme suyunun ısıtılmasıyla, buhar türbinin Rankine çevrimi, Carnot prensibine yaklaşır. Bu yöntemin uygulaması ara kızdırmaya nazaran daha kolay olduğundan bugün hemen hemen her santralde kullanılır. Ön ısıtılmış besleme suyunun sıcaklığının kazan suyunun kaynama sıcaklığına oranı 0,6 ila 0,7'ye yükselir. Kademelerin sayısının arttırılmasıyla toplam verim yükselir fakat kademe başına verim düşer. Rantabileden dolayı 7 ile 9'dan fazla kademe yapılmaz. Bu sebeple kondansasyon suyunun miktarı taze buhar miktarının % 75'ine iner. Böylece türbinin alçak tarafının imali kolaylaşır. Tam yükte ara buhar alınmadan herhangi bir çalışma yapılmayacağından bu emniyetlidir [19].

Kritik üstü santrallerin verimi;

Ara kızdırma sayısı iki olarak belirlenirse, 600 °C'in üstündeki giriş sıcaklıkları için en uygun giriş basınçları kritik üstü basınçlardır. Amerika'da halen kritik üst basınçlarda çalışan veya inşa halinde olan üç santral mevcuttur. Bu santrallerin karakteristikleri Tablo 2.11'de verilmiştir.

Tablo 2.11 Amerika’da bulunan 3 adet santralin bazı özellikleri [19]

GÜÇ (MW)	GİRİŞ BASINCI (atü)	GİRİŞ SICAKLIĞI °C
325	351	648
125	316	621
250	246	594

325 MW’ lık santral için termik sarfiyat kWh başına 2140 kcal’ dir.

Bu da % 40 termik verime denk gelir. Şu halde bugün su buharı çevrimi büyük güçlerde sınırlanan limite erişmiştir. Termik verimin önümüzdeki yıllarda daha da arttırılabilmesi ilk planda ısıya karşı çok mukavemetli çeliklerin yapılması ile mümkündür, özgül ısı sarfiyatının hissedilir derecede azaltılması ancak giriş sıcaklığını yükseltmekle mümkündür. Bununla beraber bu amaca erişmek için başka bir yol daha gösterebiliriz. Bu çevrimin yukarı kademede toplam karnotizasyonda gerçekleştirilmesiyle, yani türbinde çok izotermik olan genişlemenin arttırılmasıyla elde olunabilir. Diğer taraftan halen yapılmakta olan alt kademedeki besleme suyunu ısıtmak için ara buhar alınması yönteminin geniş ölçüde kullanılmasıyla da aynı amaca erişilebilir [19].

2.7. Örnek Bir Enerji Santrali Tanıtımı ve İncelenmesi

Bursa Ovaakça bölgesinde bulunan ISO koşullarında yaklaşık 1400 MW gücündeki doğalgaz kombine çevrim santralinin, termodinamiğin birinci ve ikinci yasa analizleri gerçekleştirilmiştir. Santralde her biri 700 MW gücünde iki kombine çevrim bloku, her blokta iki adet gaz türbin ve jeneratör ünitesi ile bir adet buhar türbin ve jeneratör ünitesi bulunmaktadır. Kondenserde soğutma suyu kapalı çevrimde kuru tip doğal çekişli hiperbolik soğutma kuleleri vasıtasıyla soğutulmaktadır. Ayrıca santralde gaz türbinlerine bağlı dört adet buhar üreten ilave yanmasız (HRSG: Heat recovery steam generator) ısı geri kazanım buhar üretim ünitesi ile diğer yardımcı tesisler bulunmaktadır. Santral aşağıda belirtilen ünite ve sistemlerden oluşmaktadır.

a) Gaz türbin - jeneratör üniteleri

- b) Buhar kazanı
- c) Buhar türbin - jeneratör üniteleri
- d) Soğutma suyu ve buhar yoğunlaştırma sistemi
- e) Su arıtma (demineralizasyon) sistemi
- f) Şalt ve elektrik sistemleri
- g) Kontrol ve kumanda sistemleri [20].

Bursa Ovaakça bölgesinde bulunan bu doğalgaz kombine çevrim santralının termodinamik analizi sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Yük artışıyla santralin bütününde enerji akış miktarları da artmaktadır. Gaz türbini ve buhar türbininde yükün artış oranı ile tersinmezlik ve iş akışları orantılı değişmektedir. Santralin tam yükte çalıştırılması durumunda birinci ve ikinci yasa verimleri maksimum verilen çevre koşullarında maksimum değerlerini almakta ve özgül yakıt sarfiyatı da minimum değerini almaktadır. Çevre sıcaklığının artmasıyla gaz türbini çevrimine giren havanın kütleli debisindeki azalmaya bağlı olarak sistemi oluşturan her bir ünitenin giriş ve çıkış noktalarında enerji ve ekserji akış miktarları azalmaktadır. Buna bağlı olarak santral elemanlarının tümünde faydalı güç ve tersinmezlikler de azalmaktadır. Çevre sıcaklığının artması santralden elde edilen net gücün düşmesine neden olmaktadır. Bir blokta en yüksek tersinmezlik buhar kazanında meydana gelmekte ve bunu sırasıyla buhar türbini, gaz türbini çevrimi ve kondenser takip etmektedir. Ele alınan durumlarda birinci ve ikinci yasa verimleri orantılıdır. Sistemin bütününe ısı verimi ve ikinci yasa verimi atmosfer sıcaklığının artmasıyla azalmaktadır. Sonuç olarak çevre koşullarının santral performansına önemli etkisi bulunmaktadır, bu nedenle olan performans düşümüne karşı gerekli tedbirler alınarak ve yeni teknolojiler geliştirilerek kombine çevrim santralleri iyileştirilebilir [20].

Gaz türbinleri ya gaz ya da sıvı yakıtlarla çalıştırılabilir. Doğalgaz, tarihsel olarak düşük ve göreceli olarak sabit ücretler, teslim edilebilirliği ve düşük hava emisyonları yüzünden alternatif bir yakıttır. Distile edilmiş yakıt, yedek yakıt olarak kullanılabilir fakat, bu amaç için kullanımı; kükürt oksitlerin ek emisyonları, nitrojen oksitlerin ve karbon monoksitlerin kontrolü için katalizörlerdeki zararlı etkiler, sıvı yakıttaki düzenli işlemi temin etmek için gereken periyodik test ve sıvı

yakıt işlemine bağlı artan türbin bakımı yüzünden son yıllarda daha az rastlanılır olmuştur. Dayanıklı gaz taşımacılığını güvence altına almakla yakıt kullanılabilirliğini garantilemek şimdiki zamanda daha sık rastlanılandır. Gaz yakıtlı kombine çevrim gaz türbinlerine bağlı en önemli çevresel sorunlar nitrojen oksitlerin (NOx) ve karbon monoksitin emisyonlarıdır. Sıvı yakıt işlemi, kükürt dioksit üretebilir. Nitrojen oksit azalması kuru alçak NOx yanma odalarının kullanımı ve HRSG içerisindeki seçmeli katalitik azaltma sistemi tarafından tamamlanır. CO emisyonları genellikle HRSG içerisindeki bir oksidasyon katalizörünün kullanımı ile kontrol edilir. Gaz yakıtlı kombine çevrim santralleri göreceli yüksek termal verim teknolojisi ve metanın (doğalgazın esas bileşeni) yüksek hidrojen / karbon oranı yüzünden diğer fosil yakıt teknolojilerden daha az enerji verimi başına karbondioksit üretir [21].

Yüksek termal verim, düşük başlangıç gideri, yüksek güvenilirlik, göreceli düşük gaz ücretleri ve düşük hava emisyonları yüzünden kombine çevrim gaz türbinleri yaklaşık 10 yıldır enerji üretiminin büyük bir kısmı için seçimin yeni kaynağıdır. Diğer etkili özellikler önemli işletimsel esneklik, en üst dönem faaliyeti ve göreceli düşük karbon dioksit üretimi için göreceli pahalı olmayan enerji artışı uygunluğu içerir [22].

Kombine çevrim elektrik santralleri artan bir şekilde şimdilerde yapı altında yaklaşık % 87 üretim kapasitesi içeren kuzeybatı enerji sisteminin önemli bir elementidir. Yapı altı santrallerin tamamlanması gaz yakıtlı kombine çevrim kapasitesinin küçük bir parçasını toplam bölgesel üretim kapasitesini % 6'dan yaklaşık % 11'e yükseltir. Doğalgaz ana hatta yakınlık ve yüksek gerilim yeni kombine çevrim santrallerinin konumlandırmasını etkileyen temel faktörlerdir. İkincil faktörler su kullanılabilirliğini, çevre hava kalitesi ve seviyesini içerir. Elektrik santrali kondenser soğuması için su tüketimi batıdaki artan önemin sonucu olarak ortaya çıkar. Bu yazıdan itibaren, Kuzey Idaho'daki iki önerilen kombine-çevrim projeleri için su izinleri son zamanlarda reddedildi, önerilen bir merkezi Oregon projesinin su gereksinimi çok tartışmalıdır. Santral su tüketimindeki önemli azalmaya kapalı çevrim (kuru) soğuma kullanımı ile ulaşılabilir [23].

2.8. Bir Enerji Santralini Oluşturan Elemanlar

Enerji santralleri aşağıdaki temel elemanlardan oluşmaktadırlar.

- a) Eşanjör (Isı değiştiricisi)
- b) Evaporatör
- c) Soğutma kulesi
- d) Kondenser (yoğuşturucu)
- e) Buhar ve gaz türbinleri
- f) Alternatör

2.8.1. Eşanjör (Isı Değiştiricisi)

Herhangi bir fiziksel temas olmaksızın aralarında sıcaklık farkı olan sıvı veya gaz iki akışkanın (birbirine karışmaksızın) birinden diğerine ısı transferini sağlayan devre elemanıdır.

Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere aslında kondenser de evaporatör de birer ısı değiştiricisi yani eşanjör olup belli bir görev için (yoğuştırma ve buharlaştırma) özelleşmiş şeklidir.

2.8.1.1. Eşanjör türleri

Eşanjörlerin çok çeşidi olmakla birlikte günümüzde uygulamada kullanılan halleriyle temel olarak 2 çeşide ayrılmaktadırlar.

- a) Borulu eşanjörler
- b) Plakalı eşanjörler

Borulu tip eşanjörler özellikle önemli uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Her iki tip eşanjöründe, kısaca özelliklerine bakacak olursak;

Borulu eşanjörler;

- a) Eski teknolojiye aittirler,
- b) Verimsiz ve pahalıdırlar,
- c) Çabuk kirlenir, zor temizlenirler.

Plakalı eşanjörler;

- a) Yeni teknoloji ürünüdürler,
- b) Az yer kaplarlar,
- c) Verimli ve ekonomiktirler,
- d) Zor kirlenir, kolay temizlenirler.

Bu bağlamda sistemde kullanılacak olan plakalı eşanjörleri tanımlamak uygun olacaktır. Plakalı ısı değıştircilerinde iki akışkan ince oluklu bir plaka ile ayrılmıştır. Kural olarak; plaka inceldikçe ısı transferi daha verimli ve dengeli, proses kontrolü de daha iyi olur. Ancak, türbülanslı bir akış ve tüm plaka yüzeyinde dengeli bir dağılım elde edilmesi de aynı derecede önemlidir. Genel olarak bu tip eşanjörlerde dengeli dağılım sorunu verimli bir dağılım deseniyle çözülür. Türbülanslı akış, plakaların balık sırtı yapısıyla sağlanmıştır. Bu tip eşanjörler geniş bir tasarım ve boyut yelpazesi ile sunulmaktadır. Farklı uygulamalara uygun olacak şekilde farklı desen, malzeme ve kanal derinliği kullanılabilir. Standart plaka paslanmaz çelikten presli olup, diğer preslenebilir malzemelerden (örneğin titanyum) de üretilebilir. Modüler tasarım, plakalı ısı değıştircisinin farklı uygulamalara kolayca uyarlanabilmesini sağlar.

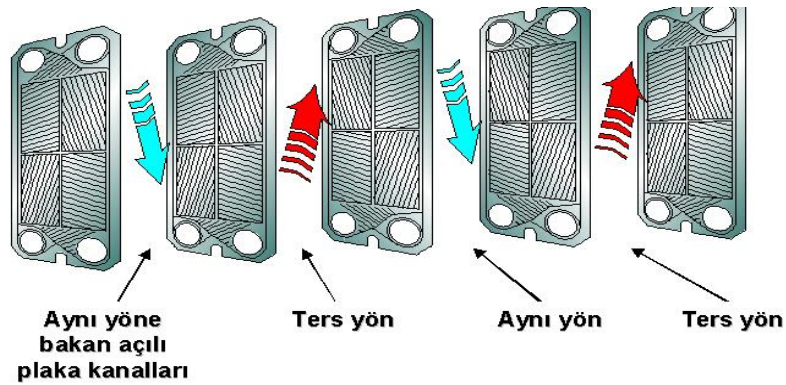
Plakalar bitmiş plakalı ısı değıştirciler halinde monte edilirken, plakadaki temas noktaları esnek, fakat mekanik olarak büyük baskılara karşı koyabilecek kararlılıkta yapılar oluşturmak üzere kullanılırlar.

Plakalı ısı değıştircilerinde dalgalı plakalar çevreleri boyunca contaya sahiptirler. Ayrıca dört girişten ikisinin çevresinde de contalar vardır. Bu da bir ısıtma yüzeyine iki akışkandan yalnızca birinin temas etmesi demektir. Sonraki plaka diğer iki giriş çevresinde contaya sahiptir. Böylece iki sıvının ardışık plakalardan birbirine

karışmadan geçtiği bir kanal sistemi oluşur. İki akışkan arasında sızıntı girişlerin çevresindeki çifte contalar nedeniyle mümkün değildir. Basınç düşümü ve ısı transferi plaka modelindeki ok açısı gibi etkenlere bağlıdır. Geniş bir ok açısı, yüksek direnç ve geniş termal akım gücünü gösterir. Dar bir ok açısı ise küçük bir basınç düşümüne karşılık küçük bir termal akım gücünü gösterir [17].



Şekil 2.8 Plakalı eşanjör kesitleri [17]



Şekil 2.9 Bir akışkanın plakalı eşanjörde akışı [17]

2.8.2. Evaporatör

Evaporatörler (Buharlaştırıcılar-soğutucular), soğutucu akışkanın buharlaşarak, soğutulmak istenen ortamdan ısının çekilmesini sağlayan elemanlardır. Soğutma uygulamalarında, soğutucu akışkanın cinsine, çalışma şartlarına, soğutulmak istenen sıvı veya havanın sirkülasyon yöntemine, soğutucu akışkan kontrol tipine ve uygulama yerine göre değişen çok farklı konstrüksiyon ve boyutlarda dizayn edilmiş buharlaştırıcı tipleri bulunmaktadır [24].

Buharlı bir tesiste çalışma esnasında meydana gelen çeşitli kayıplar dolayısıyla, devrede iş görmekte olan besleme suyu miktarının devamlı olarak azaldığı açıktır. Tesisatın tipine ve çalışma şartlarına göre değişen bu kayıp miktarının, devreye ilave edilmesi gerekir [25].

Alev borulu kazanları içeren eski tesislerde, ilave su olarak, normal tatlı su kullanılırdı. Fakat bu suyun modern tesislerde kullanılmasına imkan yoktur. Aksi takdirde, tesisatın belli kısımlarında meydana gelen kayıplar, işletmede gerek ekonominin, gerekse emniyetin azalmasına neden olurlar. Bu sebepten dolayı ilave edilecek su miktarının, besleme devresine verilmesinden evvel, içinde bulunan çeşitli tuzlardan ve diğer yabancı maddelerden temizlenmiş olması gerekir [25].

Temizlenmek amacıyla dışarıdan alınan su, kaba su adını taşır. Bu su, tatlı su veya deniz suyu olabilir. Temizleme işlemi sonunda ise determine (distile) su elde edilmiş olur. Kaba suyun hazırlanması termik veya kimyasal yollarla yapılır.

Bunlardan ilki yüksek debide distile edilmiş su temin etmektedir; fakat işletme masrafları yüksektir. Bu yöntem özellikle gemi tesislerinde kullanılmaktadır. Suyun içinde bulunan çeşitli tuzların çöktürülerek devre dışı edilmesi veya bunların, kazan tuzu teşkil etmeyen zararsız maddeler haline dönüştürülmesi prensibine dayanan kimyasal yöntemler, çok daha ucuza mal olmaktadır [25].

Evaporatörlerin çalışması için normal olarak 1,5 atü'lük nadiren de 3 atü'lük, ara veya karşı basınç buharı kullanılır. Bunun için 8 ile 16 atü'lük basınca sahip taze buharın kullanıldığı da görülmüştür. Bu takdirde ısı sarfiyatı normal olarak artmakta fakat buna denk ısıtma buharının basıncı, bununla ilgili olarak da sıcaklığı sabit kaldığından, cihaz sabit rejimle çalışmış olmaktadır. Bu tipteki tesisler normal olarak alçak basınçlı evaporatörler adını taşır.

Bir evaporatörde meydana gelen buğu (yoğuşan su miktarı) miktarını:

$$\dot{m} = \frac{Q c_p (t_1 - t_2)}{r} [\text{kg/h}]$$

denklemlerle bulmak mümkündür. Burada Q , saatte kullanılan soğutma suyu miktarını; t_1 kaba suyun evaporatör içindeki sıcaklığını; t_2 , evaporatörde bulunan buhar sıcaklığını; c , soğutma suyunun özgül ısısını; r de evaporatör basıncındaki buharlaşma ısısını ifade etmektedir.

Alçak basınçlarda veya vakumla çalışılması halinde; r 'nin değeri 620 kcal/kg; c 'nin değeri de 1 alınabileceğinden, yukarıda verilmiş olan denklemi:

$$\dot{m} = \frac{Q(t_1 - t_2)}{620} \text{ [kg/h]} \text{ şeklinde yazmak mümkündür.}$$

Ayrıca, kazan basıncına maruz taze buhar ile çalışan evaporatörler de mevcuttur. Bunlar da, yüksek basınçlı evaporatörler adını alır. Bu cihazlar, içlerinde mevcut yüksek basınç sebebiyle alçak basınçla çalışanlara nazaran daha küçük çaplı olarak yapılırlar; ayrıca cidar kalınlıkları da daha fazladır. Yüksek basınçla çalışan evaporatörlerde kazan taşı çok kolaylıkla meydana gelir; ışınım ve salamura kayıpları da bir hayli yüksektir. Kullanılacak taze buharın basıncı çok yüksek olduğu takdirde, araya bir redüksiyon valfi koymak suretiyle değeri düşürülebilir. Aynı şekilde, buharın kızgın durumda olması halinde de araya bir tertibat ilavesiyle, doymuş vaziyete getirilmesi gerekir. Her iki halde de evaporatör tesisinin verimi düşmüş olur [25].

Belirtilen bu sakıncalara rağmen, yüksek basınçlı evaporatörler besleme suyu duman gazlarıyla ısıtılmayan, yani egzostu bulunmayan, ısı kuvvet tesislerinde uygundur. Çünkü bu tip tesislerde, mevcut taze buhar sıcaklığı ya da ara buhar ile ısıtılan besleme suyu arasında büyük bir sıcaklık farkı mevcut olur. Normal olarak 5'den fazla kademeyi sahip bulunan bu tip evaporatörlerde, kaba suyu tesise gelmeden mümkün olduğu kadar fazla ısıtmak gerekir. Elde edilen mekanik enerjinin veya elektrik enerjisinin yanında; işletmenin çeşitli işleri için bol miktarda buhara ihtiyaç gösteren ısı kuvvet tesislerinde yüksek basınçlı evaporatörlerde elde edilen buharı yoğuştırmaya göndermeden önce ısıtma, kurutma veya pişirme gibi çeşitli işlemlerde kullanmak da mümkündür [25].

Kaba suyun ısıtılması neticesinde, buğu olarak adlandırılan, alçak basınçlı bir buhar elde edilmiş olur. Bu suretle elde edilen buğu, normal olarak hususi bir buğu (alçak basınçlı bir buhar) kondenserine gönderilerek yoğuşturulur. Bu durumda, soğutma suyu olarak genellikle kazan besleme suyu veya kaba su kullanıldığından, buğunun haiz olduğu buharlaşma ısı, bu suyun buharlaşmasına yaramış olur. Kapasitesi küçük tesislerde, evaporatörde elde edilen buğunun yardımcı kondensere; bu mevcut olmadığı takdirde ana kondensere gönderildiği durumlar da mevcuttur [25].

Elde edilen buğu miktarı çok büyük olmadığı takdirde, evaporatör cihazı dikey tipte yapılır. Bu suretle, borular içinde meydana gelen loşu (evaporatörü tıkayıcı tabaka) tabakasının zamanla aşağıya düşmesi mümkün olmuş olur. Cihazın cidarlarında toplanan kısır maddeleri, bir delik vasıtasıyla dışarıya atılabilir. Fakat büyük buğu miktarları söz konusu olan hallerde, gerekli hacimden dolayı, evaporatörün yatay yapılması gerekir [25].

Evaporatörleri, içlerindeki basınca göre de sınıflandırmak mümkün olur. Bu takdirde vakum, alçak basınç ve yüksek basınç evaporatörleri adları kullanılır.

Kaba suyun ön ısıtılması, aynı zamanda gazsızlandırılmasını da mümkün kılar. Bunun için bir miktar ısınmış olan su, karışım prensibiyle çalışan diğer bir ısıtıcıdan geçirilir. Burada sıcaklığı, evaporatörden gelen buğunun bir kısmıyla, kaynama sıcaklığına kadar yükseltildiğinden, içinde bulunan atık gazların ayrılarak, bir trap vasıtasıyla dışarı atılması mümkün olur [26].

Bir evaporatör cihazı çalışırken içinde bulunan kaba suyun konsantrasyonu gittikçe artar. Halbuki, kaba su olarak mesela deniz suyunun kullanılması halinde, cihaz içindeki suyun NaCl (tuz) konsantrasyonunun %6 ila %7 yi geçmemesi gerekir. Aksi takdirde ısıtma yüzeyleri çok kısa bir zamanda, bir kısır tabakasıyla kaplanacağından, cihazın kapasitesi çok düşmüş olur. Bu sebepten dolayı haznede bulunan suyun salamura adı verilen bir miktarının devamlı olarak dışarı atılması icap eder. Salamura suyu miktarı, normal şartlar altında, buharlaşan miktarın takriben % 5'i kadardır [26].

İyi hazırlanmış bir distile edilmiş su içinde, litrede 2 ila 3 mg Cl ve en fazla 8 ila 12 mg anorganik katı cisimler bulunabilir. Tesis iyi yapılmadığı veya iyi kullanılmadığı takdirde, bu değerler doğal olarak yükselebilir. Yüksek basınç ve sıcaklıklarla çalışan modern tesislerde, besleme suyunun temizliğine mümkün oldukça dikkat gerekir. Bu çeşit işletmelerde evaporatör cihazları genellikle birkaç kademeli olarak yapılır. Böylece buharın sertlik maddelerini birlikte sürüklemesi tamamen önlenmiş olmaktadır [26].

Evaporatör cihazlarını gerekli ısıtma buharının boruların içinden veya dışından geçtiğine göre, buhar borulu ve su borulu olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Bunlara ilaveten; jet tipi veya fiskiyeli ve su filmlili tipler de mevcuttur. Ayrıca yukarıda beyan edilmiş olan tiplerin birbiriyle karışmasından meydana gelen karmaşık tipli evaporatörler yapmak da mümkündür [26].

Evaporatör tesislerinde ısıtma maddesi olarak, buhar yerine sıcak suyu veya kazan duman gazlarını kullanmak da mümkündür. Sıcak su ancak vakumla çalışan evaporatörlerde kullanılabilir. Duman gazıyla çalışan evaporatörler ise yüksek basınç evaporatörleridir [26].

2.8.2.1. Evaporatörde kapasitenin belirlenmesi için gerekli hususlar

Evaporatör seçiminde gerek duyulacak bilgiler şunlardır:

- a) Oda (kazan) sıcaklığı ve bağıl nem seviyesi,
- b) Oda sıcaklığı-evaporasyon sıcaklık farkı (mal cinsine göre),
- c) Oda sıcaklığı-hava üfleme sıcaklığı,
- d) Oda boyutları (En x Boy x Genişlik) / Üfleme mesafesi,
- e) Gerekli hava debisi [26].

2.8.2.2. Evaporatör çeşitleri

Çok çeşitli evaporatör tipleri olmasına rağmen kullanım sıklıklarına göre genel

olarak 4 tipte incelenebilirler.

- a) Buhar borulu evaporatörler
- b) Batch pan
- c) Doğal sirkülasyon
- d) Zorlanmış sirkülasyon

Buhar borulu evaporatörler:

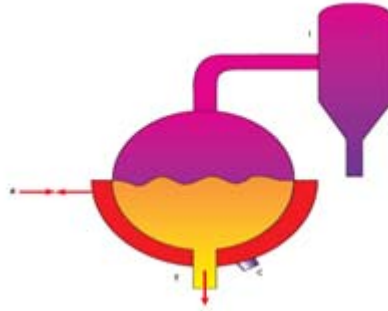
Buhar borulu evaporatörlerde ısıtma buharı, boru kangal veya boru demetlerinin içinden geçerek sahip olduğu buharlaşma ısısının bir kısmını veya tamamını kaba suya verir. Bu tip, kullanılan kaba suyun sertliği yüksek olan hallerde bilhassa tercih edilmektedir.

Boru kangalları genelde kaba suyun içine daldırılmış olur. Bu takdirde bunlara daldırma kangallı evaporatörler adı da verilir. Buharlaşmanın vakum altında yapılması halinde ise, buhar borulu evaporatör vakum evaporatörü adını alır. Bu tip evaporatörlerde buharlaşma ısısı, kangal şekline sahip bir borudan, etrafında bulunan kaba suya geçtiğinden elde edilmekte olan buğu ekseriya hususi bir kondenserde daha nadiren de tesisatta mevcut diğer kondenselerde yoğunlaşmaktadır. Birinci durumda, soğutma suyu olarak kaba su kullanıldığından buharın buharlaşma ısısının büyük bir kısmı geri kazanılmış olmaktadır; ikinci halde ise bu ısı doğal olarak kaybolmaktadır.

Bu tip buharlaştırma cihazlarında, yükleme değeri bilhassa düşük alınmalıdır. Aksi halde kaynama meydana geldiğinden suyun yüzeyinde köpük halinde toplanan bazı sertlik maddelerinin, kondensere sürüklenmesi tehlikesi belirir. Kaba suyun buharlaşması esnasında, boru kangalının dış yüzeyleri üzerinde kazan tuzu meydana gelir. Bu tuz tabakasının varlığı ise, ısı geçiş katsayısını düşürdüğünden, kangalların zaman zaman dışarı çekilerek temizlenmesi gerekir [26].

Batch pan:

Doğal güneş buharlaşması yanında, batch pan yoğuşmanın en eski metodlarından biridir ve Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Bugünün teknolojisinde kısmen eskidir, fakat hala bazı sınırlı uygulamalarda kullanılmaktadır, bütün meyvelerin hazır bulunduğu ve bazı ilaç ürünleri sürecindeki marmelatların ve jölelerin konsantrasyonu gibi. 1960'ların öncesine kadar, batch pan mısır pekmezlerinin konsantrasyonunda geniş kullanıma sahipti [27].

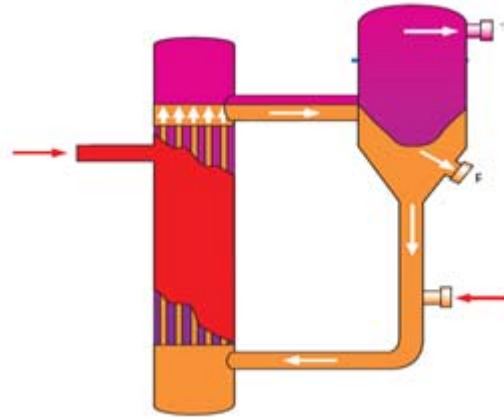


Şekil 2.10 Batch pan tipli evaporatör [27]

Doğal sirkülasyon:

Doğal sirkülasyonlu buharlaşmaya, batch pan içerisindeki kısa boru demetinin kullanımı ya da bir dış kabuk ve ana kabın dışındaki tüp ısıtıcısına sahip olmak ile ulaşılır. Sistem Şekil 2.11'de verilmiştir.

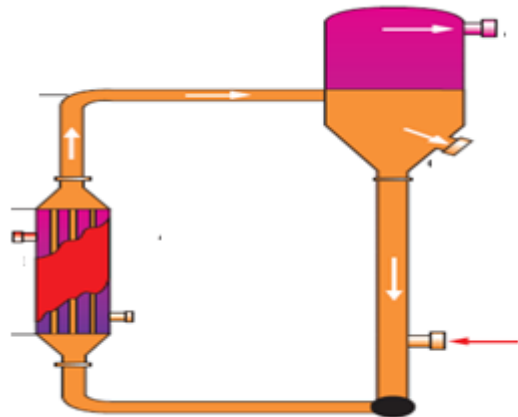
Dış ısıtıcı, kabın kendisinin boyutuna ya da şekline göre boyutunun bağımlı olmaması avantajına sahiptir. Sonuç olarak, daha geniş buharlaşma kapasiteleri sağlanabilir. Bu tip birim için en çok rastlanan uygulama damıtma kulesi temelindeki bir kazan gibidir [27].



Şekil 2.11 Doğal sirkülasyonlu evaporatör [27]

Zorlanmış sirkülasyon:

Zorlanmış sirkülasyon evaporatörü ölçeklendirilmesi veya kristalleşmesi şüpheli olan alkollü içeceklerin işlenmesi için geliştirilmiştir. Sıvı kaynaması, yukarıdaki en üstteki boru sacı ile korunan bir hidrostatik yük sayesinde birim içinde önlenen ısı değiştirici içerisinden yüksek oranda dolaştırılır. Sıvı, mutlak baskının boru demetinden bir dereceye kadar daha az olduğu ayırıcıya girdiği zaman, sıvı buharı biçimlendirmek için parıldar. Sistemin çizimi Şekil 2.12’de verilmiştir [27].



Şekil 2.12 Zorlanmış sirkülasyon [27]

2.8.3. Soğutma kulesi

Su soğutmalı kondenserlerde kapalı çevrim su kullanılması durumunda su soğutma kulesinin kullanılması gerekir. Su soğutma ceketli makinelerde kullanıldığı gibi sürekli atık suyun bulunmadığı su soğutmalı sistemlerde kondenser suyunun soğutulmasını sağlar. Sürekli aynı su soğutulur ve kondenser beslenir. Ancak su soğutma kulesinde kondenser ısı kapasitesine eşdeğerde buharlaşma yoluyla su kaybına sebep olur. Su soğutma kuleleri; atmosferik tip (doğal hava akımlı), cebri hava akımlı, ejektör tipi, hava teşvikli ve parabolik inşai tip olarak sınıflandırılabilir. En çok kullanılan tip aksiyal veya radyal fan vasıtasıyla cebri hava akımı sağlanan kulelerdir. Hava ile suyun karşılaşma tarzına bağlı olarak çapraz akışlı ve ters akışlı olarak isimlendirilirler [25].

Kulelerde hava ile suyun çok iyi bir biçimde ısı alışverişinde bulunması gereklidir. Bunun için su ile havanın teması, yüzeyinin mümkün olduğu kadar artırılması için genellikle su nozulları ile püskürtülmesi ile su yüzeyi artırılır.

Yüzeyin artırılması, soğutmayı kolaylaştıran ana faktörlerdendir. Islak yüzeyin büyüklüğüne bağlı olarak kapasite artar. Tabii ki tek faktör olmayıp hava debisine ve yaş termometre sıcaklığına bağlıdır [25].

Eski tip soğutma kulelerinde, soğutulacak olan su yağmur şeklinde kulenin içinde aşağı doğru akıtılır ve bu esnada da aşağıdan doğal veya cebri olarak verilen hava ile temas ederek soğutulur.

Yeni tip soğutma kulelerinde ise, kule içinde soğutulacak su ile hava, çok daha yakın bir temas halinde bulunur. Bu durumun temini için de kulenin içine, oldukça geniş soğutma yüzeyine sahip özel malzemeden imal edilmiş soğutma elemanları yerleştirilir.

Hava ile su arasında oluşturulan yakın temas neticesinde, suyun bir kısmı buharlaşır. Buharlaşan suyun bir kısmı, hava ile birlikte emildiğinden kaybolup gider. Bu suretle meydana gelen kaçak kaybı yaklaşık %2 civarındadır [25].

Bir soğutma kulesinin kapasitesi mevcut soğutma yüzeyi ve hava miktarı ile ilgilidir. Dış hava ne kadar kuru olursa, o oranda fazla suyun buharlaşacağı bellidir. Bu husus, diğer taraftan arzu edilen soğutma suyu çıkış sıcaklığı ile yaş termometre sıcaklığı arasındaki farkla da yakından ilgilidir [25].

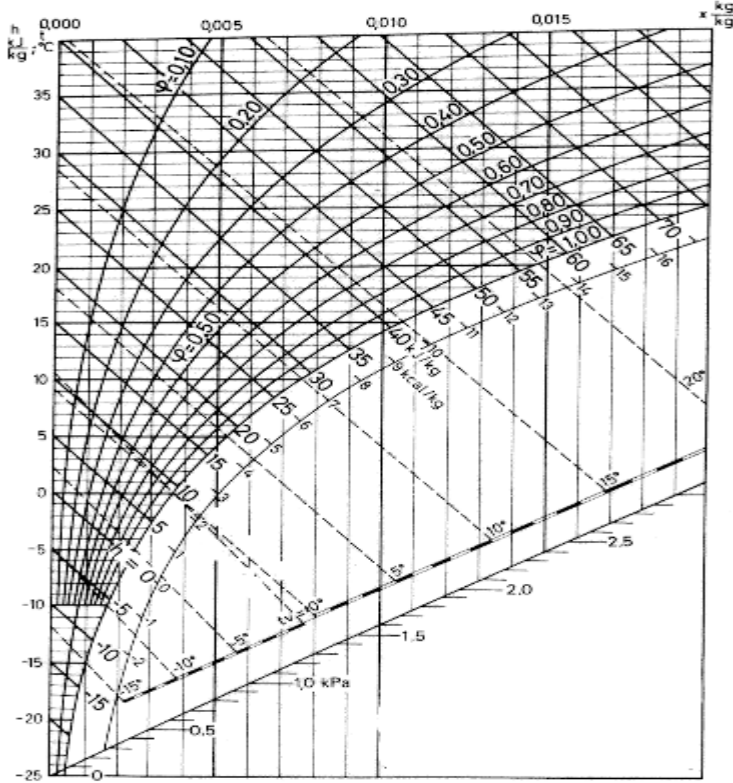
2.8.3.1. Mollier diyagramı

Yeni tip soğutma kulelerinin hesabında Mollier i-x diyagramı birinci derecede bir rol oynar. Bu diyagramda absisi 1 kg havanın içindeki su miktarını gram olarak veren x değeri teşkil eder, bu değer birimi g/kg dır. Diyagram üzerinde; izoterm eğrileri, hemen hemen yatay sabit x eğrileri, dikey sabit ısı tutumu eğrileri ise meyilli durumda bulunur. Bu diyagram üzerinde ayrıca bağıl rutubet dereceleri, yani Q eğrileri bulunur. $\phi = 1$ sınır eğrisi, havanın doyma durumunu göstermektedir. Bu diyagram sabit değerlerde bir hava basıncı için ayarlanır. Şekil 2.13’de 760 mm Hg’lik hava basıncı için yapılmış bir i-x diyagramı verilmiştir, bu diyagram ancak bir fikir vermek amacıyla buraya konulmuştur ve normal hesaplarda tabiki daha büyük bir diyagramın kullanılması gerekir [25].

Diyagramın alt kısmına çizilmiş olan meyilli doğru ise, ordinat olarak x değerine tekabül eden buhar basıncı h_a yı, mmHg sütunu olarak vermektedir. Herhangi bir x değerinde ısı çekilmesi halinde, bu değere tekabül eden ordinatın, doyma eğrisinin $\phi = 1$ eğrisini kestiği yerde, yoğuşma noktası bulunur. Daha fazla ısı çekilerek sınır eğrisinin aşılması halinde yoğuşma meydana gelir [25].

Mesela 30°C sıcaklığı olan havanın bağıl rutubet dereceleri sırasıyla $\phi = 1$ ve $\phi = 0.7$ olduğuna göre, bu değerlere tekabül eden x, h (i) değerlerini tespit edersek, 30 °C’lik izotermin $\phi = 1$ sınır eğrisini kestiği noktada, x =27,2 g/kg; eğrisini kestiği $\phi = 0.7$ noktada ise x = 19,2 g/kg değerlerini verir. Bu x değerlerinden, meyilli doğruya çıkıldığı takdirde buhar basınçları birinci durum için $h = 32$ mmHg, ikinci durum için ise $h_d = 23$ mmHg çıkar. 30°C’lık izotermin, $\phi = 1$ sınır eğrisini kestiği noktada,

$i=23,7$ kcal/kg, eğrisini $\phi = 0.7$ kestiği noktadan geçen sabit ısı tutumu eğrisi ise, $i = 19$ kcal/kg dir. Bu son durumda yoğuşma noktası, izoterm ile sabit ısı tutumu eğrilerinin kesiştiği noktadan, sınır eğrisine dikey olarak inerek $17,5$ °C olarak bulunur.



Şekil 2.13 Mollier diyagramı [25]

Islak termometre sıcaklığı t_f , teorik olarak soğutma limitini teşkil eder ve hava sıcaklığı ile bağlı ıslaklık derecesinin belli olması halinde, $i - x$ diyagramından bulunur. Projesi iyi yapılmış olan modern bir kulede t_f değerine $3,5$ ila 4 °C kadar yaklaşmak mümkündür. Soğutma suyu çıkış sıcaklığı ile ıslak termometre sıcaklığı arasındaki fark ne kadar büyük olursa, soğutma kulesinin ebadları da o nisbette küçülmüş olur [25].

Standart bir kulenin kapasitesinin gerekli soğutmayı temine yeterli gelmemesi halinde, bunu tamamlamak için kalan kapasiteyi karşılayabilecek diğer üniteleri

paralel koymak mümkündür. Şekil 2.14'de, 4 üniteden oluşan bir soğutma grubu görülmektedir [25].



Şekil 2.14 4 üniteden oluşan bir soğutma grubu [25]

Bu tip kuleler halen; buharlı tesislerden başka, atom reaktörlerinde, petrol rafinerilerinde, çimento fabrikalarında, çeşitli endüstri tesislerinde, dizel motorlu tesislerde, soğuk hava depolarında vb. tesislerde başarı ile kullanılmaktadır [25].

Hava içinde bulunan su buharının yoğuşması temel prensibine dayanan soğutma kuleleri, halen klasik temas prensibine dayanan kulelerin yerini tamamen almış bulunmaktadır. Birim gücünün 200 MW'ı aştığı süper santraller de eski sisteme sahip kulelerin kullanılmasına, ortaya çıkacak boyutlar dolayısıyla zaten pek imkan yoktur.

Kule içi dolgular ahşap, PVC ve plastik olabilmektedir. Ancak dolguların ömrünün uzatılabilmesi amacıyla mikroorganizmaların ahşap içinde yaşamasını engelleyecek maddeler ilave edilmesi gereklidir. Ahşap dolgunun iyi emprenye edilmesine bağlı olarak 10 yıllık bir ömür sağlanabilir [28].

Kule çalışırken dışarıya fazla miktarda su damlasının atılmasını önleyeci separator ile mutlaka donatılmalıdır. Suyun damlalar halinde dışarıya sürüklenmesi su sarfiyatını arttıracaktır. İyi bir su kulesinde su sürüklenmesi olmaz ve fan vasıtasıyla hava ve su buharı karışımı dışarı atılır. Hava ve su buharı karışımı hiçbir zaman motor üzerinden geçirilmemelidir. Bu motor sargıları üzerinde ve klemensinde

problem çıkarabilir. Motorlar keza dış hava şartlarından da korunacak tarzda muhafaza altına alınmış olmalıdır. Fan daima kayış kasnaklı olarak motora irtibatlandırılmaktadır.

Kulelerin yerinin seçiminde işletme açısından dikkat edilecek hususlar:

- a) Kulelerin yeri kule çıkış havasının hareketini önleyecek şekilde önünü kapatmamasına,
- b) Konulacak zeminin kule ağırlığını taşıyabilecek sağlamlıkta olmasına,
- c) Sessizliğin gerekli olduğu yerler ile pencere, pancurlu kapı, menfez gibi mahal içine ses nakledebilecek yüzeylerden mümkün olduğunca uzağa konmasına,
- d) Tozlu topraklı kirlili alanlardan mümkün olduğu kadar uzağa konulmasına,
- e) Bulunduğu bölgedeki yaz rüzgarlarının esme yönüne uygun hava akışının sağlanabileceği tarzda yerleştirilmesine,
- f) Tamamen kapalı bir bölgeye yerleştirilerek çıkış havasının aynı hacime verilmemesine,
- g) Kule etrafında servis hizmetlerinin verilebilmesi için uygun çalışma alanlarının bırakılmasına mümkün olduğunca dikkat edilmelidir [28].

Bir soğutma kulesi üzerinde asgari su irtibat ağzları bulunmalıdır:

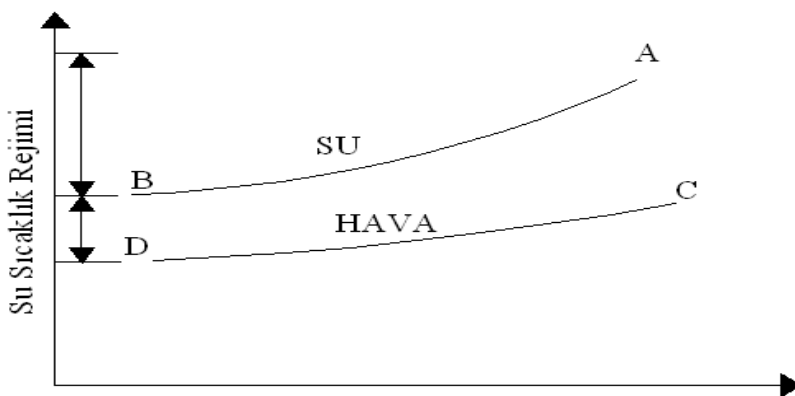
- a) Kondenserden kuleye sıcak suyun geliş bağlantısı bulunmalıdır.
- b) Kuleden kondensere soğuk suyun gittiği emiş bağlantısı bulunmalıdır.
- c) Kule haznesindeki su seviyesini sabit tutmak için yerleştirilmiş bulunan şamandıralı valfe besleme bağlantısı bu şehir şebeke veya diğer su hatlarından sağlanır.
- d) Kule haznesinde fazla besleme gibi hallerde su fazlalığının haznedan taşarak drenaja verilmesini sağlayacak taşma bağlantısı müşterek vanalı su haznesi boşalma hattı bağlantısı yapılmalıdır.
- e) Borular vasıtasıyla bina ve diğer yapılar içerisine gürültü geçişini kesmek amacıyla boru bağlantıları bezli lastik hortumlar ile yapılmalıdır. Evaporatör bataryalarında yoğunlaşan nem drenajı, kule su haznesine irtibatlandırılabilir, ancak hiç bir zaman kule kondenser arası boru hattına bağlanmamalıdır.

f) Kule suyunun sıcaklık kontrolü için kule termostatının bağlanabileceği manşon mevcut olmalıdır. Bu gerektiği zaman kullanılacağından kör tıpa ile genelde kapalı tutulur.

g) İklimin sert geçtiği yerlerde kule suyunda donmanın oluşmasını önlemek amacıyla, elektrik ısıtıcı ile ısıtılması gerekebilir. Bu nedenle elektrikli ısıtıcının su haznesine takılabileceği bir bağlantı konumlandırılmalıdır [28].

Bir soğutma kulesinde, ısı ve kütle transferinin kombinasyonu söz konusudur. Hava ile temas eden suyun yüzeyi, fiskiyelele, dolgu ile çok büyük oranda artırılır. Havanın akışı, fanlar, konvektif akış, suyun indüksiyon etkisi ile sağlanabilir. Suyun bir kısmı buharlaşarak, kalan sudan ısıyı alır, bir kısım ise pülvenize halinde hava ile kaçağı oluşturur.

Şekil 2.15’de karşıt akışlı bir soğutma kulesinde hava ile su arasındaki sıcaklık ilişkisi görülmektedir. (AB) eğrisi su sıcaklığının düşüşünü, (CD) eğrisi ise havanın yükselen yaş termometre sıcaklığını göstermektedir. Bir soğutma kulesinde, su sıcaklık rejimi, toplam ısı yükü ile su debisine bağlıdır ve çıkış sıcaklığının (B), Yaş Termometre Sıcaklığına (C), yaklaşım değeri ise soğutma kulesinin verimine ve büyüklüğüne bağlıdır [28].



Şekil 2.15 Karşıt akışlı soğutma kulesinde su - hava sıcaklık bağlantısı[28]

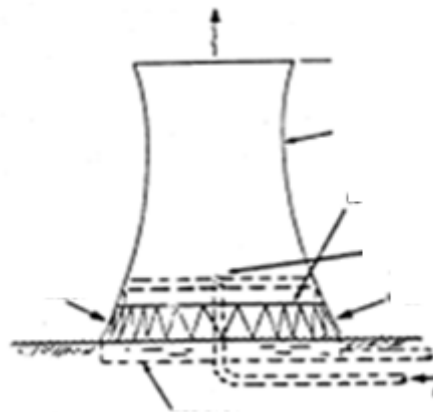
2.8.3.2. Su soğutma kulesi tipleri

Soğutma kuleleri, su ile havanın dolaylı veya dolaysız temas etmesine göre temelde iki ana gruba ayrılırlar:

- a) Buhar kapalı su devreli,
- b) Açık su devreli soğutma kuleleri olarak da ifade edilebilirler [28].

Atmosferden suya karışan kirliliğin istenilmediği durumlarda kapalı su devreli soğutma kuleleri tercih edilir. Açık tip su soğutma kuleleri de doğal hava akışı ve cebri hava akışlı olmak üzere sınıflandırılabilirler.

Düşey ve yatay spreylı soğutma kulelerinde havanın akışı, fiskiyelerden püsküren suyun indüksiyon etkisiyle sağlanır. Hava akışını sağlamak amacıyla yüksek basınçla püskürtülen suyun atomize olması performansı da artırır. Soğutma kulelerin devleri olan hiperbolik kuleler, termik elektrik santrallerinin ihtiyaçları sonucu ortaya çıkmıştır. Hava, yoğunluk farkının konvektif etkisiyle alınır ve atılır. Hava özgül ağırlığı, lüle içinde rutubet ve sıcaklık artışı nedeniyle, dışarıya göre daha düşüktür. Gövde betonarme plakadan inşa edilmekte olup, yüksekliği 100 ila 150 m. olabilmektedir. Belli bir boyuta kadar, ahşap konstrüksiyonlu tipler de, uygulamada kullanılmaktadır.



Şekil 2.16 Hiperbolik kule [28]

Cebri hava akışlı soğutma kulelerinde aksiyal veya radyal fanlar kullanılır. Fan tipi seçiminde, gerekli basınç, ses düzeyi sınırlaması ve enerji bilançosu önemli parametrelerdir [28].

Soğutma Kulesi; en direk temaslı, yani su damlacıkları hava ile temas etmeyen ve saf (arı) su pahalı bir sistem olduğundan yakında akarsu olmadığı durumlarda kurulmalıdır [29].

2.8.3.3. Soğutma kulesi tasarımında etkili olan faktörler

Soğutma kulesi bir enerji üretim santralının en göze çarpan harici elemanıdır. Kulenin suyu soğutmasında belli başlı rol oynayan faktörler şunlardır:

- a) Kimyasal iyileştirme ve etkileri,
- b) Kabuklanma ve korozyon,
- c) Konsantrasyon kontrolü,
- d) Biyolojik kirlenme (fouling) ve kimyasal madde ilavesi,
- e) Kule çıkış havasının etkileri,
- f) Su buharlaşması,
- g) Boşaltma suyu,
- h) Enerji tasarrufu.

Kimyasal iyileştirme ve etkileri;

Soğutma sistemlerinde sirküle eden su genellikle kimyasal olarak iyileştirilmiştir. Daha önceden su içinde mevcut çözülmüş mineraller konsantre edilir ve suya koruyucular ve diğer kimyasal maddeler ilave edilir. Bu işlemler, sistemin verimi üzerinde etkili olduğu gibi, gereken bakımın derecesi ve sistem elemanlarının ömürleri açısından da önemlidir. Suyun soğuması, dolaşım suyunun bir bölümünün buharlaşması sonucu olduğundan, çözünmemiş katı parçacıkların ve pisliklerin yoğunluğu hızla artar. Kirliliğin çeşidine bağlı olarak kabuklanma, korozyon ya da balçık birikmesi ortaya çıkar [30].

Kabuklanma ve korozyon;

Korozyon, sadece Amerikan endüstrisine her yıl 150 milyar dolara mal olmaktadır. Bunun en azından %15'i daha iyi malzeme seçimi ve korozyon önleme tedbirleri ile geri kazanılabilir. Bu maliyete ek olarak, tüm enerji ihtiyacının %3.5'i de korozyon sonucu demir oksit birikmesinin sebep olduğu yetersiz ısı transferi sonucu boşa gitmektedir. Korozyonu önlemenin en bilinen yöntemlerinden biri, soğutma suyu sistemine kimyasal katkı maddeleri eklemektir. Böylece birikme önlenerek ısı transferi verimindeki azalma giderilir. Katkı maddelerinin etkili olabilmesi için:

- a) Tüm metal yüzeyleri korozif etkiden korumalıdır.
- b) Düşük konsantrasyonlarda da verimli olmalıdır.
- c) İyileştirme programı geniş bir pH, sıcaklık ve su kalitesi aralığında verimliliğini korumalıdır.
- d) Metal yüzeylerde birikmeye sebep olmamalıdır.
- e) Doğal çevreye boşaltıldıklarında minimum toksit etkiye sahip olmalıdırlar.
- f) Sistemdeki mikroorganizmalardan etkilenmemelidirler [35].

Konsantrasyon kontrolü;

Soğutma suyu sisteminde yalnızca saf su buharlaşır. Geriye kalan mineraller ise suda daha fazla konsantre hale gelirler. Konsantrasyon seviyesi kontrol edilmedikçe birçok tuzun çözünürlük sınırı aşılacak ve ısı transfer yüzeylerinde kabuklanma oluşacaktır. Ancak, konsantrasyon miktarı, kısmi tahliye (blowdown) ile kolaylıkla kontrol altına alınabilir. Bu amaçla bir miktar su drenaj edilir. Bunun yerine şebekeden su takviye edilerek minerallerin seyreltilmesi ve konsantrasyonun dengelenmesi sağlanır.

Bazı durumlarda suyun kimyasal bileşimi nedeniyle işletme sınırları dışında boşaltma yapılamayacağından (sıfır boşaltma gereksinimi) kısmi tahliye esnasında kimyasal madde ve mineraller sürekli olarak gözlenmelidir.

Bu koşullar, soğutma kulelerinde kullanılan yapı malzemelerinde değişikliğe yol açmıştır. Örneğin ahşap kaplama işlemleri terk edilmiş, fiberglas, çelik konstrüksiyon veya beton yapılar daha ekonomik olan ahşap malzemelerin yerini almıştır [31].

Biyolojik kirlenme ve kimyasal madde ilavesi;

Korozyon ve kabuklanmayı önlemek amacıyla fosfat, molibdat, çinko, silikat ve çeşitli polimer karışımları kullanılabilir. Bakır ve bakır alaşımlarını korozyondan korumak için bu karışımlara tolitriazol veya benzotriazol ilave edilir. Kromatlar korozyon kontrolü için önceden kullanılmaktaydılar. Ocak 1990 itibariyle Çevre Koruma Ajansı (EPA), kromatların konfor klima sistemlerinin soğutma kulesi tesisatında kullanılmalarını yasaklamıştır. Fosfat bileşikleri zehirsiz olmalarına rağmen su yosunlarının gelişmesini hızlandırdıkları için kullanımları yakın gelecekte sınırlandırılabilir.

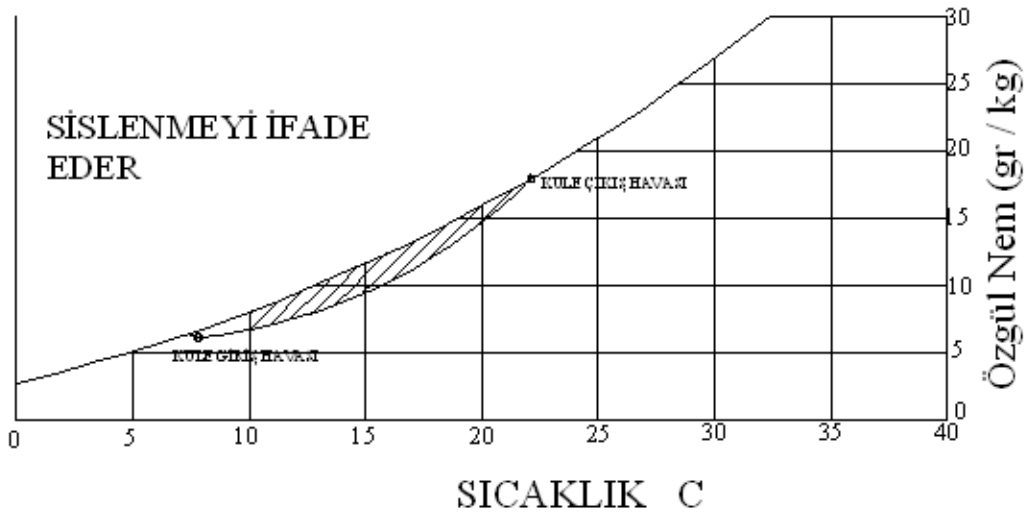
Su yosunları, çamur, mantar ve diğer mikroorganizmalar kule sisteminde hızla gelişirler ve;

- a) Isı transfer yüzeylerinin üzerine izolasyon malzemesi gibi kaplanırlar.
- b) Sıvı akışını kısıtlarlar.
- c) Korozyonu artırırılar.
- d) Sistemdeki organik yapıli elemanlara zarar verirler [32].

Kule çıkış havasının etkileri;

Soğutma kulesinin hava çıkış bölümü de tasarımda önemli rol oynar. Buradan çıkan hava sislenmeye, yolların buzlanmasına ya da su ve mineral içeren sürüklenmeye sebep olabilir. Sürüklenme, kuleyi terk eden hava içinde taşınan su damlaları olarak tanımlanabilir. Sislenme ise soğutma işleminde buharlaşan suyun tekrar yoğunlaşması sonucu oluştuğundan sis tabakası, kimyasal madde ve minerallerden arındırılarak saflaştırılmıştır. Ancak sürüklenme için aynı şey söylenemez [31].

Soğutma kulesinden boşalan ılık hava doymuş haldedir. Belirli çalışma şartları altında kuleyi çevreleyen dış hava, kule çıkış havasındaki tüm nemi absorbe edemez. Bunun sonucu açıkta kalan su buharı sis şeklinde yoğunlaşır. Sislenme, Şekil 2.17’de gösterildiği gibi psikrometrik diyagram üzerinde giriş havası koşullarından, çıkış havasını temsil eden noktaya bir doğru çizilerek tahmin edilebilir.



Şekil 2.17 Psikrometrik diyagram kullanılarak sislenme tahmini [32]

Doyma eğrisini kesen doğru sislenmeyi ifade eder. Doyma eğrisi ile doğru arasında kalan alanın büyümesi daha yoğun bir sisi ifade eder.

Sislenmeyi azaltmanın ya da önlemenin yolları çeşitlidir. Bunlar, kule hava çıkış ağzını ısıtmak ve kimyasal madde püskürtmek şeklinde sıralanabilir. Bununla beraber bu çözümler pahalıdır ve her zaman verimli oldukları söylenemez.

Islak / kuru soğutma kulelerinde kullanılan birbirine paralel ya da seri, kuru yüzeyli ısı eşanjörleri sis kontrolünde oldukça etkilidirler. Bu kulede buharlaşmalı bölümü terkeden doymuş boşaltma havası, kule içinde kanatlı boru tipi eşanjörün çıkışındaki ılık ve nispeten kuru hava ile karışarak boşaltma havasının doyma yüzdesinde azalmaya yol açar [32].

Bununla beraber en pratik çözüm, soğutma kulesini sisin sorun yaratmayacağı bir yere yerleştirmektir. Sislenme bir havaalanında uçağın iniş yolu üzerindeki bir

noktada oluşuyorsa tehlikeli olabilir. Soğuk iklimlerde ise çevre yollarda buzlanmaya neden olabilir. Diğer bir konu ise sürüklenmedir. Sürüklenen damlacıkların içindeki tuz ve mineraller ise bölgedeki tarıma, toprağın bileşimine, insanlara, otomobillere zarar verebilir.

Su buharlaşması;

Buharlaşma sonucu kaybolan su ve daha az olmakla beraber kısmi drenaj, kurak alanlara yayılmakta olan endüstrinin başlıca sorunlarından biridir. Mevsimsel su tüketimindeki değişme, çok devirli fan motorları kullanılarak karşılanabilir. Islak/kuru soğutma kulelerinde olduğu gibi kanatlı boru tipi ısı eşanjörlerinin kullanımı su sarfiyatını azaltan bir çözümdür [31].

2.8.4. Yoğuşturucu (Kondenser)

Genel olarak soğutma sisteminde soğutucu sıvının evaporatörden (buharlaştırıcı) aldığı ısı ile kompresördeki sıkıştırma işlemi sırasında ilave olunan ısının sistemden alınması kondenserde yapılır. Böylece, soğutucu akışkan sıvı hale gelerek basınçlandırılır ve tekrar genişletilerek evaporatörden ısı alacak duruma getirilir [33].

Buhar ve gazların bir yüzeyde yoğuşması, yüzeyin vasıflarına (düzgünlüğü, parlaklığı, geometrik durumu vb.) bağlı olarak damla veya film tarzlarında oluşur. Damla teşekkülü ile yoğuşma durumunda çok daha yüksek (film biçimine oranla 4 ile 8 kat daha fazla) ısı geçirgenlik katsayıları sağlanabilmekte ve bu tercih edilmekte ise de uygulamada, soğutucu akışkan özellikleri ve kondenser imalatının ekonomik faktörlerle sınırlanmaları nedeni ile ancak film tarzı yoğuşma ve az ölçüde de damla teşekkülü ile yoğuşma birlikte olmaktadır [33].

Kondenserdeki ısı alışverişinin üç safhada olduğu düşünülebilir. Bunlar;

- a) Kızgınlığın alınması,
- b) Soğutucu akışkan yoğuşması,

c) Aşırı soğutma.

Kondenser dizaynına bağlı olarak aşırı soğutma kondenser alanının % 0 ila 10' unu kullanacaktır. Kızgınlığın alınması içinse kondenser alanının % 5' ini bu işleme tahsis etmek gerekir. Bu üç değişik ısı transferi şekline bağlı olarak kondenserdeki ısı geçirme katsayıları ile sıcaklık aralıkları da farklı olacaktır. Ancak, kızgınlığın alınması safhasındaki ortalama sıcaklık aralığının fazlalığına karşı daha düşük bir ısı transfer katsayısı mevcut olacak, fakat aşırı soğutma sırasında bunun aksine sıcaklık aralığı daha az ve ısı geçirme katsayısı daha fazla olacaktır. Yoğuşma sırasında ise alt ve üst seviyeleri arasında bulunacaktır. Yapılan deneylerde ısı transferi kat sayısının artması karşısında sıcaklık farkının azalması yaklaşık olarak aynı çarpım sonucunu vermektedir ve bu değerlerin ortalamasını kullanmak mümkün olmaktadır. Hesaplama sağladığı basitlikte göz önünde bulundurularak, kondenserlerin hesabında tek bir ısı geçirme katsayısı ile tek bir ortalama sıcaklık aralığı değerleri uygulanmaktadır [34].

Genel olarak 3 değişik tip kondenser mevcuttur;

- a) Su soğutmalı kondenserler,
- b) Hava soğutmalı kondenserler,
- c) Evaporatif (hava ve su soğutmalı) kondenserler [34].

2.8.4.1. Su soğutmalı kondenserler

Bu tip kondenserler bilhassa temiz suyun bol miktarda, ucuz ve düşük sıcaklıklarda bulunabildiği yerlerde gerek kuruluş ve gerekse işletme masrafları yönünden en ekonomik kondenser tipi olarak kabul edilebilir. Büyük kapasitedeki soğutma sistemlerinde genellikle tek seçim olarak düşünülür. Fakat son yıllarda yüksek ısı geçirme katsayıları sağlanan hava soğutmalı kondenserlerin yapılmasıyla 100 ton kapasitelerine kadar bunların da kullanıldığı görülmektedir.

Su soğutmalı kondenserlerin dizaynı ve uygulamasında, boru malzemesinin ısıl geçirgenliği, kullanılan suyun kirlenme katsayısı, kanatlı boru kullanıldığında kanat

verimi, su devresinin basınç kaybı, soğutucu akışkanın aşırı soğutulmasının seviyesi gibi hususlar göz önünde bulundurulur [34].

Kirlenme katsayısı, kullanılan suyun zamanla su tarafındaki ısı geçiş yüzeylerinde meydana getireceği kalıntıların ısı geçişini azaltıcı etkisini dikkate almak maksadını taşır. Kirlenme katsayısını etkileyen faktörler şunlardır:

- a) Kullanılan suyun, içindeki yabancı maddeler bakımından temiz olması,
- b) Yoğuşum sıcaklığı,
- c) Kondenser borularının temiz tutulması için uygulanan koruyucu bakımın derecesi.

Kanat verimi veya kanat yüzeyinin etkinliği değeri, düz boru baz kabul edilerek buna oranlı aynı film katsayısı ile ve kanat yüzeyinin düz borudaki yüz sıcaklığında olması halinde birim yüzeyden geçecek ısı miktarına oranı şeklinde tarif edilir. Kanat verimi yüksek olan bir kanat profili, yüzey arttırılışının daha etkili bir ısı geçişi sağlayacak şekilde yapıldığını ifade eder [34].

Kondenser seçiminde sürtünme ve diğer akış kayıpları sebebiyle suyun basınç düşümü önemli olup 5 ila 7 mss seviyesini aşmamalıdır. Aksi halde aşırı halde sirkülasyon pompası manometrik basıncı gerekecek ve güç sarfı artacaktır. Diğer bir husus kondenserin çalışma şartlarında gereken aşırı soğutmayı sağlamasıdır. Bilhassa soğutucu akışkan gidiş borusu uzun olan veya basınç kaybı meydana getiren vana, dirsek, gibi elemanların veya düşey yükselmesinin fazla olduğu uygulamalarda soğutucu akışkanın köpürmesi olayı meydana gelerek kapasitenin önemli derecede düşmesine sebep olur ki bunu önlemek için sıvının aşırı soğutulması gereklidir. Bu maksatla, kondenserin en alt seviyesine, yani soğutucu sıvının içine daldırılmış soğutucu boruları konulur [33].

Su soğutmalı kondenserler değişik şekillerde ve konstrüksüyonda yapılmakta olup genel tipleri şunlardır:

- a) Dik tertipli boru biçiminde yapılan kondenserler,
- b) Çift Cidarlı Tipler.

Bunlardan hangi tipin kullanılacağı uygulamasının ısı yük, soğutma suyu sıcaklık, debi, basınç ve temizlik durumlarıyla yer durumuna, soğutucu akışkan ve su devrelerinin servis bakım şartlarına göre değişebilir [34].

Dik tertipli boru biçiminde yapılan kondenserler;

Bilhassa yer gereksiniminin az olması nedeniyle büyük kapasiteli amonyak kondenseri uygulamaları için tercih edilir. Ayrıca, su dağıtım şekli daha basit ve her türlü su kaynağı ile (kule, şebeke, havuz, vs.) kullanılabilir durumdadır, sıvılaştan soğutucu akışkanı daha az bir yükseklik seviyesinde toplamak mümkündür, su devresinin temizlenmesi daha basittir, su basınç kayıpları daha düşük tutulabilir. Uygulamada kullanılan ölçüler 40 ila 150 cm çap ve 3 ila 5 m yükseklik sınırları arasında olup su geçiş boruları genellikle dikişsiz, 2 inç çapta ve 20 ila 400 adet arasında değişmektedir.

Kondenserlerin su devresi çoğunlukla 1, 2 ve 4 geçişli olarak tertiplenir. Geçiş sayısının artırılması aynı kondenserde daha fazla kapasite elde edilmesini sağlayacak ve fakat su basınç kaybını arttıracaktır. Geçiş sayısının adedine göre kondenser kapaklarının bölme durumunun tertiplenmesi ve buna göre imal edilmesi gerekmektedir. Kondenser kapakları, kaynaklı saçdan imal edildiği gibi pik döküm malzemeden de yapılmaktadır. Kondenser kapağı yerine konulurken normal bir lastik conta ile birlikte konulur ve su sızdırmazlığı sağlanır [34].

Su soğutmalı kondenserlerin ısı geçirgenlik katsayıları; su hızına, boru boy ve sayısına, dış zarfın çapına, boru malzemesinin cinsine ve dış yüzeyinin düz veya kanatlı oluşuna göre çok geniş sınırlar arasında değişmektedir.

Kondenser seçiminin en uygun şekli imalatçı firma kataloglarından olmaktadır. Teorik hesaplamalar çok yanıltıcı olabilir ve gerçekte imalatçı firmalarda teorik hesapları sadece değişik tip ve ölçülerin kapasiteye etki derecesini mukayese etmek yönünden uygulamakta, bunun dışında ise bir prototip yapıp tecrübe ederek kapasiteleri tespit etmektedirler. Bu nedenle bir kondenser hesabından ziyade kondenser seçiminden söz etmek gerekir. Ancak, benzer kondenserlerden toplam ısı

geçirme katsayısı (K) saptanabiliyorsa, kondenser kapasitesi; tüm kondenser tipleri için;

$$Q = K.A.\Delta t \quad \text{olarak hesaplanabilir [34].}$$

K= Toplam ısı geçiş katsayısı

A= Yüzey alanı

Δt = Sıcaklık farkı

Çift cidarlı kondenserler;

Daha ziyade küçük kapasiteler için ve paket tipi cihazlarda kullanıldığı görülen bu tür sulu kondenserler, hem klima hem soğuk muhafaza uygulamalarında oldukça uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Bu tür kondenserleri iki gruba ayırmak mümkündür:

- a) Serpantin tipi,
- b) Izgara tipi veya kollektörlü tip.

Her iki türde de soğutucu akışkanın dış zarftan geçirilmesi, kondenserin hava ile temas eden dış yüzeyinden de tabii (doğal) konveksiyon yoluyla ek bir soğutma için yararlanılması nedeniyle tercih edilmektedir. Ayrıca, soğutma suyunun akış yönüyle soğutucu akışkanın akış yönü birbirine zıt olacak tarzda tertiplenmek suretiyle çapraz karşı akımlı ısı değiştirici durumu oluşturulup böylece ısı transferinin daha geniş bir sıcaklık farkı ile yapılması mümkün olur ki bu suretle daha küçük ve ekonomik bir kondenserin (ısı geçiş yüzeyinin) yeterli olması sağlanır. Bu tür kondenserler bazen, hava soğutmalı kondenserlerle birlikte ve aşırı soğutma (subcooling) sağlamak üzere kullanılmaktadır. Böylece kondenser ısıl yükünün geçici olarak aşırı olduğu dönemlerde, kondenserin su devresinde bir su regülatör valfi bulunmak kaydıyla, çok az su sarfı sureti ile, ikinci kademedeki böyle bir takviye kondenser ile soğutma çevriminden en iyi verimin alınması sağlanmaktadır [34].

2.8.4.2. Hava soğutmalı kondenserler

Bilhassa 1 hp' ye kadar kapasitedeki gruplarda istisnasız denecek şekilde kullanılan

düşüklüğü, bakım ve tamirlerinin kolaylığı şeklinde sayılabilir. Ayrıca, her türlü soğutma uygulamasına uyabilecek karakterdedir. Çoğu uygulamalarda, hava sirkülasyon fanı, açık tip kompresörün motor kasnağına integral şekilde bağlanır ve ayrı bir tahrik motoruna ihtiyaç kalmaz.

Hava soğutmalı kondenserlerde de ısı transferi 3 safhada oluşur;

- a) Soğutucu akışkandan kızgınlığın alınması,
- b) Yoğuşturma,
- c) Aşırı soğutma.

Kondenserin alanının takriben % 85'i yoğuşturma olayına hizmet eder ki kondenserin asıl görevi budur. % 5 civarında bir alan kızgınlığın alınması ve % 10 ise aşırı soğutmaya (subcooling) hizmet eder. Hava soğutmalı kondenserlerde yoğuşan soğutucu akışkanı kondenserden almak ve depolamak üzere genellikle bir soğutucu akışkan deposu (receiver) kullanılması usul haline gelmiştir. Bundan maksat, kondenserin faydalı alanını sıvı depolaması için harcamaktadır [34].

Havalı kondenserler, soğutucu akışkanlar için genellikle bakır boru–alüminyum kanat tertibinde, bazen de bakır boru / bakır kanat ve bakır veya çelik boru / çelik kanat tertibinde imal edilirler. Alüminyum alaşımı boru / kanat imalatlarına da rastlamak mümkündür. Kullanılan boru çapları $\frac{1}{4}$ " ile $\frac{3}{4}$ " arasında değişmektedir.

Hava soğutmalı kondenserler, grup tertip şekline göre;

- a) Kompresör ile birlikte gruplanmış,
- b) Kompresörden uzak bir mesafeye konulacak tarzda tertiplenmiş (split kondenser) olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir.

Kondenserden hava geçişi düşey ve yatay yönde olacak tarzda tertiplenebilir. Diğer yandan, hava fanı, havayı emici veya itici etkisi ile hareketlendirecek şekilde konulabilir [33].

Bir soğutma sisteminin bekleneni verebilmesi, büyük ölçüde yoğuşma basınç ve sıcaklığının belirli sınırlar arasında tutulabilmesi ile mümkündür. Bu ise kondenserin çalışma rejimi ile yakından ilgilidir. Aşırı yoğuşum sıcaklık ve basıncının önlenmesi, kondenserin yeterli soğutma alanına sahip olmasıyla ilgili olduğu kadar, hava devresinde yeterli debi ve sıcaklıkta havanın bulunmasıyla da ilgilidir. Yoğuşma sıcaklık ve basıncının çok düşük olması halinde ise yeterli soğutucu akışkan akışı olmamasına bağlı olan sorunlar çıkmaktadır. Bu nedenle, bilhassa soğuk havalarda çalışma durumu olduğunda, çok düşük yoğuşma basıncını önleyici tedbirler alınır ki bunları iki ana grupta toplamak mümkündür:

- a) Soğutucu akışkan tarafını kontrol etmek,
- b) Hava tarafını kontrol etmek [33].

2.8.4.3. Evaporatif (hava + su soğutmalı) kondenserler

Hava ve suyun soğutma etkisinden birlikte yararlanılması esasına dayanılarak yapılan evaporatif kondenserler bakım ve servis güçlükleri, çabuk kirlenmeleri, sık sık arızalanmaya müsait oluşları nedeniyle gittikçe daha az kullanılmaktadır.

Bir evaporatif kondenser 3 ana kısımdan oluşmaktadır:

- a) Soğutma serpantini,
- b) Su sirkülasyon ve püskürtme sistemi,
- c) Hava sirkülasyon sistemi.

Soğutma serpantinin içinden geçen soğutucu akışkan, hava soğutmalı kondenserde olduğu gibi, yoğuşarak gaz deposuna geçer. Serpantinin dış yüzeyinden geçirilen hava, ters yönden gelen atomize haldeki suyun bir kısmını buharlaştırarak soğutma etkisi meydana getirir. Böylece kondenserdeki yoğuşma sıcaklığı ve dolayısıyla basıncı daha aşağı seviyelere düşürülmüş olur. Serpantinin dış yüzeyi, ısı transferi katsayısının düşük oluşunun etkisini karşılamak üzere, alanı arttırmak için kanatlarla teçhiz edilmektedir. Ancak modern evaporatif kondenserlerde, boru dış yüzeylerinde iyi bir ıslaklık elde edilmesi neticesi yüksek ısı transfer katsayılarına ulaşılmakta ve kanatsız düz borular kullanılmaktadır. Kondenserin alt seviyesinde bulunan su

toplama haznesinde su devamlı şekilde bir pompa ile alınıp soğutma serpantininin üst tarafında bulunan bir meme grubuna basılır ve memelerden püskürtülür. Bu suyun takriben % 3 ila 5' i buharlaşarak havaya intikal ettiğinden, su haznesine devamlı su verilir [34].

2.8.5. Ara kızdırıcı

Besleme suyunun kazana gönderilmeden önce bir miktar ısıtılmasının tesisin termik verimini yükselttiği malumdur. Bu ısıtma ya buharla ya da duman gazları vasıtasıyla yapılır [25].

2.8.5.1. Regeneratif sistemi

Doymuş buhar ile Rankine çevrimine göre; p ve p_0 basınçları (veya bunlara tekabül eden T ve T_0 sıcaklıkları) arasında çalışan bir makinenin veriminin, aynı sınırlar arası için düşünülen Carnot çevrimine göre çalışacak bir makineninkine nazaran daha az olduğu bilinmektedir.

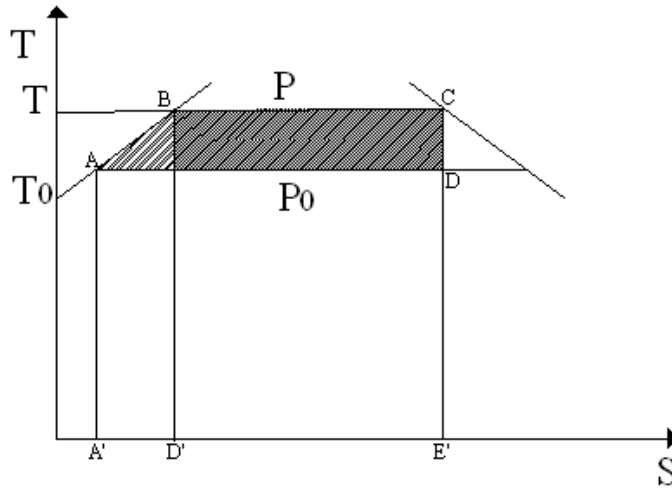
Şekil 2.18 ve Şekil 2.19'da Rankine çevrimlerinin T-s diyagramları gösterilmiştir. Şekil 2.18'de ABCDA Rankine çevrimini, Şekil 2.20'de ise BCDEB Carnot çevrimini göstermektedir. Bu çevrimlere tekabül eden termik verimler ise;

Rankine Çevrimi için:

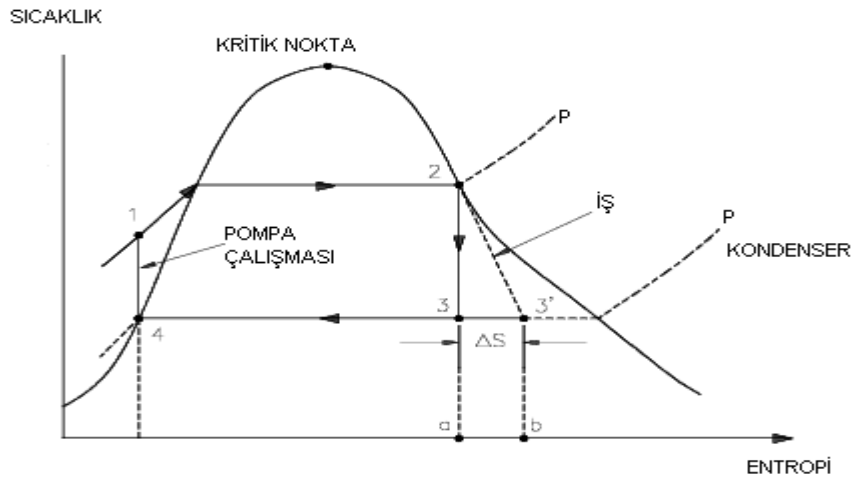
$$\eta_{CR} = \frac{ABCDA}{ABCD'A'A}$$

$$\eta_c = \frac{BCDEB}{BCD'E'B}$$

$$\eta_{CR} < \eta_c$$



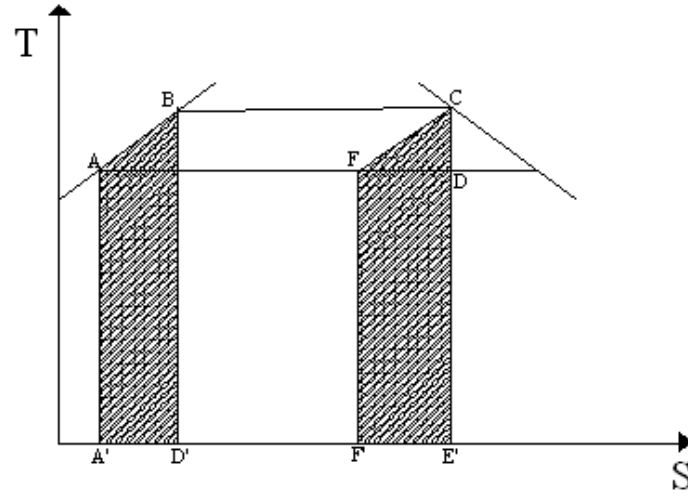
Şekil 2.18 Rankine çevrimi



Şekil 2.19 Rankine çevrimi

şeklinde ifade edilir. Makinenin sonsuz yerinden ara buhar çekilmesi halinde, Şekil 2.20’de görüldüğü üzere, Carnot çevrimine erişilmektedir, çünkü;

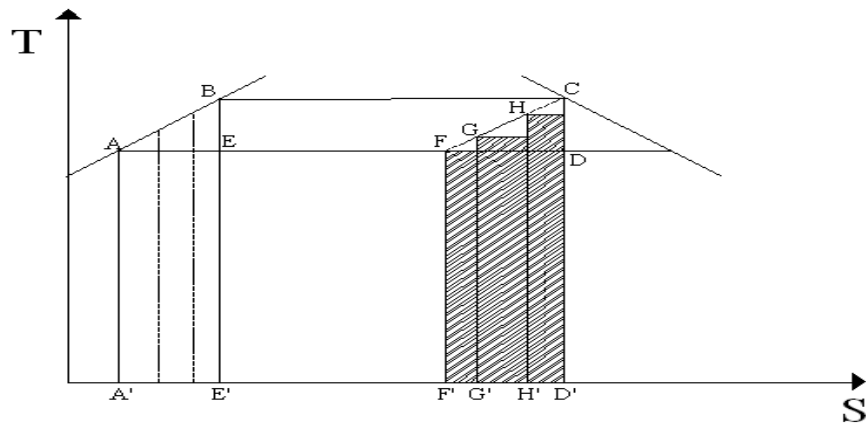
$BCDEB = ABCFA$ dır.



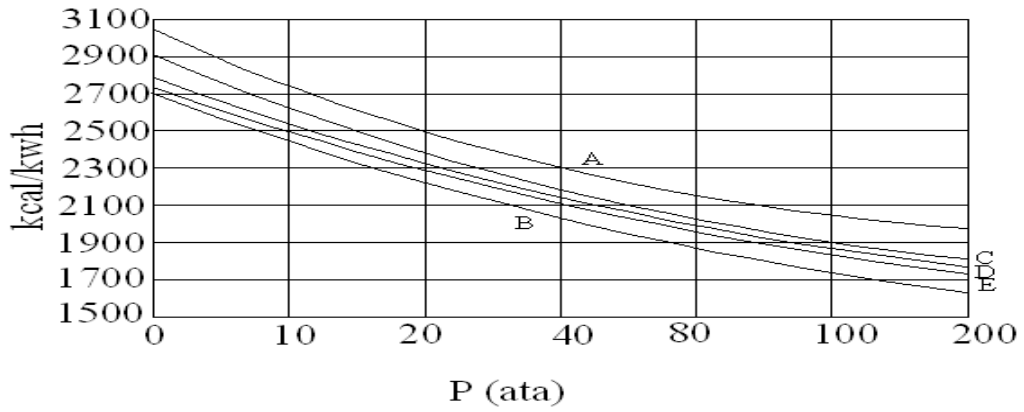
Şekil 2.20 Carnot çevrimi

Fakat bir makinenin sonsuz yerinden ara buhar çekmeye elbette imkan yoktur. Şekil 2.21'de, makinenin üç yerinden ara buhar çekilmesi hali görülmektedir.

Spesifik ısı- sarfiyatı bakımından regeneratif sistemin sağladığı faydaları Şekil 2.22'deki diyagram belirtmektedir. Bu durumda absisi logaritmik olarak alınmış taze buhar basınçları ordinatı ise spesifik ısı sarfiyatı teşkil etmektedir. Burada A eğrisi Clausius Rankine sisteminin, B eğrisi Carnot veya sonsuz yerinden buhar çekilen sistemi C, D, E eğrileri ise sırasıyla 1,2,3 yerinden ara buhar çekilen sistemi ifade etmektedir.

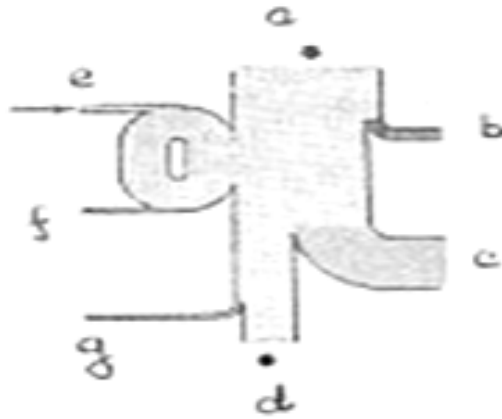


Şekil 2.21 Carnot çevrimi



Şekil 2.22 Rejeneratif sistemin sağladığı yararın grafiksel gösterimi

Şekil 2.23'de regeneratif sistemin Sankey diyagramı üzerindeki gösterilişini ifade etmektedir.



Şekil 2.23 Sankey diyagramı[25]

Burada;

a; yakıt yoluyla kazana verilen ısıyı,

b; kazan ısı kayıplarını,

c; kondenserde soğutma suyu vasıtasıyla dışarıya atılan ısıyı,

d; türbinde mekanik işe çevrilen yararlı ısıyı,

e; kazan besleme suyu pompasının gücüne tekabül eden ısıyı,

f; ön ısıtıcıların çeşitli ısı kayıplarını,

g; tesiste husule gelen ışınm, buhar kaçağı vb. kayıpların meydana getirdiği ısı kayıplarını göstermektedir.

Bu şemada bariz olarak görüldüğü üzere, regeneratif sistemde, ısı miktarı kapalı devre yapmaktadır [25].

2.8.5.2. Besleme suyunun buharla ısıtılması

Besleme suyunun buharla ısıtılmasını temin eden cihazlara; ön ısıtıcı veya hiter adı verilir. Hiter tabiri, özellikle gemi tesislerinde revaç bulmaktadır. Genellikle türbinden çekilen ara buhar, daha nadir olarak da karşı basınçlı buharla çalışan besleme suyu ön ısıtıcılarında, bu buharın haiz olduğu buharlaşma ısısının mümkün olduğu kadar büyük bir kısmının, besleme suyuna geçmesine çalışılır. Isıtma buharı olarak, elde mevcut bulunması halinde, yardımcı makinelerin çürük buharlarını veya akümülatör buharını kullanmak da mümkündür [25].

Buharla ısıtılan besleme suyu ön ısıtıcıları karışım ve yüzey tipli olmak üzere başlıca iki gruba ayrılır. Birinci durumda ısıtma buharı ile besleme suyu birbirine karışır, ikinci durumda ise ısıtma buharı, içinden besleme suyu akan boruların etrafını yalar.

Ön ısıtıcıları alçak ve yüksek basınçlı olarak ayırmak da mümkündür. Alçak basınç ön ısıtıcıları, kazan besleme suyu pompasının emme devresi, yüksek basınç ön ısıtıcıları ise basınç devresi üzerinde bulunur. Karışım tipli ön ısıtıcılar, büyük bir çoğunlukla alçak basınçlıdır [25].

Bir ön ısıtıcıda, kazan besleme suyunu ancak muayyen sıcaklığa kadar ısıtmak mümkündür. Daha fazla ısıtma arzu edildiği takdirde, ön ısıtıcı adedini arttırmak yani ısıtma tesisini kademeli olarak yapmak gerekir. Genellikle su sıcaklığı 125 °C'ye, birkaç kademeli olanlarda ise 200 °C'ye kadar çıkarılır. Kritik durumun üstünde çalışan modern tesislerde bu sıcaklık sınırı genellikle aşılmaktadır.

Alçak basınçla çalışan ön ısıtıcılarda, cihazın besleme suyu pompasına nazaran daha yükseğe konması gereklidir. Çünkü sıcaklığı arttıkça, bu suyu basan pompanın emme

kabiliyeti de azalır.

Birden fazla kademeyi sahip ön ısıtıcı tesislerinde besleme suyunun kaç derece ısınacağını;

$$\Delta t = \frac{t_a - t_k}{n + 1} [^{\circ}\text{C}]$$

denklemini verir. Burada t_a , kazan basıncına tekabül eden doyma sıcaklığı, t_k kondenser yoğunlaşım suyu sıcaklığı, n de ön ısıtıcı kademe sayısıdır.

Bu duruma göre, mesela iki kademeli bir ön ısıtma tesisinde, birinci kademedeki çıkış sıcaklığı

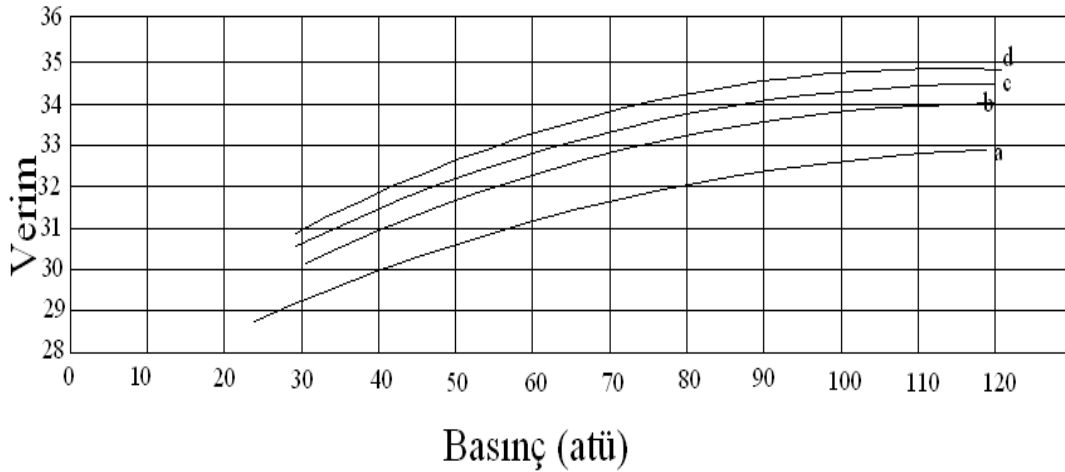
$$t_1 = t_k + \delta [^{\circ}\text{C}]$$

İkinci kademedeki çıkış, yani kazana giriş sıcaklığı ise:

$$t_2 = t_1 + \Delta t [^{\circ}\text{C}]$$

olmaktadır.

35 atü basıncına ve 450 °C sıcaklığa sahip bir tesiste, ön ısıtıcıda kademe sayısı arttıkça, besleme suyu çıkış sıcaklığının artmasıyla birlikte basıncın yükselişi ve buna bağlı olarak elde edilen verim artışı Şekil 2.24'deki diyagramda verilmiştir. Tesise tek bir kademe ilavesiyle derhal % 5 bir verim artışı elde edilmekte, basamak sayısının 5'e çıkarılmasıyla, bu artış % 8,5'i bulmaktadır [25].



Şekil 2.24 Basıncın fonksiyonu olarak verim artışı [25]

2.8.6. Buhar ve gaz türbinleri

Gaz türbinlerinin kuruluş süreleri kısa ve yatırım maliyetleri diğer sistemlere göre düşüktür. Ayrıca çok kısa sürede devreye girip çıkabilirler. Bu nedenle; özellikle son yıllarda elektrik enerjisi üretiminde ve kojenerasyon sistemlerinde gaz türbinlerinin kullanımı her geçen gün hızla artmaktadır [35].

Gaz türbinlerinin üç uygulama sahası vardır. Bunlar; sadece güç üreten açık çevrimli gaz türbin sistemleri, ısı ve gücün birlikte üretildiği kojenerasyon sistemleri ve gaz türbinleri ile buhar türbinlerinin birlikte kullanıldığı kombine çevrim sistemleri.

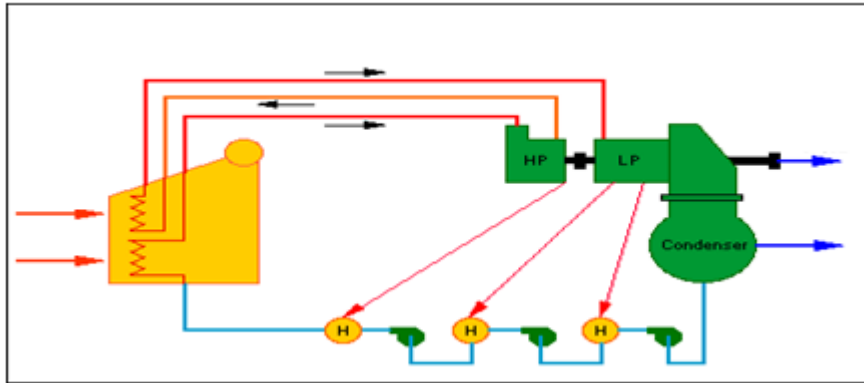
Açık çevrimli gaz türbin sistemlerinin termik verimleri oldukça düşük olmasına rağmen, hızlı devreye girebilmeleri ve yatırım maliyetlerinin diğer sistemlere göre düşük olması nedeniyle, pik yüklerin karşılanmasında tercih edilmektedir [36].

Kombine çevrim sistemleri ise, gaz türbinleri ile buhar türbinlerinin beraber kullanıldığı sistemlerdir. Dolayısıyla kombine çevrim sistemi, gaz türbini çevrimi ile buhar türbini çevriminin birleşmesinden oluşmaktadır. Gaz türbini çevrimleri, buhar çevriminden daha yüksek sıcaklıkta çalışırlar [37].

Gaz türbinlerinde yüksek sıcaklıklara çıkmak için türbin kanatlarında etkin soğutma yapılması ve kanatların seramik gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerle kaplanması gerekir. Gaz türbini çevriminde yüksek sıcaklıklara çıkılabilmemesine rağmen, gazlar türbini çok yüksek sıcaklıklarda terk ettikleri için, yüksek ısı verimlerine ulaşılamamaktadır. Bu nedenle gaz türbin sistemlerinin ısı verimleri, genellikle buhar çevrimli sistemlerin ısı veriminden düşüktür. Kombine çevrim sistemleri, gaz türbin çevrimlerinin üst sıcaklığının yüksek olması ve buhar türbinli çevrimlerin alt sıcaklıklarının düşük olması avantajını birleştirerek, gaz türbinlerini terk eden sıcak gazların, buharlı güç çevriminin ısı kaynağı olarak kullanılmasını sağlarlar. Böylece, gaz türbinli çevrimde, gazların yüksek sıcaklıkta dışarı atılmasıyla ortaya çıkan dezavantaj ortadan kaldırılmış ve % 60'lara varan çevrim verimlerine ulaşılmış olur. Kombine çevrim sistemlerinin verimi bir yandan yüksek kaliteli ekipmanlara, diğer yandan bu komponentlerin optimizasyonuna bağlıdır. Gaz türbin çevrimi, toplam kombine çevrim gücünün $2/3$ 'ünü üretir. Geri kalan $1/3$ 'ü ise, atık ısı kazanlı buhar türbini çevrimi sağlar. Dolayısıyla yüksek performans için, komponentlerin optimizasyonu oldukça önemlidir [38].

Açık çevrimli gaz türbin sisteminin performans kriterleri, net güç çıktısı ve termik verimdir. Performans değerlerine etki eden tasarım parametreleri ise çevre sıcaklığı, gaz türbin giriş sıcaklığı ve kompresör basınç oranıdır. Tasarım parametreleri, çevrim performansını en üst seviyede sağlayacak şekilde seçilmelidir. Kompresör basınç oranı ve gaz türbin giriş sıcaklığı sistemin çalışması esnasında sabit kalırken, çevre sıcaklığı değişmektedir [39].

Buhar türbinlerinde ise kazandan çıkan yaş buhar kurutulmak ve kızdırılmak üzere süper ısıtıcıya gider. Burada tamamen kuru buhar haline gelen buhar türbine bir stop valften geçerek gelir. Türbine gelen buhar ilk keys üzerinde olan nozullara gelir. Nozullarda hızı saniyede 1500 metreye kadar ulaşan buhar daha sonra rotor şafta bağlı hareketli kanatlara gelir. Bu kanatlara çarpan buhar üstündeki kinetik enerjiyi mekanik enerjiye çevirir ve rotoru çarpmanın etkisiyle çevirir. Kademeli olarak da yapılan türbinlerde amaç birim hacimde maksimum güç elde etmektir.



Şekil 2.25 Rejeneratif çevrimin şematik gösterimi [39]

2.8.7. Alternatörler

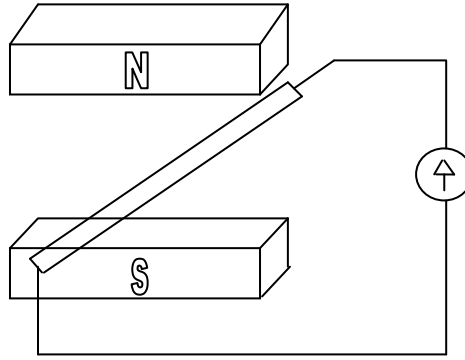
Elektrik enerjisi, uygun elektrik makineleri kullanılarak doğru veya alternatif akım şeklinde üretilir. Alternatif akım üreten makinelere, senkron, jeneratör ya da alternatör denilir.

Doğru akım jeneratörleri 750 volt'a kadar çıkan gerilimler altında 7500 kW gibi büyük güçlerde ve nadiren 2000 volt'a kadar yüksek gerilimde imal edilirler. Halbuki sanayide kullanılan alternatif akım üreteçleri 35 KV'a kadar yüksek gerilimlerde ve 400000 KVA veya daha büyük güçlerde yapılabilmektedir. Elektrik enerjisini üreten bir makinenin gücü ne kadar büyük olursa veriminin o oranda büyük olmasını, kWh başına gerekli harcamaların azalmasını ve hacminin küçülmesini sağlar. Alternatörlerin temel çalışma prensibi de diğer elektrik makinelerinkineyle aynıdır. Bu temel olarak Faraday prensibine dayanır [40].

2.8.7.1. İndüklenme

İndüklenme olayı şekil üzerinde şu şekilde açıklanabilir:

Şekil 2.26'daki sistemde bir N-S mıknatısı ve iki ucu arasında bir galvanometre bağlanmış a-b iletkenine şu hareketler yaptırılırsa;



Şekil 2.26 İndüklenme olayının şematik gösterimi

- İletkeni hızla N-S kutupları arasına soktuğumuz zaman, galvanometre ibresinin saptığı görülür.
- N-S kutupları arasında iletkeni hareket ettirmeden tutarsak galvanometre ibresi sapma yapmayacaktır.
- İletkeni N-S kutupları arasında N'den S'ye ve S'den N'ye doğru, yani kuvvet çizgilerine paralel olacak şekilde hareket ettirirsek galvanometre ibresi yine sapma yapmayacaktır.
- a-b iletkenini kutupların arasından hızla çıkartalım. Galvanometre ibresi tekrar sapma yapacaktır. Fakat bu defa sapma yönü a şikkındaki ile ters yönlü olacaktır.
- Şayet iletkeni sabit tutup N ve S mıknatısını sağa ve sola doğru hareket ettirirsek, galvanometre ibresi yine hareket edecektir.

Sonuç olarak kuvvet çizgileri tarafından kesilen bir iletkenin iki ucu arasında elektromotor kuvvet (e.m.k) doğar. İletkenin iki ucu bir direnç üzerinden birleştirilecek olursa, devreden akım geçer.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus şudur:

İletkenin hareketi kuvvet çizgilerini kesecek şekilde, yani kuvvet çizgilerine dik olduğu veya hareketin kuvvet çizgilerine dik bileşeni bulunduğu takdirde iletken üzerinde bir gerilim indüklenir. Kuvvet çizgilerine paralel hareket eden bir iletken üzerinde hiç gerilim indüklenmez. İletken, kuvvet çizgilerini bir açı altında kesiyorsa

indüklenen e.m.k'nın değerini bulmak için, hareketin dik bileşenini dikkate almak gerekir.

Yukarıda bahsi geçen bu hususlar tüm elektrik makinelerinin temelini teşkil eder [41].

2.8.7.2. İndüklenen e.m.k'nın değeri

Bir iletkende indüklenen e.m.k'nın değeri o iletkenin birim zamanda kestiği kuvvet çizgisi sayısı ile orantılıdır. İletkenin hareket ettiği alan homojen bir alan olsun.

Böyle bir alan içinde, boyu l cm olan bir iletken, saniyede v hızı ile hareket etsin. Şu halde iletken, alan içinde bir saniyede $(v.l)$ cm^2 yüzeyindeki kuvvet çizgileri tarafından kesilmiş olacaktır.

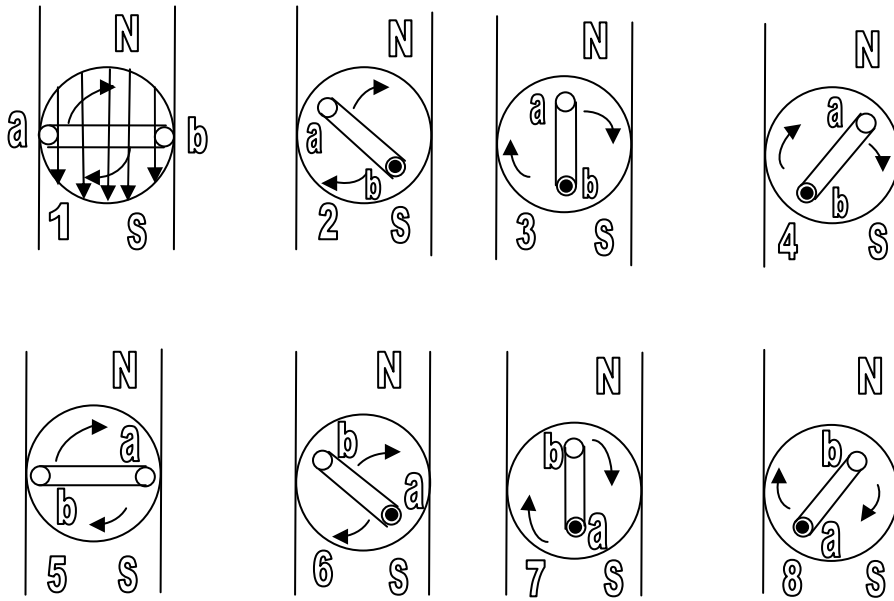
Birim yüzeydeki kuvvet çizgisi sayısını B olarak ifade ederiz. Şu halde iletkenin kestiği kuvvet çizgisi sayısı $B.v.l$ olur.

Meydana gelen e.m.k'nın değerini volt olarak bulmak için sonucu 10^8 'e bölmek gerekir. Çünkü bir iletkende 1 voltluk gerilim indüklenbilmesi için, o iletkenin saniyede 10^8 kuvvet çizgisi kesmesi gerekir. Buna göre;

$$e=B \times l \times v \times 10^{-8} \text{ volt}$$

2.8.7.3. Dönen bir bobinde indüklenen e.m.k

Eğer uçları üzerine fırçalar basan bileziklere bağlanmış ve mil üzerine yerleştirilmiş bir bobin N-S mıknatis kutupları arasında döndürülürse kangalın kenarları kuvvet çizgilerini keseceklerinden, üzerlerinde bir gerilim indüklenir. Kangalın çeşitli durumlarına göre gerilimin değişimi Şekil 2.27'de incelenmiş ve şu sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 2.27 Döner bir bobinde indüklenen e.m.k

Durum 1: Kangalın a-b kenarları bu durumda kuvvet çizgilerine paralel hareket etmektedir. Kenarlar tarafından bu anda hiçbir kuvvet çizgisi kesilmediğinden üzerlerinde bir e.m.k indüklenmez. Dolayısıyla dış devreden de hiçbir indükleme akımı geçmez.

Durum 2: a-b kenarları bu durumda kuvvet çizgilerini bir açı altında kesmektedir. Kenarlar üzerinde bir e.m.k indüklenir fakat değeri azdır. İndüklenen bu e.m.k'den dolayı dış devreden bir akım geçişi olur.

Durum 3: a-b kenarları bu durumda kuvvet çizgilerine dik hareket ettiklerinden, kestikleri kuvvet çizgisi sayısı daha fazladır. Dolayısıyla, kenarlarda indüklenen e.m.k en yüksek değerindedir. Dış devredeki akım yönü aynıdır.

Durum 4: Bu durumda a-b kenarları kuvvet çizgilerini yine bir açı altında kesmektedir. Birim zamanda kesilen kuvvet çizgisi sayısı az olduğundan, indüklenen e.m.k da azdır ve hareketin devamınca azalmaktadır. Dış devrede akım aynı yöndedir.

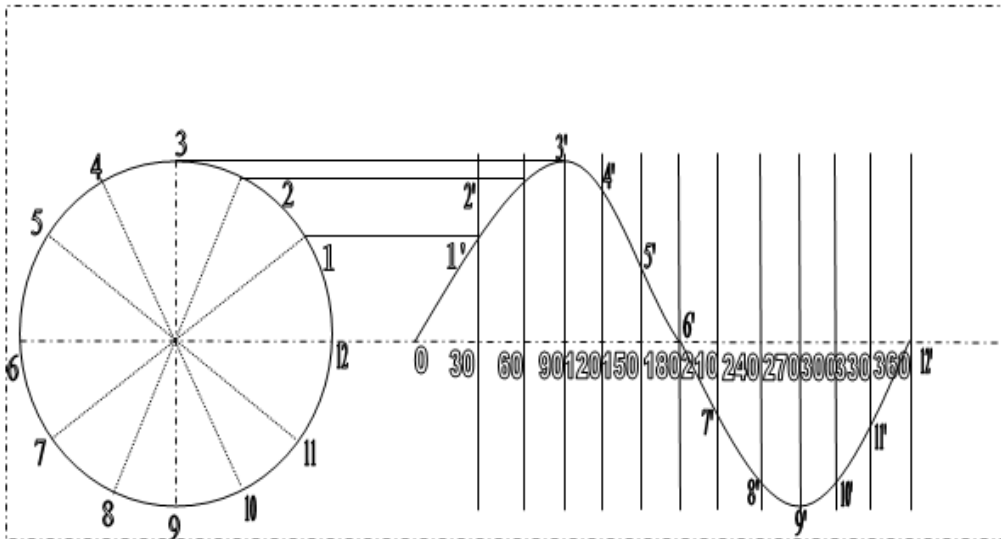
Durum 5: Durum 1'in aynısıdır; yalnız a ve b kenarları yer değiştirmiş olup üzerlerinde hiçbir e.m.k indüklenmez. Dolayısıyla dış devredeki akım sıfırdır.

Durum 6: Bu durumda iletken kenarları tekrar kuvvet çizgilerini kesmeye başlamıştır. Kenarlarda bir e.m.k indüklenir. Fakat, burada dikkat edilecek olursa, a ve b kenarlarında indüklenen e.m.k'nın yönü değişmiştir. Bu durumda akım; a kenarında çıkış, b kenarında giriş yönündedir. Dış devrede de akım yön değiştirmiş olup F2' den F1'e doğru geçmektedir.

Durum 7: Bu durum, durum 3'ün benzeridir. Durum 3'e göre fark, iletken kenarlarındaki akımın ters yönde oluşudur.

Durum 8: Bu durum da, durum 4'ün benzeri olup yine akım yönü terstir.

Böylece kangala tam bir devir yaptırılmıştır. Kangalın bir devri anında, sonsuz sayıda durum alarak ve kenarlar üzerinde indüklenen e.m.k'nın değerini saptayarak bir grafik çizilirse Şekil 2.28 elde edilir [42].



Şekil 2.28 Alternatif akım

Bu eğri, kangalın üzerinde indüklenen e.m.k'nın her an yön ve şiddetini değiştirdiğini gösterir. İndüklenen e.m.k'nın dış devreden geçireceği akım da aynı şekilde yön ve şiddetini değiştirecektir. Şu halde kangalın N-S kutupları arasındaki hareketi sonunda, üzerinde indüklenen e.m.k alternatifidir.

Şimdiye kadar bahsedilen bu hususlar doğru ve alternatif akımın oluşturulmasına yönelik olup elektrik makinelerinin temelini oluşturmaktadır [42].

2.8.7.4. Alternatörlerin Yapıları

Bir alternatör başlıca iki kısımda incelenir:

- a) Stator
- b) Rotor

Stator;

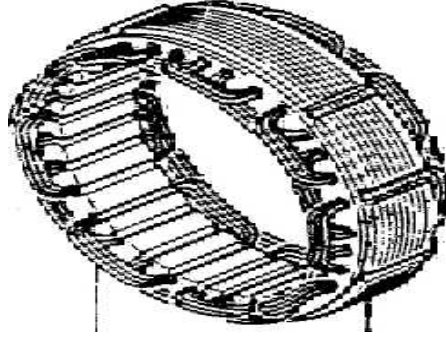
Senkron motorların statoru, aynen asenkron motorun statoru gibi yapılmıştır. Statora uygulanan sarım şekilleri de aynen asenkron motorlarda olduğu gibidir. Yalnız, alternatörlerde stator dönen kısımda olacağı gibi duran kısımda da olabilir. Fakat küçük güçlü ve gerilimli alternatörler dışındakilerde stator genellikle duran kısımdadır.

Statorun duran kısımda yapılmasının şu yararları vardır:

a) Stator sargıları, rotor sargılarından daha karmaşık olduğundan duran kısma yapılması kolaydır. Ayrıca geçen yüksek akımlar nedeni ile sargılar arasında meydana gelecek itme kuvvetlerine karşı sargıların daha iyi sıkıştırılması ve bağlanması mümkün olur.

b) Stator büyük yapılarak soğutma işi kolaylaştırılır.

c) Kutuplar dönen kısımda olduğunda iki tane bileziğe gerek vardır. Halbuki stator dönen kısımda olursa en az dört bilezik kullanmak gerekir. Ayrıca alternatif akım bileziklerinin yüksek gerilime karşı yalıtılması problemi ortaya çıkar. Bu nedenlerden dolayı stator duran kısımda kutuplar ise dönen kısımda yapılır. Şekil 2.29'da bir stator görülmektedir [41].

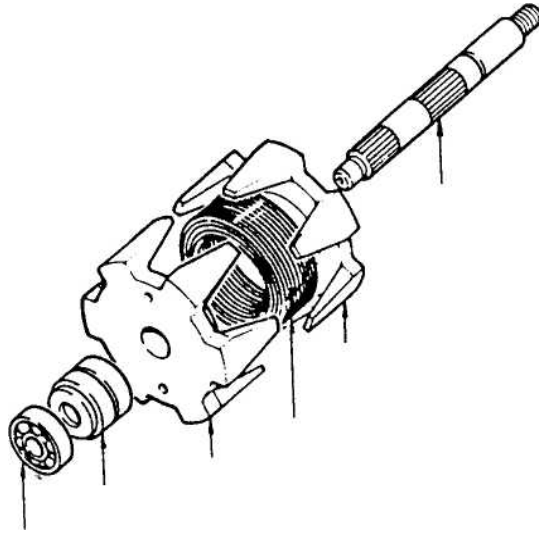


Şekil 2.29 Stator

Rotor;

Rotor, kutup çekirdekleri (manyetik kutuplar), bir manyetik alan bobini (rotor), ayar bilezikler ve bir rotor milinden meydana gelmiştir.

Manyetik alan bobini, dönme yönüyle aynı yönde sarılmıştır ve bobinin her iki ucu bir kayar bileziğe bağlanmıştır. Bobinin her iki ucuna manyetik alan bobinini kuşatacak şekilde kutup çekirdeği başlanmıştır. Manyetik alan, akımın bobin üzerinden geçmesiyle ve kutuplardan birinin N kutbu, diğerinin S kutbu olmasıyla oluşturulmaktadır. Kayar bilezikler, kömür temas yüzeyleri yüksek kalitede işlenmiş, paslanmaz çelik gibi metallere yapılır. Şekil 2.30'da rotorun şekli görülmektedir [41].



Şekil 2.30 Rotor

Senkron makinelerin kutupları başlıca 2 şekilde yapılır ve buna göre adlandırılır;

- 1) Çıkıntılı kutuplu makineler
- 2) Düz kutuplu makineler

Çıkıntılı kutuplu makineler düşük devirli dizel motoru ve su türbini ile çalışan makinelerdir. Çıkıntılı kutuplar 0.5 ile 1.25 mm kalınlığında özel dinamo saçından yapılır. Saçlar presle kesildikten sonra perçin veya civata ile tutturulur ve mil üzerine açılmış kırlangıç kuyruğu şeklindeki oluklara yerleştirilir. Büyük çaplı makinelerde kutuplar dökümden yapılmış göbek üzerine yerleştirilmiş olabilir.

Çıkıntı kutuplu makineler yüksek devirli alternatörlerde kullanılamaz. Çünkü rotor yüksek devirle dönerken, rüzgar kayıplarının çok fazla artmasına ve büyük gürültülerin oluşmasına yol açarlar. Düz kutuplu (silindirik) rotorlar ise yüksek devirli, buhar türbini ile döndürülen makinelerde kullanılır. Buhar türbini ile çalışan alternatörlere turbo alternatör denir. Turbo alternatörlerde yüksek devirdeki merkezkaç kuvvetlere dayanabilecek çıkık kutuplar yapmak çok zordur. Bunun için yüksek devirli alternatörlerde daima düz kutuplu rotor kullanılır [41].

BÖLÜM 3. OTOPRODÜKTÖRLER

Otoprodüktörler; 06.08.1985 tarih ve 85/9799 nolu Bakanlar Kurulu Kararı ile Resmi Gazete'de yayınlanan "Türkiye Elektrik Kurumu Dışındaki Kuruluşlara Elektrik Enerjisi Üretim Tesisi Kurma ve İşletme İzni Verilmesi Esaslarını Belirleyen Yönetmelik" e göre kendi faaliyet alanlarının enerji ihtiyacını karşılamak üzere üretim tesisi kuran ve elektrik enerjisi üreten tüzel kişiler, otoprodüktör grupları ise aynı amaçla elektrik üreten tüzel kişiler grubu olarak tanımlanmaktadır [43].

Otoprodüktörler 2001 yılında yayınlanan 4628 nolu Elektrik Piyasası Kanununun (EPK) tanımlar bölümünde ise Otoprodüktör; esas olarak kendi elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere elektrik üretimi ile iştigal eden tüzel kişiyi, Otoprodüktör Grubu ise "esas olarak ortaklarının elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere elektrik enerjisi üretimiyle iştigal eden tüzel kişiyi ifade eder" şeklinde yer almıştır [44].

Otoprodüktör elektrik üretim tesisleri, bir sanayi tesisi ile entegre olarak çalışan buhar, sıcak gaz gibi çıktıları prosesde kullanılan veya sanayi atıklarını, yan ürünlerini elektrik üretiminde kullanarak aynı zamanda sanayi tesisinin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayan tesislerdir. Kurulacak otoprodüktör tesisleri toplam verimi arttırmakta, konvansiyonel (birincil) yakıt kullanımında tasarruf sağlamakta ve üretildikleri yerde tüketildikleri için sistem kayıplarını azaltmakta dolayısıyla birçok bakımdan yararlı olmaktadır. Otoprodüktörler ile ilgili yönetmeliklerde aşağıda belirtilen kuruluşlar otoprodüktör santralı kurabilirler.

a) Sanayi tesislerinin yanı sıra beş bin konutu aşan uydu kent yerleşim birimleri, hastaneler, dört yıldızlı oteller ve tatil köyleri, organize sanayi bölgeleri, üniversite kampüsleri otoprodüktör santralı kurabilirler.

b) Belediyeler; çöp, çöp gazı, atıklar, biyokütle, rüzgar, güneş enerjisi ile çalışan otoprodüktör santrali kurabilirler.

c) Kültür balıkçılığı tesisleri, besicilik tesisleri, kümes hayvanları üretim çiftlikleri, tarımsal sulama tesisleri rüzgar veya güneş enerjisi ile çalışan otoprodüktör santrali kurabilirler.

d) Türk Silahlı Kuvvetleri Güçlendirme Vakfı, ortağı olduğu otoprodüktör grubunca üretilen enerjiyi Türk Silahlı Kuvvetleri teşekküllerine verebilir.

e) Otoprodüktör santralleri sanayi tesislerinin atık ısısı veya benzeri yan ürünlerden yararlanan kombine çevrimli, buhar çevrimli, hidrolik, biyokütle, atıklar, rüzgar ve güneş ile çalışan üretim tesisleri olabilirler. Kurulan otoprodüktör santralın atık ısısı var ise bunun 12 ay içinde değerlendirilmesi esastır.

f) Otoprodüktör santraller kendinin ve ortaklarının enerji ihtiyacını karşıladıktan sonra kalan fazla enerjilerini fiziki bağlantı yaptıkları kuruluşa, tüketiciye uygulanan ortalama net satış fiyatının %85'ini aşmayacak bir fiyatla satarlar.

g) Enerjisini iletim ve dağıtım hatlarını kullanarak nakleden otoprodüktörler nakil bedeli öderler. Nakil bedeli nakledilen enerji miktarı ile orantılı olup, iletim için en fazla %10.5, dağıtım içinse sabit % 6.5'tur.

Ekim 1998 yılı itibariyle özel sektöre ait 43 Otoprodüktör Santrallerinin Kurulu güçlerin toplamı 939,5 MW'a ve üretim kapasiteleri de 7052,5 GWh/yıl'a ulaşmıştır.

Sözleşmesi imzalanan ancak işletmeye geçmemiş 5 Otoprodüktör Santralının Kurulu Güç toplamı 1593,2 MW ve üretimi kapasiteleri 11524,3 GWh / yıl'dır.

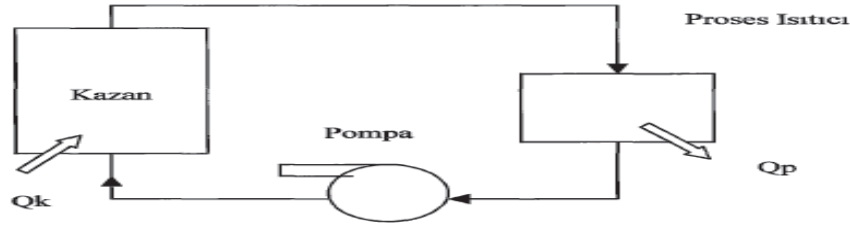
Bunların dışında ise başvurusu yapıp değerlendirmesi devam eden 54 proje daha olup bunları kurulu güç toplamı 1861,8 MW ve üretim kapasiteleri 13956,9 GWh / yıl olarak bildirilmektedir [45].

BÖLÜM 4. KOJENERASYON

Isıl işlemlerin yoğun olduğu endüstrilerde aynı zamanda büyük miktarda elektrik kullanılır. 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 sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlere kojenerasyon sistemleri adı verilir [14].

Enerjinin ısı ve güç olmak üzere iki faydalı türünü elde etmek için, ilk enerji kaynağının ardışık kullanımı olarak tanımlanabilen kojenerasyon sisteminde, elektrik enerjisi üretirken açığa çıkan egzost atık enerjisinden maksimum faydayı sağlamak esas alınır. Ayrıca kojenerasyon sistemleri, elektriksel ve mekanik gücün ve bunun yanında yararlanılabilir ısının eş zamanlı bir biçimde üretilmesi diye tanımlanabilir. Bu sistemle motor veya türbinlerde eş zamanlı olarak, elektrik ve ısı enerjileri üretilmektedir. Birincil enerji kaynağı dediğimiz doğalgaz, fuel oil, likit gaz, dizel ve biyogazın yüksek verimle enerjiye dönüştürülmesinden ötürü, sistemlerin kendi kendisini ödemesi söz konusu olmaktadır [14].

Bir kojenerasyon santralinde, buhar türbinli çevrim (Rankine), gaz türbinli çevrim (Brayton), hatta bileşik gaz buhar çevrimi kullanılabilir. Buhar türbinli bir ideal kojenerasyon santralinin genel çizimi Şekil 4.1' de gösterilmiştir [14].



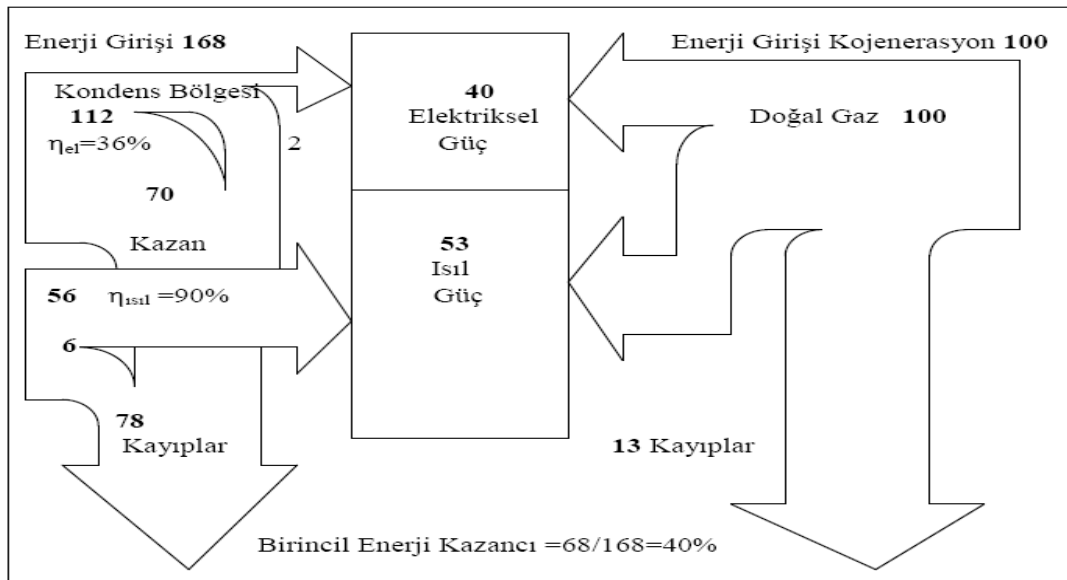
Şekil 4.1 İdeal bir kojenerasyon santrali

Ülkemizde otoprodüktör olarak kurulmuş kombine çevrim santralleri kojenerasyon üniteleri olarak tanınmaktadır. Kojenerasyon elektrik üretim tesisleri, bir sanayi tesisi ile entegre olarak çalışan, buhar, sıcak gaz gibi çürük proste kullanılan veya sanayi atıklarını, yan ürünlerini elektrik üretiminde kullanarak aynı zamanda sanayi tesisinin elektrik enerjisinin ihtiyacını karşılayan tesislerdir. Burada sanayi tesisi faaliyet göstermediği zaman elektrik üretimi de olmaz. Ancak bu tesisler toplam verimi artırmaktadır. Yani kojenerasyon tek bir santralden iki farklı enerji çeşidinin verimli olarak üretilmesidir. Bunlardan ilki, ısıl enerji (buhar, sıcak su, soğuk su gibi) ikincisi ise elektrikselsel veya mekaniktir. Bu sistem; endüstride, otellerde, toplu konutlarda, tatil köylerinde, spor tesislerinde, resmi dairelerde, bankalarda, hastanelerde kısaca elektrik ve ısı kullanımının olduğu yerlerde kullanılır.

Bu santralin elektrik veya mekanik enerjisi, fabrikanın çeşitli cihazlarının tahrikinde kullanılabilir. Elektrik enerjisi aynı zamanda şebekeye verilebilir. Sıvı veya gaz yakıtlarla çalışan dizel santrallerin yaktıkları yakıtın ortalama % 35'i elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir. Geriye kalan % 65'lik enerji motor ve egzost gazı olarak kaybolmaktadır. Elektrik santrallerinde ise bu kayıp % 70'lere varmaktadır. İşte dizel santrallerde kayıp olan % 65'lik enerjinin % 85'ini geri kazanarak faydalı hale getiren sistemlere kojenerasyon sistemi denir. Kojenerasyon santrallerin maliyetleri dizel santral (jeneratör) veya diğer santrallere oranla ortalama verimlerinin daha yüksek olması nedeniyle kendilerini 2-3 yıl gibi kısa bir sürede amorti edebilmektedirler.

Kojenerasyon santralleri ile enerji üretildiği yerde tüketildiğinden iletim kayıpları diğer santrallere oranla yok denecek kadar azdır. Yanma sonucu açığa çıkan ısı egzosttan atılmayarak ısı enerjisi olarak geri kazanılır. Bu da enerjinin verimini büyük ölçüde artırır [46].

Aşağıdaki şekilde konvansiyonel ve kojenerasyon sistemleri ile enerji üretimi bir Sankey diyagramı üzerinde karşılaştırılmıştır. Görüleceği üzere; 40 birim elektriksel, 50 birim ısıl güce ihtiyacı olan bir tesisin bu ihtiyaçlarını karşılamak için; konvansiyonel sistemde 168 birim enerji gerekirken, kojenerasyon sistemi ile 100 birim enerji yeterli olmaktadır.



Şekil 4.2 Bir santralin motor kısmı

Şekil 4.2’de görülen sistemler tek başına elektrik enerjisi üretebilecek durumdadırlar. Bu sistemleri kojenerasyon sistemi haline getirebilmek için egzost ile dışarı atılan ısının kullanılabilir ısı haline dönüştürülmesi gerekmektedir. Egzost gazı olan bu ısı gaz türbinlerinde sistemin ihtiyacına göre buhar, sıcak su ve kızgın su elde etmek için kullanılmaktadır.

Motor prensibinde; termik yanmalı bir motor vasıtasıyla jeneratör çalıştırılarak elektrik enerjisi üretilirken aynı anda motor egzost gazı ısı, radyatör ısı, motor yağı ve hava ısı eşanjörlerden geçirilerek ısı enerjisi geri kazanılır.

Türbin prensibinde ise gaz türbini vasıtasıyla jeneratör çalıştırılarak elektrik enerjisi üretilir, aynı anda egzost gazından atık ısı kazanı vasıtasıyla ısı enerjisi geri kazanılır. Her iki durumda da açığa çıkan ısı kaynakları aşağıda belirtilen proseslerde doğrudan kullanılır.

- a) Odun veya diğer yapı malzemelerinin kurutulması,
- b) Metallerin yeniden ısıtılması,
- c) Su, hava veya diğer ısı transferi gereken ortamların (yağ gibi) ısıtılması,
- d) Atık ısı kazanlarında buharın üretilmesi [46].

4.1. Kojenerasyonun Gerekliliği

Bugünkü pahalı enerji ve önümüzdeki yıllar içerisinde beklenen kısıtlı enerji sorununun köklü çözümü için yeni termik, hidrolik ve nükleer santrallerin tesisi söz konusudur. Verim olarak en yüksek değere sahip olan kojenerasyon santrallerinin sanayide yaygınlaştırılması ulusal enerji üretim kapasitesine kayda değer katkıda bulunacaktır. Ülkemizde ithal edilen doğalgazın her geçen gün büyüyen boru hattı iletim şebekesi vasıtasıyla çeşitli bölgelere ulaşması, kojenerasyon santrallerinin teknik olarak uygulanabilirliğini kolaylaştırmaktadır. BOTAŞ tarafından sunulan bir rapora göre 25 yıllık bir perspektif içerisinde, ithal edilecek olan yıllık 7-8 milyar m³ doğalgazın % 41'i elektrik santrallerinde, % 29'u sanayi kuruluşlarında, geri kalanının ise konut ve ticari amaçlı kullanılması hedeflenmektedir [47].

4.2. Kojenerasyonun Faydaları

Kojenerasyon üretimi tesisi kurulmasının amacı; ısı ve elektrik enerjisi talebinin bir bütün olarak tek bir merkezden karşılanması isteğidir. Bununla birlikte, elektrik enerjisi talebinin artması halinde dışarıdan elektrik satın alınabilmesi ve tesis tarafından üretilen elektriğin talepten fazla olması durumunda da dışarıya elektrik satılabilmesi için sistem, konvansiyonel elektrik şebekesi ile uyumlu olmalıdır.

4.2.1. Endüstriyel faydaları

- a) Enerji maliyetlerini düşürür,
- b) Daha az tesis masrafiyla, daha güvenilir enerji elde edilir,
- c) Üretilen elektriğin kalitesini iyileştirir ve aynı zamanda üretilen elektrikteki istenmeyen voltaj dalgalanmalarını yok ederek daha sağlıklı bir kullanım sağlar.

4.2.2. Milli ekonomiye faydaları

- a) Sanayi ve ticari kuruluşlarda, bileşik ısı-güç üretimi uygulamaları sayesinde dışarıdan alınacak elektrik ihtiyacı azalır,
- b) Kojenerasyon üretimi uygulamalarıyla, harcanan birincil enerji miktarında önemli bir düşüş sağlanır,
- c) Yeni bir tesis yerine, ilave bir güç ünitesi ile genel enerji yatırımlarında bir düşüş sağlanır,
- d) Enerji lokal olarak üretildiği için dağıtım faaliyetleri ile iletim hatlarındaki kayıplar düşer [48].

Yüksek enerji çevrim verimi sağlar. Senede 2 milyon ton fuel-oil eşdeğeri yakıt tasarrufu sağlayarak piyasa şartlarında 360 milyon \$ tasarruf yapmaktadır. Çevre dostudur. 2000 MW Türbinli, 1500 MW Motorlu kojenerasyon sistemi ile ülkemizde bu güçte elektrik üretimi yapacak kömürlü santraller ile karşılaştırsak; 1900 TE CO₂ (% 50) sera etkisi yaratacak emisyon tasarrufu sağlanmış olur. Sadece doğalgaza dayalı değil, diğer yakıtları da kullanarak, katma değer yaratmaktadır. Tüketim bölgelerinin yanına kurulduklarından, iletim ve dağıtım hat kayıplarının olmaması özelliği ile senede 2,800,000 MWh elektrik enerjisi tasarruf edilmekte olup, yıllık maddi değeri 196 milyon \$ olmaktadır.

Ucuz ve kaliteli üretimi sağlar. Kojenerasyon sistemleri, şebeke fiyatının yarışma enerjilerini üretme imkanı sağladıkları için yatırımcılarına dünya piyasalarında daha fazla rekabet imkanı vermektedir.

Avantajlarının yanı sıra;

- a) Tüm dünyada her yıl şebeke santrallerinde üretilen elektrik enerjisinin iletim ve dağıtım hatlarında oluşan kayıplardan dolayı; Almanya, İngiltere, Fransa ve İspanya'nın toplam enerji ihtiyaçlarına denk bir kısmı kaybedilmektedir.
- b) Dünya'daki termik güç santrallerinin verimlilik ortalaması % 34'dür ve son kırk yıldır bu değer yükselmemektedir.
- c) Tüm dünyada düşük verim ve kayıplardan dolayı her yıl 400 milyar \$ enerji sektöründe kaybedilmektedir.

Bu sebeplerden dolayı, Hollanda, Danimarka ve Finlandiya gibi ülkelerde toplam enerji üretiminin % 30'una kadar çıkan kojenerasyon sistemleri Kyoto anlaşmasına taraf olmuş Avrupa Birliği içerisinde daha da önem verilerek kojenerasyonun payının hızla artırılması kararı alınmıştır. Ayrıca Amerika'da kojenerasyon sistemlerinin gelişmesi için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir [48].

4.3. Kojenerasyon Uygulamalarının Yaygınlaştırılması

Yatırım maliyetlerinin yüksek olması, projenin yaygınlaşmasını engelleyen en büyük faktördür. Gaz türbini ve jeneratör dışındaki ekipman ve hizmetlerin iç pazarda sağlanması durumunda, bir kojenerasyon santralının birim güç başına yatırım maliyeti, tesisin elektrik üretim gücüne bağlı olarak 600 ila 1000 \$/kW arasında değişmektedir. Bu yatırım maliyetleri, tesisin tamamen yurt dışından temin edilmesi durumunda %10-14 arasında bir artış göstermektedir. Bu maliyet rakamları gösteriyor ki, bu projeye ait yatırımların özel bir şekilde teşvik edilmesi gerekmektedir.

Teşvik sağlandığı takdirde devlet, sanayi sektörünün artan enerji talebini karşılamak üzere kuracağı santrallerin finansmanını sağlayarak, yatırım yükünün tamamını üzerine almak zorunda kalacaktır. Oysaki düşük faizli fon kaynaklı krediler ile bu projelerin desteklenmesi, yükün özel sektör ile devlet arasında paylaşılmasını sağlayarak kojenerasyon santrallerinin kurulmasını kolaylaştıracaktır.

Bu arada özel sektör, Türkiye'nin enerji sorununun çözümünde üzerine düşen sorumluluğa sahip çıkarak, kendi tesislerinin enerji ihtiyacını karşılamak üzere, kojenerasyon santrallerinin yatırımına giderek, devletin üzerinde olan yükü kısmen üstlenmelidir [47].

BÖLÜM 5. PROJELENDİRME

Bu bölümde 2. OSB Hendek / Sakarya'da faaliyet gösteren ÇAMSAN fabrikasının bir kojenerasyon tesisine dönüştürülmesi tasarlanmış ve bunun için gerekli sistem elemanları seçilmiştir.

5.1. ÇAMSAN Hakkında

ÇAMSAN Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş. Ordu ilinde kurulu fabrikasıyla 1984 yılında faaliyete geçen ve Türkiye'de ilk kez MDF üretimi gerçekleştiren firmadır.

Ordu ilindeki iki ayrı MDF fabrikasında halihazırda yıllık 200.000 m³'lük üretim kapasitesiyle mobilya sektörüne yönelik ham MDF (orta yoğunlukta lif levha), MDFLAM (melamine kaplanmış MDF) ve iç dekorasyona yönelik PARKELAM tescilli markasıyla laminat parke (yüksek yoğunluklu lif levhadan imal) üretimi gerçekleştirmektedir.

Sakarya / Hendek' de kurulan ve bu çalışmada kojenerasyon tesisine dönüştürülen 3. MDF fabrikası ise Ağustos 2005 tarihinde 175.000 m³ / yıl üretim kapasitesi ile imalata başlamış bulunmaktadır. Yeni kurulan tesis ile üretim kapasitesi 375.000 m³ / yıl olan şirketin aynı tesisler içerisinde devreye giren melamine kaplama presisi ile yeni laminat parke tesisi de bulunmaktadır.

Sakarya MDF fabrikası 40000 m² kapalı olmak üzere, toplam 170000 m² üzerinde kurulu MDF üretim tesisi, lamine (kaplama) tesisi, laminat parke tesisi ve kimya tesisinden oluşmaktadır.

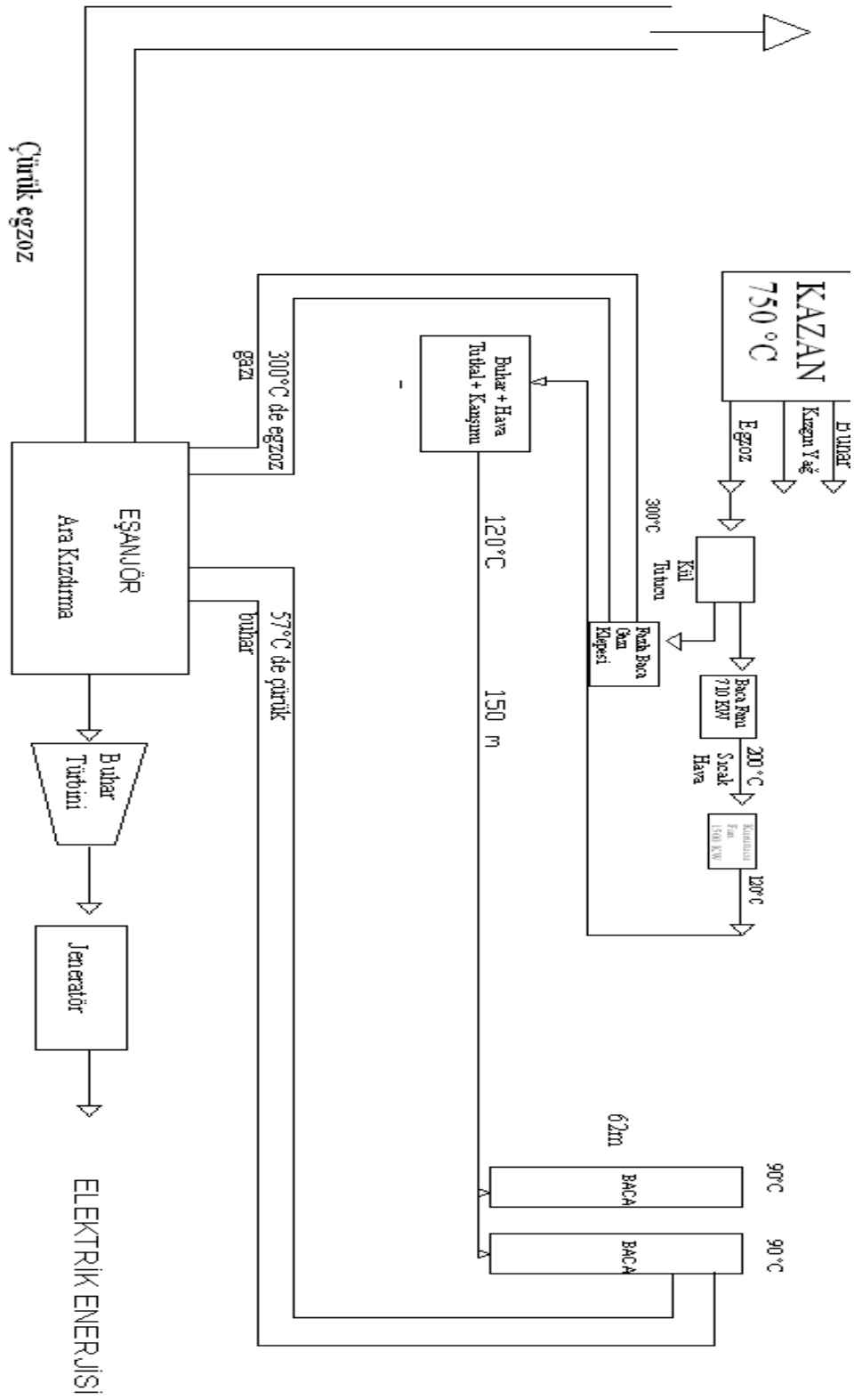
Ordu MDF fabrikası ise 42000 m² kapalı olmak üzere, toplam 152000 m² üzerinde kurulu 2 adet MDF üretim tesisi, 2 adet lamine (kaplama) tesisi, laminat parke tesisi

ve kağıt emperyene tesisinden oluşmaktadır. Ayrıca Ordu'daki bu fabrikada kojenerasyon ünitesi de bulunmaktadır.

5.2. Projenin Tasarlanması

ÇAMSAN Sakarya Tesisi'nde yakıt olarak odun kullanılmaktadır. Odunlar büyük bir presde ezilerek küçük parçacıklar haline dönüştürülmekte ve yakılmaktadır. Kazanda 750 °C'ye ulaşan sıcaklıktan faydalanarak kızgın buhar ve kızgın yağ elde edilmektedir. Atık baca gazı ise multi siklona gelmekte bir kısmı buradan baca fanına geçmekte, diğer bir kısmı ise kül tutucudan geçerek fazla baca gazı klepesiyle dışarı atılmaktadır. Baca fanına gelen gaz, dışarıdan alınan soğuk havayla da belli bir oranda karıştırılarak 200 °C sıcaklığında sıcak hava elde edilmektedir. Bu sıcak hava tutkal, buhar ve lif karışımındaki buharı bu karışımdan ısıtma yoluyla ayırmak için kullanılacaktır. Daha sonra buradan çıkan 120 °C'lik buhar, hava, tutkal ve lif karışımı 150 m yatay ve 62 m dikey mesafeyi kateder. Bu esnada buhar bacadan dışarıya atılır, tutkal ve lif karışımı ise aşağıda kalır ve haznede toplanır. Sistemde 2 adet baca bulunup, çapları 2.5 metredir. Sistemden atılan su buharı ise 90 °C'de olup fanlar vasıtasıyla ivme kazandırılmaktadır.

Bu bilgilerden hareketle ÇAMSAN'dan elektrik enerjisi elde edilmesi için tasarlanan sistemin şematik gösterimi Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Sistemin şematik gösterimi

5.3. Termik Reaksiyonlar ve Enerji Eldesi

ÇAMSAN' da yakıt olarak odun kullanılmaktadır. Odun temelde 3 maddeden oluşur. Bunlar; selüloz (% 60), hamiselüloz (% 20) ve lignin (%20)'dir.

Yanmada etkili olan, yani esas yanıcı madde selülozdur ve toplamda odun içerisindeki selüloz oranı % 80'dir.

Buna göre yanma denklemi selüloz üzerinden düşünülebilir.



Oksijen ve selülozun yanma reaksiyonuna girme koşulları normal koşullardır. Yani; P= 1atm ve T= 25 °C'dir.

Yanma denklemi için gerekli değerler şu şekilde elde edilir ve hesaplanan değerler Tablo 5.1'de verilmiştir.

Yanma sonrasında atmosfere atılan ve bizim kullanacağımız gaz 300 °C'de olacaktır. Dolayısıyla gazların entalpi değerleri hesaplanarak faydalı enerji tespit edilmiştir. Buna göre;

Burada;

h = Elde edilmek istenen entalpi değeri (kJ / kg)

h_f = Maddenin oluşum entalpisi (kJ / kg)

h = Maddenin bulunduğu sıcaklıktaki entalpi (kJ / kg)

h^0 = Maddenin N.Ş.A'daki entalpi değeri (kJ / kg)

N.Ş.A= Normal şartlar altında [14]

Bulunan bu enerji sisteme aktarılacaktır. 300 °C'deki egzost gazının sıcaklığı 100 °C'ye düşürülecek ve bu aradaki enerji farkı su buharını ısıtacak, su buharının basınç ve sıcaklığının artmasını sağlayacaktır.

Burada;

$O_{2(giren)} = 1$ atm basınç ve 25 °C sıcaklıkta sisteme yakıcı olarak giren oksijeni

$C_6H_{10}O_5(k) = 1$ atm basınç ve 25 °C sıcaklıkta sisteme katı olarak yanmak üzere giren selülozu

$CO_{2(çıkan)} =$ Sistemden 300 °C'de çıkan karbondioksit gazını

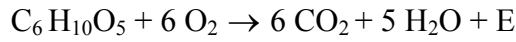
$H_2O_{(çıkan)} =$ Sistemden 300 °C'de çıkan su buharını gösterir.

Tablo 5.1. 300 °C için hesaplanan değerler [14]

Gaz Türü	SICAKLIK		
	298 K	573 K	1000 K
O_2 (M=32 kg / kmol)	8682 kJ / kmol	17577.1 kJ / kmol	31389 kJ / kmol
CO_2 (M=44 kg / kmol)	9364 kJ / kmol	22450 kJ / kmol	42769 kJ / kmol
H_2O (M=18 kg / kmol)	9904 kJ / kmol	20080 kJ / kmol	35882 kJ / kmol

Bu tepkime sonucu ayrıışan ve havaya 573 K'de atılan CO_2 ve H_2O karışımı su buharını ısıtacak ve dolayısıyla alçak basınç türbinini çevirmek için gerekli enerjiyi üretecektir.

Aslında ÇAMSAN'da odunun kütle oranları ve yakılma koşullarıyla ilgili olarak kazanda elde edilen sıcaklık çok daha yüksektir ve takriben 750 °C civarındadır. Ancak bu enerji fabrikada kullanıldığından projede ilgilenilen kısım sadece 300 °C'de sistemden atılan gazdı. Dolayısıyla da yanma reaksiyonunun çıkış değerleri 300 °C de gibi düşünülmüştür.



$$h = (h_f^\circ + h - h^\circ)$$

$$O_2(\text{giren}) = (0 + 8682 - 8682) = 0$$

$$C_6H_{10}O_5(k) = -831490 \text{ kJ / kmol}$$

$$CO_2(\text{çıkan}) = (-393520 + 22450 - 9364) = -380434 \text{ kJ / kmol}$$

$$H_2O(\text{çıkan}) = (-241820 + 20080 - 9904) = -231644 \text{ kJ / kmol}$$

$$-831490 + 0 \rightarrow 6(-380434) + 5(-231644) + E$$

$$831490 = -3440824 + E$$

$$E = 2609334 \text{ kJ / kmol enerji açığa çıkmaktadır.}$$

Bu atık gaz ısı değiştiricisinin içinden geeeğine ve ısı değiştiricisindeki bulunan plaka alanı sabit kesitli olduğuna göre basınç düşümü de sıcaklık düşüşüyle orantılı olacaktır. Ancak burada önemli olan, ısıtılan atık buharın göstereceği değişimdir. Çünkü türbinin kanatlarını, buharın basıncı dndreceklerdir.

$$Q_{\text{verilen}} = Q_{\text{alınan}} \quad \text{yani;}$$

$$Q_{(\text{Gazın verdiği ısı})} = Q_{(\text{Buharın aldığı ısı})}$$

$$Q_{\text{gaz}(300^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C})} = Q_{\text{buhar}(T - 57^\circ\text{C})}$$

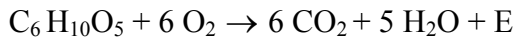
$$Q = \dot{m} \cdot c \cdot T$$

c değeri bu atık gaz için bilinemez. Ancak selülozun yanma reaksiyonuna giriş koşulları sabit kalmak kaidesiyle sadece çıkış koşulları değiştirilerek ve açığa çıkan enerji alınarak hesap edilebilir.

Bu amaçla yanma reaksiyonunun çıkış sıcaklıkları 100°C olacak şekilde tekrar hesap edilmiş ve Tablo 5.2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2 100 °C için hesaplanan Değerler [14]

Gaz Türü	SICAKLIK		
	298 K	373 K	1000 K
O ₂	8682 kJ / kmol	11108 kJ / kmol	31389 kJ / kmol
CO ₂	9364 kJ / kmol	12933 kJ / kmol	42769 kJ / kmol
H ₂ O	9904 kJ / kmol	12680 kJ / kmol	35882 kJ / kmol



$$C_6H_{10}O_{5(k)} = - 831490 \text{ kJ / kmol}$$

$$h = (h f^\circ + h - h^\circ)$$

$$O_{2(g)} = (0 + 8682 - 8682) = 0 \text{ kJ / kmol}$$

$$CO_{2(g)} = (- 393520 + 12933 - 9364) = - 389951 \text{ kJ / kmol}$$

$$H_2O_{(g)} = (- 241820 + 12680 - 9904) = - 239044 \text{ kJ / kmol}$$

$$- 831490 + 0 = 6 (- 389951) + 5 (- 239044)$$

$$- 831490 = - 3534926 + E$$

$$E = 2703436 \text{ kJ / kmol}$$

Açığa çıkan enerji farkları;

$$E_2 - E_1 = 2703436 - 2609334$$

$$= 94102 \text{ kJ / kmol} \quad \text{ faydalanılabilecek enerji açığa çıkmaktadır.}$$

Karışım hem CO₂, hem de H₂O_(g) içerdiğinden dolayı gazın 1 kmol miktarının belirlenmesi gereklidir.

$$1 \text{ kmol CO}_2 = 44 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kmol H}_2\text{O} = 18 \text{ kg}$$

$$\text{Karışım için } 6 \text{ CO}_2 = 264 \text{ kg}$$

$$5 \text{ H}_2\text{O} = 90 \text{ kg}$$

Karışım homojen olacağından 1 kmol karışım için $\frac{264+90}{11} = m = 32,1 \text{ kg}$

$$\dot{m}_{\text{gaz}} = 5000 \text{ kg / h}$$

Dolayısıyla saatte faydalanılabilecek ısı miktarı

$$\begin{array}{r} 32,1 \text{ kg} \\ 5000 \text{ kg} \end{array} \quad \begin{array}{r} 94102 \text{ kJ} \\ \times \end{array}$$

$Q = 14657632,4 \text{ kJ / h}$ faydalanılabilecek enerji bulunmaktadır.

Projelendirme yapılırken Durum 1 ve Durum 2 iki olarak adlandırılan iki durum üstünde düşünülmüştür:

Durum 1: Atık ısı kazanında su buharının ve egzost gazının birlikte bekletilerek ısı geçişinin sağlanması durumudur.

Durum 2: Sistemin sürekli olarak çalıştığı, beklemenin olmadığı ve atık egzost gazının buharla birlikte bir ısı değiştiricisinden geçmesi ve böylece ısı geçişinin sağlanması durumudur.

5.4. Durum 1 için Eleman Seçimlerinin Yapılması

a) Atık baca gazı borusu;

Atık baca gazı borusu erişilen maksimum sıcaklığın her 2 durum içinde aynı olmasından dolayı diğer bir deyişle aynı koşullardaki egzost gazından faydalanılacak olmasından dolayı her iki durum içinde aynıdır.

Şekil 5.1'de gösterildiği üzere sistemde kullanılan gaz görevini yerine getirdikten sonra kül tutucudan geçer ve $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ve 5000 kg/h debide atmosfere atılır. Atılan bu gaz ısı değiştiricisine sıcaklık ve basınca dayanıklı borular ile taşınacaktır.

Boru seçimini belirleyen parametreler;

- a) Sıcaklık ve sıcaklığın oluşturduğu termal gerilmelere dayanım,
- b) Boru, yüksek basınca maruz kalacağından dayanımı yüksek olmalıdır.

Konuyla ilgili maliyet analizine yardımcı olması bakımından 88.9 mm çaplı ve 3.6 mm et kalınlığına sahip St 52 malzemedен yapılmış borunun fiyat teklifi alınmıştır. Borunun bu çapta seçiminin nedeni ise durum 2 için seçilen lehim plakalı ısı değiştiricisinin boru giriş çapı olarak maksimum 100 mm'yi desteklemesidir. Durum 1'de de aynı boru çapını kullanmak yeterlidir.

- b) Atık su buharı borusu;

Şekil 5.1'de gösterildiği üzere 750 °C'de kazandan çıkan su buharı sistem içi görevini yerine getirdikten sonra 69 kPa basınç ve 90 °C'de, 7000 kg/h debide atmosfere atılmaktadır. Atılan su buharı ısı değiştiricisine gelmekte ve kızdırılarak yeniden faydalanılmak üzere buhar türbinine gönderilmektedir.

Atık buhar borusunun seçimini belirleyen parametreler;

- a) Sıcaklık ve sıcaklığın oluşturduğu termal gerilmelere dayanım,
- b) Boru, yüksek basınca maruz kalacağından dayanımı yüksek olmalıdır,
- c) Korozyona karşı dayanıklı olmalıdır.

Konuyla ilgili maliyet analizine yardımcı olması bakımından fiyat teklifi alınmış olup baca gazı borusununkiyle aynıdır. Yalnız bu borunun korozyona karşı dayanımının artırılması gereklidir. Bunun için de boru galvanizle kaplanabilir.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^2 \text{ kPa}$$

$$T = 90 \text{ °C} = 273 + 90 = 363 \text{ K}$$

69 kPa ve 363 K'deki su buharının entalpisini bulmak için termodinamiksel tablodan faydalanılır.

Tablo 5.3 69 kPa ve 90 °C'deki suyun entalpisinin tespiti [14]

SICAKLIK °C	DOYMA BASINCI (kPa)	ENTALPİ (kJ / kg)
90 °C	70.14 kPa	2660.1
85 °C	57.33 kPa	2651.9
80 °C	47.39 kPa	2643.7

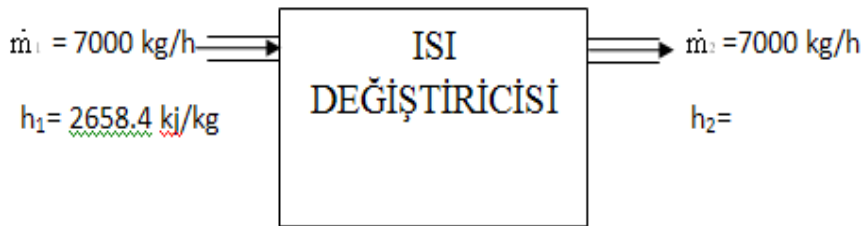
Tablo 5.3 referans alınarak enterpolasyon yapıldığında istenen koşuldaki entalpi değeri ;

$h = 2658.4 \text{ kJ / kg}$ olarak bulunur.

c) Atık ısı kazanı seçimi

Atık ısı kazanı seçimini belirlerken;

Sistemde elde edilebilecek maksimum ısı geçişi $14657632,4 \text{ kJ / h}$ olarak hesap edilmiş olduğundan, kazanın bu ısı geçişine ve su buharı debisine yetecek özelliklerde olmasına dikkat edilmiştir. Sistemin şematik çizimi Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2 Su buharının ısı değiştiricisine giriş ve çıkış koşulları

$h_1 = 90 \text{ °C}$ 'de 69 kPa'da kızgın su buharı için

$h_1 =$ enterpolasyon ile önceden hesaplanmıştı.

$h_1 = 2658.4 \text{ kJ / kg}$

$h_2 = ?$

$$m = 7000 \text{ kg / h}$$

$$14657632,4 = 7000 (h_2 - 2658.4)$$

$$h_2 = 4752.3 \text{ kJ / kg}$$

Çıkış basıncı 4.5 MPa olarak kabul edilerek;

$h_2 = 4752.3 \text{ kJ / kg}$ için enterpolasyonla tablodan;

$T_2 = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak bulunur.

Tablo 5.4 4.5 MPa basınçta kızgın su buharının entalpi değerleri [14]

Basınç (MPa)	Sıcaklık (K)	Entalpi (kJ / kg)
4.5	1000	4627.2
4.5	1050	4753.2
4.5	1100	4879.3

Isı geçişinin atık bir ısı kazanında her iki akışkanın da yeterince bekletilerek olması durumunda ne kadar büyük seviyelere ulaştığı ve çıkış sıcaklığının ne kadar önemli ölçüde arttığı ortadadır. Bu enerji türbindeki mili döndürmek için kullanılır ve aradaki sürtünme kayıpları ihmal edilirse, bu mil bağlı bulunduğu alternatörü döndürerek elektrik enerjisi üretir.

Sistem tasarımı bu haliyle matematiksel olarak tamamlanmış görülse de şu anki mevcut koşullarda önemli bir problemle karşılaşmaktadır. Günümüz koşullarında kanatçıkları 1050 °C'ye dayanan türbin imal edilmemekte diğer bir deyişle imal edilememektedir. Malzeme teknolojisindeki gelişmeler ve aerodinamikte birlikte ilerleyen zamanlarda üretilmesi beklenmektedir.

h_2 değeri seçilecek olan türbin ile uyumlu olmalıdır. Çünkü daha öncede belirtildiği gibi sistem kurulurken sisteme göre türbin seçimi değil, türbine göre sistem seçimi yapılmalıdır. Elbetteki bu 2 değişken birbirleriyle uyumlu olacak şekilde en doğru seçim yapılmalıdır.

Şu haliyle maksimum sıcaklık olarak 480 °C seçilmiştir. Basınç olarak ise 4.5 MPa değeri seçilmiştir.

$h_2 =$ Isı değıştiricisi çıkışı

$h_2 = 3393.8$ kJ / kg

Tablo 5.5 4.5 MPa basınçta kızgın su buharının entalpi değeri [14]

Basınç (MPa)	Sıcaklık (°C)	Entalpi (kJ / kg)
4.5	450	3323.3
4.5	480	3393.8
4.5	500	3439.6

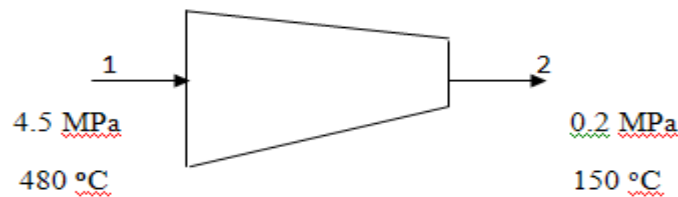
d) Buhar türbini + alternatör seçimi;

Buhar türbini seçilirken, seçilen türbinin sistem özellikleriyle yani sistemden alınabilecek su buharının basınç ve sıcaklığıyla uyumlu olması ön planda tutulmuştur. Bunun yanı sıra seçilen buhar türbini kendi bünyesinde bir alternatör de barındırdığından ilave bir alternatör seçimine gerek kalmadan enerji üretimi sağlanabilecektir.

Buharın türbine giriş entalpisi Tablo 5.5'den 3393.8 kJ/kg olarak belirlenir.

Tablo 5.6 0.2 Mpa basınçta 150 °C'de su buharının entalpi değeri [14]

Basınç (MPa)	Sıcaklık (°C)	Entalpi (kJ / kg)
0.2	150	2768.8
0.2	200	2870.5
0.2	250	2971.0



Şekil 5.3 Su buharının türbine giriş ve çıkış koşulları

Çıkış basıncı ve sıcaklığı belirlenen türbinin modeliyle uyumlu olarak 0.2 Mpa ve 150 ° C olarak belirlenmiştir. Sistemin şematik gösterimi Şekil 5.3’de verilmiştir.

$$T = 150^{\circ}C \quad h_2 = 2768.8.5 \text{ kJ / kg}$$

$$Q - W = \Delta H \quad Q - W = 7000 (2768.5 - 3393.8)$$

$$W = 4412100 \text{ kJ / h}$$

$$W = 1226 \text{ kJ / s} = 1226 \text{ kW}$$

$$W = 1.25 \text{ MW}$$

Böylece faydalanılabilecek güç dolayısıyla üretilecek enerji hesaplanmış durumdadır.

e) Soğutma sistemi;

Soğutma sistemi; kondenser ve su soğutma kulesinden oluşacaktır. Burada su soğutma kulesi daha önceden de açıklandığı gibi kondenserin su soğutmalı bir kondenser olarak seçilmesinden kaynaklanmaktadır.

Kondenser seçim parametreleri:

a) Bölüm 2.8.4’de açıklandığı gibi kondenser su soğutmalı olmalıdır. Su soğutmalı kondenserlerin verimleri ve kapasiteleri hava soğutmalı kondenserlerden daha yüksektir,

b) Kondenser yeterli soğutma kapasitesine sahip olmalıdır.

Soğutma yükü:

$$Q = m \times (h_2 - h_1) + (h_1 - h_3) + (h_3 - h_4)$$

$$h_2 = 2768.5 \text{ kJ / kg}$$

$$h_1 = 2676.1 \text{ kJ / kg}$$

$$h_3 = 419.04 \text{ kJ / kg}$$

$$h_4 = 104.84 \text{ kJ / kg}$$

Burada;

h_2 = Türbinden çıkan çürük su buharının entalpi değeri,
 h_1 = 1 atm basınçta su buharının yoğuşma noktasındaki entalpisi,
 h_3 = 1 atm basınçta suyun buharlaşma noktasındaki entalpisi,
 h_4 = 1 atm basınçta 25 °C 'deki suyun entalpisini temsil eder.

$$Q = 7000 \times (2768.5 - 2676.1) + 7000 \times 2257 + 7000 \times 314.1$$

$$Q = 5179 \text{ kW}$$

Burada denklem 2 bölüme ayrılabilir. Bunlardan ilki kondenserde meydana gelirken, ikincisi soğutma kulesinde meydana gelir.

$$a) Q = m \times (h_2 - h_1) + (h_1 - h_3)$$

$$b) Q = m(h_1 - h_3)$$

Böylece kondenserde yoğuşmanın meydana gelebilmesi için gereken soğutma yükü 4568 kW olarak bulunmuştur.

Kondenserdeki soğutma suyunun eski sıcaklığına gelebilmesi için gereken soğutma yükü ise 610 kW olarak bulunmuştur.

5.5. Durum 2 İçin Eleman Seçimlerinin Yapılması

Bu durumda akış daimi olarak kabul edilmiştir. Yani bir önceki durumda olduğu gibi su buharı bir kazanın içinde sabit kalmıyor, bekletilmiyor ve direkt olarak plakalı ısı eşanjöründen geçirilerek, egzost gazıyla ısı alışverişinde bulunarak sistemi terk ettiği düşünülmüştür.

a) Atık baca gazı borusu;

Sistemlerin tasarımı Durum 1 ve Durum 2 olarak değişiklik gösterse de ilk

kullanılacak enerji kaynağı yani atık baca gazı sisteme giriş haliyle herhangi bir değişiklik teşkil etmemektedir. Dolayısıyla bu boruda bir değişiklik olmayacak ve durum 1'deki atık baca gazı borusu seçimi durum 2 içinde geçerli olacaktır.

b) Atık su buharı borusu;

Atık su buharı da her 2 durum için başlangıçta aynı olacağından atık su buharı borusu da durum 1 ve durum 2 için herhangi bir değişiklik göstermeyecektir.

c) Isı değiştiricisi seçimi;

Sistem için ısı değiştiricisi seçilirken göz önünde bulundurulacak parametreler;

- a) Isı değiştiricisinin verimi yüksek olmalı (lehim plakalı tip olmalı),
- b) Sistem için seçilen akışkan taşıyıcı borularla uyumlu olmalı, sistemden geçen akışkan debisini karşılayabilmeli, sistemde oluşabilecek maksimum sıcaklık ve maksimum basınca dayanıklı olmalıdır,
- c) Kullanılacak sisteme göre ısı değiştiricisinin seçimi önemli olduğu kadar, kullanılan ısı değiştiricisine göre sistemin tasarlanmasına da dikkat edilmelidir.

Buna göre teknik veriler şu şekildedir:

Max çalışma basıncı :	30 Bar
Max sıcaklık :	300 °C
Isı transfer katsayısı :	20 W / m ² K
Isı transfer alanı :	60 m ²

Kullanılan plakalı ısı değiştiricisinin çalışma sistemi çapraz akımlı, tek geçişli ısı değiştiricisiyle aynı olduğundan sistemin çözümlenmesi için NTU metodu uygundur.

Buna göre;

$$m_1 \cdot c_{p1} \cdot (T_{1g} - T_{1ç}) = m_2 \cdot c_{p2} \cdot (T_{2ç} - T_{2g})$$

$$c_p \text{ su} = 4209 \text{ J / kgK [14]}$$

$c_{p\text{egz}}$ = Bileşimi 6 mol CO_2 ve 5 mol H_2O ' dan oluştuğuna göre ve 300°C 'de tablodan H_2O ve CO_2 için;

$$C_p\text{CO}_2 = 1.06\text{kJ/kgK}$$

$$C_p\text{H}_2\text{O} = 5.88\text{kJ/kgK} \text{ olduğu}$$

Tablo 5.8 ve tablo 5.9'da gösterilmiştir.

Tablo 5.7 90°C sıcaklık ve 69 kPa basınçta su buharının özgül ısısı [49]

Sıcaklık (K)	Basınç(Bar)	c_p
360	0.6209	4.203
363	0.69	4.207
365	0.7514	4.209

Tablo 5.8 CO_2 gazının 1 atm basınçta özgül ısısı [49]

Sıcaklık (K)	Basınç(atm)	c_p
550	1	1.05
573	1	1.06
600	1	1.08

Tablo 5.9 Su buharının 1 atm basınçta özgül ısısı [49]

Sıcaklık (K)	Basınç(atm)	c_p
570	1	5.67
573	1	5.88
580	1	6.40

$$c_{p\text{egz}} = 6\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O} = \frac{(6 \times 44 \times 1.06) + (5 \times 18 \times 5.88)}{(6 \times 44) + (5 \times 18)} = 2.23\text{kJ/kgK}$$

olarak elde edilir.

$$m_{\text{subuharı}} = 7000 \text{ kg / h}$$

$$m_{\text{egzoz}} = 5000 \text{ kg / h}$$

$$C_1 = \frac{7000 \times 4209}{3600} = 8184 \text{ W/K}$$

$$C_2 = \frac{5000 \times 2230}{3600} = 3097.2 \text{ W/K}$$

$$\frac{C_{\min}}{C_{\max}} = \frac{3097.2}{8184} = 0.378$$

$$\text{NTU} = \frac{k \cdot A_d}{C_{\min}} = \frac{20 \times 60}{3097.2} = 0.39$$

$$\varepsilon = 0.40$$

$$Q_{\max} = C_{\min} \times (T_{1g} - T_{2g})$$

$$= 3097.2 \times 210$$

$$= 650412 \text{ W}$$

$$Q_{\text{gerçek}} = 0.40 \times 650412$$

$$= 260.170 \text{ W} = 260 \text{ kW}$$

Buna göre,

$$\frac{7000}{3600} \times (h_2 - h_1) = 260$$

$$h_1 = 2660.1 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 2793.8 \text{ kJ/kg}$$

bulunur.

Buna göre çıkış değerleri;

0.4 Mpa ve $h = 2793.8$ ise $T = 270^\circ \text{ C}$ olur.

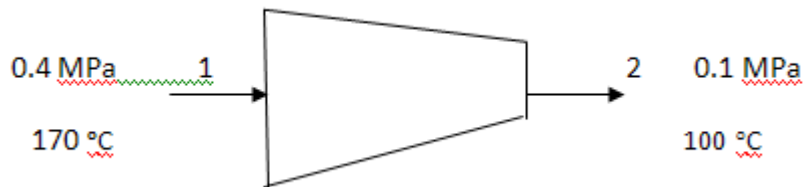
Tablo 5.10 0.4 Mpa basınçta su buharının entalpi değerleri [14]

Basınç (MPa)	Sıcaklık (°C)	Entalpi (kJ / kg)
0.4	150	2752.8
0.4	170	2793.8
0.4	200	2860.5

d) Buhar türbini + alternatör grubu;

Buhar türbini seçilirken seçilen türbinin sistem özellikleriyle yani sistemden alınabilecek su buharının basınç ve sıcaklığıyla uyumlu olması ön planda tutulmuştur. Bunun yanı sıra seçilen buhar türbini kendi bünyesinde bir alternatörde barındırdığından ilave bir alternatör seçimine gerek kalmadan enerji üretimi sağlanabilecektir.

Türbine su buharının giriş ve çıkış koşulları şematik olarak Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4 Su buharının türbine giriş ve çıkış koşulları

$$W = 7000 \times (2793.8 - 2675.5)$$

$$W = 828100 \text{ kJ / h}$$

$$W = 230 \text{ kJ / s}$$

$$W = 230 \text{ kW}$$

Böylece bize 230 kW güçte çalışabilecek bir buhar türbininin gerekli olduğu anlaşılmaktadır.

e) Soğutma grubu;

Bu durumda türbinden çıkan su buharı 1 atm basınçta ve 100 °C'de olacağından soğutma için gereken kapasite de ilk durumdakinden biraz daha farklı olacaktır.

Kondenser seçim parametrelerinin ise ilk durumları tamamen aynı olup sadece istenen kapasitede bir değişiklik söz konusu olacaktır.

$$Q = m \times [(h_2 - h_1) + (h_1 - h_3)]$$

$$Q = 7000 \times 2257 + 7000 \times 314.1$$

$$Q = 5000 \text{ kW}$$

Burada da denklem 2 kısma ayrılabilir. Bunlardan ilki kondenserde meydana gelirken, ikincisi soğutma kulesinde meydana gelir.

$$a) Q = m \times (h_2 - h_1)$$

$$b) Q = m \times (h_1 - h_3)$$

Yukarıdaki denklemde;

h_2 = Su buharının türbinden çıkış entalpisini

h_1 = Su buharının 1 atm basınçta yoğuştuğundan hemen sonraki entalpisini

h_3 = 1 atm basınçta suyun istenilen sıcaklığa indirilmiş durumdaki entalpisini temsil eder.

Soğutma grubu içinde istenilen kapasite böylece belirlenmiştir.

5.6. Sistem İçin Genel Maliyet Analizi (Fizibilite)

Bu bölümde sistemin uygulanabilirliği için bir maliyet analizi yapılmıştır. Sistemin kendini ne kadarlık bir kullanım sonucunda amorti edeceği, kurulunun yapılmasının

mantıklı olup olmayacağı araştırılmıştır. Sistemde çok sayıda parçanın mevcut olduğu ve her bir bölümün tek başına birer mühendislik projesi olduğu açıktır. Dolayısıyla burada en önemli, sistemin olmazsa olmazı en temel parçaları üzerinde durulmuştur.

Fiyat teklifleri tamamen sembolik amaçlı yani sistemin maliyeti hakkında bir fikir vermesi amacıyla alınmıştır. Firma seçimlerinde özel bir amaç yoktur. Sonuçta firmalar arasında ödeme koşulları, daha önceden yapılmış olan alışverişler sebebiyle fiyatlar değişiklik gösterebilir. Burada alınmış olan fiyatlar tamamen kapasite ve istenilen özelliklerin seçimine dayanarak yapılmış olup, firmaların daha önceki yaptıkları işlerde ortaya koydukları performans, kalite gibi kriterler dikkate alınmamıştır.

- a) Alternatör + buhar türbini
- b) Soğutma (Kondenser + Su Soğutma Kulesi)
- c) Sistemde kullanılan boru grubu (basınca ve sıcaklığa dayanıklı)
- d) Isı değiştiricisi

Aşağıda alınan fiyatlar ve alındıkları firma isimleri verilmiştir. Teklifler birkaç firmadan alınmış olmalarına rağmen elbette ki burada en uygun olanlarına yer verildi.

5.6.1. Alternatör + buhar türbini

Durum 1 için seçilen buhar türbini + alternatör grubu ve özellikleri Tablo 5.11’de verilmiştir.

Tablo 5.11 Durum 1 için seçilen buhar türbini ve özellikleri

Power- Tech PTR-M / 02-ST-202	
Maksimum Güç	2 MW
Elektrik Çıkışı	6.3 kV, 50 Hz
Buhar Girişi	37-45 bar 480 °C
Buhar Çıkışı	2.5-4 bar 150 °C
Maksimum Buhar Debisi	40000 kg / h

Fiyat: Türbinin Almanya'da satış fiyatı 315000 Eurodur.

Durum 2 için seçilen buhar türbini + alternatör grubu ve özellikleri Tablo 5.12'de verilmiştir.

Tablo 5.12 Durum 2 için seçilen buhar türbini ve özellikleri

Valcon Miniturbo 300	
Maksimum Güç	300 kW
Elektrik Çıkışı	0.7 kV 50 Hz
Buhar Girişi	0.4 MPa 270 °C
Buhar Çıkışı	0.1 MPa 100 °C

Fiyat: Türbinin Çek Cumhuriyetindeki satış fiyatı 50000 eurodur.

5.6.2. Soğutma grubu

Bu soğutma yükleri için kondenser olarak Eren 270×3000 tipi kondenser ve Niba yukarıda tasarladığımız sisteme özel soğutma kulesi kullanımı düşünülmüştür. Fiyat teklifleri ise şöyledir;

Niba 4500000 kcal / h 80/30/25 tipi soğutma kulesi 25000 TL

Eren 270×3000 tipli 530 kW maksimum kapasitesi olan kondenser 3500 TL.

5.6.3. Sistemde kullanılan boru grubu

Sistemlerdeki ısı farklılığı sadece atık ısı kazanı veya plakalı ısı değiştiricisinde meydana gelmektedir. Dolayısıyla türbinlere buharı ulaştıran borular dışında kullanılan boru tipi aynı olmaktadır.

Sisteme uygun olacak boru tipi yüksek sıcaklıklara dayanıklı kazan borusu olacaktır. Bu boru tipi için Borusan Mannesman firmasından alınan teklif ise;

88.9 çaplı 3.6 mm et kalınlığına sahip boru için metre başına 12 TL' dir.

5.6.4. Isı değiştiricisi

1. Durum için ısı değiştiricisi kullanılmamış olup ısı bir atık ısı kazanında depo edilerek; su buharı ısıtılmıştı.

2. Durum içinse ısı değiştiricisinde oluşacak ısı transferinin büyüklüğü 240.6 kW olarak hesap edilmişti.

Bu kapasitede bir lehim plakalı MIT ısı değiştiricisi için alınan fiyat teklifi 5220 eurodur.

Atık ısı kazanı içinse, kazanda oluşacak ısı geçişi 14657632,4 kJ / h dir. Buradan hareketle seçilen kazan ve fiyatı şöyledir.

Omnical Gmbh 11ton/ saat 10 bar duman borulu atık ısı kazanı: 15000 euro

Buradan hareketle sistemin en temel parçaları için ilk ve ikinci durumda oluşacak toplam maliyet şu şekildedir.

Birinci durum için hesaplanan maliyet Tablo 5.13'de verilmiştir.

Tablo 5.13 Birinci durum için hesaplanan toplam maliyet

Durum 1	
Buhar türbini + alternatör grubu	695000 TL
Soğutma grubu	60000 TL
Sistemde kullanılan boru grubu	2400 TL
Atık ısı kazanı	35000 TL
Toplam	792000 TL

İkinci durum için hesaplanan maliyet ise Tablo 5.14’de verilmiştir.

Tablo 5.14 İkinci durum için hesaplanan maliyet

Durum 2	
Buhar türbini + alternatör grubu	110000 TL
Soğutma grubu	60000 TL
Sistemde kullanılan boru grubu	2400 TL
Plakalı ısı değiştiricisi	11500 TL
Toplam	183900 TL

Türkiye de sanayi birimleri için elektriğin kWh s₁ = 0.168 TL

Birinci durum için : $792000 / 0.168 = 4.7$ milyon kW enerji

İkinci durum için : $183900 / 0.168 = 1.1$ milyon kW enerji

ÇAMSAN’ın ödediği elektrik bedeli her ay ortalama 500000 TL olduğuna göre; kojenerasyon sisteminin kısa bir sürede kendi maliyetini çıkaracağı açık bir biçimde

ortadadır. İlk durum için yaklaşık olarak iki ayda, ikinci durum içinse yaklaşık 15 günde sistemin şu koşuldaki maliyeti kendisini karşılayacaktır.

BÖLÜM 6. SONUÇ

Dünyada enerji tüketimi nüfus artışına ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak artmaktadır. Artan talebi karşılamak ve enerji arzının sürekliliğini sağlamak amacıyla bir yandan yeni enerji kaynakları aranırken, diğer yandan da mevcut enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması temel alınmıştır. Kojenerasyon sistemlerinin uygulanmasının amacı özellikle sanayi sektöründe enerji verimliliği sağlamak birim maliyetin azaltılması yoluyla ucuz enerji temin etmek, birincil enerji yatırımlarına katkıda bulunulmasını sağlamaktır.

Bu çalışmada ele alınan ÇAMSAN A.Ş. Sakarya Hendek tesisleri bu konuda iyi bir örnek teşkil etmektedir. Tesis bir kojenerasyon tesisine dönüştürülerek kullanılmadan dışarı atılan su buharı ve egzost gazlarının enerjisinden faydalanılmaya çalışılmıştır. Tezde önerdiğimiz çözüm uygulandığı takdirde sistemin kendini iki ay içinde amorti edeceği ve yıllık 1.8 milyon TL enerji maliyetini ortadan kaldıracacağı hesaplanmıştır. Fabrika yönetiminin de destek vermesi halinde proje daha kapsamlı bir hale dönüştürülerek faaliyete geçirilebilecek ve böylece enerji verimliliği sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Buhar Türbinleri Genel Bilgi ve Talimatlar, İsdemir Endüstriyel Tesis Müdürlüğü Yayınları, Dök.No: 09/140, 1981
- [2] ÖZTÜRK, İ., KARAALİ, R.,Güç Üreten Bir Tesisin Kojenerasyon Sistemine Dönüştürülmesi, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt: 48 Sayı: 575, Ankara, 2007
- [3] BOMBARDA, P., MACCHI, E., Optimum Cycles for Geothermal Power Plants, Proceedings of World Geothermal Conress, Japan, 2000.
- [4] KÜÇÜKA, S., BAŞARAN, T., Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Kojenerasyon Çevrimi İle Güç üretilmesinin Uygulanabilirliği, 6. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İstanbul, 2003
- [5] KÜÇÜKA, S., Jeotermal Bölge Isıtması Dağıtım Sistemlerinin Genel Esasları TESKON V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, Makina Müh. Odası Yayın No: 269-1, sf. 503-518, Ankara, 2001.
- [6] <http://www.worldenergy.org./publications/127.asp> 05.04.2009
- [7] www.nuce.boun.tr 06.04.2009
- [8] www.enerjitasarrufu.com. 06.04.2009
- [9] http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI_VIEW/index.php/raporlar/detaySec/4314 06.04.2009
- [10] <http://www.fizikportali.com/forum/index.php?topic=1394.0> 07.04.2009
- [11] <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=enerji&bn> 07.04.2009
- [12] BROWN, T.P., Buhar Türbinleri, Gaz Türbinleri ve Birleşik Çevrimler, Enerji Elektrik-Elektronik(3e) dergisi , sayı 10, sf. 40-46, İstanbul, 1995
- [13] KOCAMAN, B., Elektrik Enerjisi Üretim Santralleri, Birsen Yayınevi, sf 10-42, İstanbul 2003
- [14] ÇENGEL,Y., M.A.BOLES, Thermodynamics An Engineering Approach. Mc Graw Hill, 4th Edition, Boston, 2002

- [15] LIMAYE, D., Planning Cogeneration Systems, The Fairmont Press, Canada, 1985
- [16] ÜNVER, Ü., KILIÇ, M., Çevre Sıcaklığının Bir Kombine Çevrim Güç Santralinin Performansına Etkisi, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt: 46, Sayı: 545, sf 46-49, 2005
- [17] Gersteinwerk Power Plant, RWE Power catalog, 2006
- [18] WILKINSON, B.W., BARNES, R., Cogeneration of Electricity and Useful Heat, CRC Conferance, USA, 1993
- [19] MELAN, H., PEKİN, H., Buhar Santrallerinin Planlaması, 2004
- [20] ÜNVER.Ü., Doğalgaz çevrim santralının meteorolojik şartlara bağlı olarak termodinamik analizi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, sf.165, 2004.
- [21] New Resource Characterization for the Fifth Power Plan, Natural Gas Combined cycle Gas Turbine Power Plants Northwest Power Planning Council, pp. 1-4, Norway, 2002
- [22] FISCHI, D., MANFRIDA,G., Exergy analysis of semi-closed gas turbine combined cycle, Energy Conv. and Management, California, pp. 1643-1652, 1998
- [23] Coal fired power plants, Northwest Power Planning Council New Resource Characterization for the Fifth Power Plan, Norway, pp. 2-3, 2002
- [24] ACÜL, H., Evaporatörlerin Uygulama ve Teknik Özellikleri Hakkında Vurgulanması Gereken Önemli Noktalar, Friterm yayınları, İstanbul, 2008
- [25] EYİCE. S., Buhar türbinleri, Cilt 4 / B, İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Yayınları, sayı 97 , İstanbul, 1970
- [26] EYİCE. S., Buhar türbinleri, Cilt 4 / A, İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Yayınları, sayı 97, İstanbul, 1970
- [27] Evaporator Handbook, Apv Americas engineered systems seperation technologies, USA 2006
- [28] DURUK, A., Soğutma Kulesi ve Soğutma Devre Elemanlarının Tanıtım ve Bakımı, Friterm yayınları, sf. 42-46, İstanbul, 1994
- [29] http://www.ensotek.com/index_dosyalar/Su_Sogutma_Kulesi_Nedir.htm
20.04.2009
- [30] MIRSKY, G.R., LIBER, P., BRYANL, K., Environmental Considerations for Cooling Towers, Ashare Journal, Atalanta, 1992

- [31] GÜVEN, H., ALNIPARK, B., İSA, K., Soğutma Kuleleri Tasarımında Etkin Olan Dış Ortam Koşulları ve Diğer Faktörler Analiz Raporu, M.M.O yayını No:153, Ankara, 1993
- [32] ASHRAE, N., HVAC Systems and Equipment Handbook SI Edition, Ashrae Journal yayınları, Atalanta, 1992
- [33] ÖZKOL, N., Uygulamalı Soğutma Tekniği, M.M.O yayını, No: 115, Ankara 1999
- [34] http://www.dogalgazprojesi.com/forum/forum_posts.asp?TID=3000&PN=1
10.04.2009
- [35] ÇETİN, B., Çok amaçlı enerji üretim sistemlerinin termoekonomik optimizasyonu, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2005
- [36] ERDEM, H.H., SEVİLGİN, S.H., ÇETİN, B., AKKAYA, A.V., Kojenerasyon sistemlerinin yakıt fiyatların ve birim yakıt maliyetlerinin analizi, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, sayı 1, sf 128-138, İstanbul, 2004
- [37] HORLOCK, J.H., Aero-engine derivative gas turbines for power generation thermodynamic and economic perspectives, Journal of Engineering for GasTurbines and Power, Bosnia Herzogevina, pp 119-123, 1997
- [38] CASAROSA, C., DONATINI, F. & FRANCO, A., Thermo economic optimization of heat recovery steam generators operating parameters for combined plants, Energy 29, Italy, pp 389-414. 2004
- [39] ERDEM, H., SEVİLGİN, S.H., ÇETİN, B., AKKAYA A.V., DAĞDAŞ, A. Gaz türbin sistemlerinde çevre sıcaklığının performansa etkisi, 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Isparta, 2003
- [40] BEDİROĞLU, T., Senkron Makinaların Hesap ve Konstrüksiyonu, İTÜ yayınları, İstanbul, 1986
- [41] DUMAN, H., Elektrik Makinalarının Kayıpları ve Teorisi, Kutulmuş Matbaası, İstanbul, 1960
- [42] UĞUZ, N., GÖKKAYA M., Elektrik Makinaları, Dizerkanca Matbaası, İstanbul, 1974
- [43] Türkiye Çevre Atlası-96, Çevre Bakanlığı ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü, Çevre Envanteri Dairesi, İstanbul, 1997
- [44] ÜLTANIR, M., 21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi , Tüsiad-12\239, İstanbul, 1998

- [45] YİĞİT, A. Otoprodüktör Uygulaması, Elektrik Mühendisliği Dergisi Sayı 411, İstanbul, 2001
- [46] GEZER, İ., Kojenerasyon Sistemleri ve Eskişehir'deki Üç Fabrikada Sistemin Mevcut Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, sf. 17-20
- [47] KOÇ, H., Bileşik Isı ve Güç Santralleri Uygulamaları, Makina Mühendisliği Bölümü Bitirme Ödevi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 1995
- [48] <http://www.ieee.org.tr> 15.04.2009
- [49] HALICI, F., GÜNDÜZ, M., Isı Geçişi, Burak Ofset, sf 300-435, Sakarya 2001

ÖZGEÇMİŞ

Selman GÜNEŞ, 14.10.1984 de Adapazarı'nda doğdu. İlk, orta, lise ve üniversite eğitimini Adapazarı'nda tamamladı. 2002 yılında Sakarya Anadolu Lisesi, Fen Bilimleri Bölümünden mezun oldu. 2003 yılında Sakarya Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümüne girdi ve 2007 yılında mezun oldu. 2008 – 2009 yılları arasında Alfa Çelik Sınai Yatırım ve Tic. Ltd. Şti.nde mühendis olarak çalıştı. Bu süre içerisinde şirketin yeni ürün projeleri yanı sıra verimlilik projeleri ve toplam kalite yönetimi projelerinde aktif rol aldı. Şu anda Alfa Çelik Sınai Yatırım ve Tic. Ltd. Şti.nde Kalite Kontrol Şefi olarak görev yapmaktadır.