

**YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜPERKRİTİK ŞARTLARDA ÇALIŞAN KÖMÜR YAKITLI BİR TERMİK  
SANTRALİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ekrem ŞAHİN**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Programı**

**HAZİRAN 2016**



**YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜPERKRİTİK ŞARTLARDA ÇALIŞAN KÖMÜR YAKITLI BİR TERMİK  
SANTRALİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ekrem ŞAHİN  
(135103001)**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Selçuk MERT**

**HAZİRAN 2016**



YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 135103001 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ekrem ŞAHİN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**SÜPERKRİTİK ŞARTLARDA ÇALIŞAN KÖMÜR YAKITLI BİR TERMİK SANTRALİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Yrd. Doç. Dr. Mehmet Selçuk MERT**  
Yalova Üniversitesi



**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Fikret YÜKSEL**  
Yalova Üniversitesi



**Yrd. Doç. Dr. Mehmet Selçuk MERT**  
Yalova Üniversitesi



**Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk DİLMAÇ**  
Çankırı Karatekin Üniversitesi



**Teslim Tarihi :** **18 Aralık 2015**  
**Savunma Tarihi :** **02 Haziran 2016**



## ÖNSÖZ

Bazen farkında olmasak da elektrik enerjisinin hayatımızdaki yeri çok önemlidir. Bugün ticari ve bireysel kullanım alanlarına bakıldığında kullanımı en yaygın ve en kolay enerji türü elektriktir. Evimize geldiğimizde bir anahtarla evimizi aydınlatabiliyorsak, bunu elektrik üretim santrallerine ve bu santrallerde gece gündüz çalışan santral çalışanlarına borçluyuz. Bu yüzden ağır sanayi koşullarında çeşitli tehlikeler altında çalışan santral çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Destekleriyle yanımda olan tüm Yalova Üniversitesi öğretim üyelerine ve tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mehmet Selçuk MERT'e teşekkürlerimi sunarım.

Hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyen ailem ve eşime teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2016

Ekrem ŞAHİN  
Elektrik Mühendisi





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ .....	xi
KISALTMALAR .....	xiii
SEMBOL LİSTESİ .....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	2
1.2 Literatür Araştırması .....	2
1.3 Hipotez .....	7
<b>2. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ .....</b>	<b>9</b>
2.1 Enerji Kavramı .....	9
2.1.1 Termodinamiğin 1. kanunu ve enerji .....	10
2.2 Ekserji Kavramı.....	11
2.2.1 Ekserji analizi.....	12
2.2.2 Ekserjinin bileşenleri.....	13
2.2.2.1 Kinetik ve potansiyel ekserji.....	13
2.2.2.2 Fiziksel ekserji .....	14
2.2.2.3 Kimyasal ekserji.....	14
2.2.3 Ekserji transferi .....	14
2.2.3.1 Isı ve iş ile ekserji transferi .....	14
2.2.3.2 Madde akışı ile Ekserji transferi .....	15
2.2.4 Çevre ve denge.....	16
2.2.5 Ekserji verimi ve ekserji tahribatı .....	16
<b>3. TERMOEKONOMİK ANALİZ.....</b>	<b>17</b>
3.1 Tarihsel Gelişim .....	17
3.2 SPECO Metodu ile Termoeekonomik Analiz.....	18
<b>4. SÜPERKRİTİK TERMİK SANTRAL TEKNOLOJİSİ .....</b>	<b>21</b>
4.1 Buharlı Santrallerin Tarihi Gelişimi.....	21
4.2 Buhar Santral Çevrimleri .....	22
4.2.1 Carnot buhar çevrimi .....	22
4.2.2 Rankine buhar çevrimi.....	23
4.2.3 Süperkritik buhar çevrimi.....	25
<b>5. SÜPERKRİTİK TERMİK SANTRAL.....</b>	<b>29</b>
5.1 Santral Ana Teçhizatının Tanıtımı .....	34
5.1.1 Kazan ve yardımcıları .....	34
5.1.2 Türbin ve yardımcıları .....	36
5.1.3 Santral elektrik sistemi.....	38
5.1.4 Yardımcı tesisler .....	39

<b>6. TESİS ANA ELEMANLARININ ANALİZİ VE VERİM HESAPLARI.....</b>	<b>41</b>
6.1 Kazan Analiz ve Verim Hesaplamaları .....	41
6.2 Türbin Analiz ve Verim Hesaplamaları .....	44
6.3 Pompa Analiz ve Verim Hesaplamaları .....	49
6.4 Yoğuşturucu Analiz ve Verim Hesaplamaları.....	53
6.5 Isıtıcı Analiz ve Verim Hesaplamaları .....	56
6.6 Santral Geneli Analiz ve Verim Hesaplamaları .....	67
6.7 Santral Elemanları İçin Termoekonomik Analiz.....	68
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>87</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>91</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>95</b>



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Enerji ve ekserji arasındaki farklar.....	12
Çizelge 5.1 : Akış değerleri tablosu.....	32
Çizelge 6.1 : Kazan analiz tablosu.....	43
Çizelge 6.2 : Yüksek basınç türbini analiz tablosu.....	45
Çizelge 6.3 : Orta basınç türbini analiz tablosu.....	46
Çizelge 6.4 : Düşük basınç türbini analiz tablosu .....	47
Çizelge 6.5 : Kazan besisi suyu pompa türbini analiz tablosu .....	48
Çizelge 6.6 : Booster pompa analiz tablosu.....	50
Çizelge 6.7 : Kazan besisi suyu pompası analiz tablosu .....	51
Çizelge 6.8 : Yoğuşturucu pompası analiz tablosu.....	52
Çizelge 6.9 : DB türbin çıkış kondenser analiz tablosu.....	54
Çizelge 6.10 : Sızdırmazlık buharı yoğuşturucusu analiz tablosu.....	55
Çizelge 6.11 : YB-1 ısıtıcı analiz tablosu .....	57
Çizelge 6.12 : YB-2 ısıtıcı analiz tablosu .....	58
Çizelge 6.13 : YB-3 ısıtıcı analiz tablosu .....	59
Çizelge 6.14: Dearatör analiz tablosu.....	60
Çizelge 6.15 : DB-5 ısıtıcı analiz tablosu .....	61
Çizelge 6.16 : DB-6 ısıtıcı analiz tablosu .....	62
Çizelge 6.17 : DB-7 ısıtıcı analiz tablosu .....	63
Çizelge 6.18 : DB-8 ısıtıcı analiz tablosu .....	64
Çizelge 6.19 : Santral ekipmanlarının verim ve ekserji tahribi tablosu.....	65
Çizelge 6.20: Yatırım, işletme ve bakım maliyetleri ekipman dağılım tablosu .....	68
Çizelge 6.21: Kazan maliyet tablosu .....	69
Çizelge 6.22: Yüksek basınç türbini maliyet tablosu .....	70
Çizelge 6.23: Orta basınç türbini maliyet tablosu .....	71
Çizelge 6.24: Düşük basınç türbini maliyet tablosu .....	72
Çizelge 6.25: Kazan besisi suyu pompası türbini maliyet tablosu .....	73
Çizelge 6.26: Yoğuşturucu maliyet tablosu.....	74
Çizelge 6.27: Yoğuşturucu pompası maliyet tablosu .....	75
Çizelge 6.28: Sızdırmazlık buhar yoğuşturucusu maliyet tablosu .....	76
Çizelge 6.29: DB-8 ısıtıcı maliyet tablosu.....	77
Çizelge 6.30: DB-7 ısıtıcı maliyet tablosu.....	78
Çizelge 6.31: DB-6 ısıtıcı maliyet tablosu.....	79
Çizelge 6.32: DB-5 ısıtıcı maliyet tablosu.....	80
Çizelge 6.33: Dearatör maliyet tablosu .....	81
Çizelge 6.34: YB-3 ısıtıcı maliyet tablosu.....	82
Çizelge 6.35: YB-2 ısıtıcı maliyet tablosu.....	83
Çizelge 6.36: YB-1 ısıtıcı maliyet tablosu.....	84
Çizelge 6.37: Booster pompa maliyet tablosu .....	85
Çizelge 6.38: Kazan besisi suyu pompası maliyet tablosu.....	86



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 4.1 : Carnot çevrimi T-s diyagramı (a).....	22
Şekil 4.2 : Carnot çevrimi T-s diyagramı (b).....	23
Şekil 4.3 : Basit ideal Rankine çevrimi T-s diyagramı .....	24
Şekil 4.4 : Basit ideal Rankine çevrimi sistematik gösterimi.....	24
Şekil 4.5 : Sabit basınçta T-v diyagramı (su için) .....	26
Şekil 4.6 : Süperkritik Rankine çevrimi T-s diyagramı.....	27
Şekil 5.1 : Termik santral su buhar çevrim şeması.....	30
Şekil 5.2 : Termik santral hava-baca gazı çevrim şeması.....	31
Şekil 5.3 : Primer hava fanı .....	34
Şekil 5.4 : Kömür değirmeni .....	35
Şekil 5.5 : Kazan binasının yandan görünüşü.....	36
Şekil 5.6 : Düşük basınç ısıtıcı .....	37
Şekil 5.7 : Dearatör .....	38
Şekil 5.8 : Türbin tahrikli kazan besleme suyu pompası.....	38
Şekil 5.9 : FGD sistemi şematik gösterimi .....	40
Şekil 6.1 : Kazan akışları şematik gösterimi .....	41
Şekil 6.2 : Türbin akışları şematik gösterimi .....	44
Şekil 6.3 : Yüksek basınç türbin akışları şematik gösterimi .....	45
Şekil 6.4 : Orta basınç türbin akışları şematik gösterimi .....	46
Şekil 6.5 : Düşük basınç türbin akışları şematik gösterimi .....	47
Şekil 6.6 : Kazan besleme suyu pompası türbin akışları şematik gösterimi .....	48
Şekil 6.7 : Pompa akışları şematik gösterimi .....	49
Şekil 6.8 : Booster pompa akışları şematik gösterimi .....	50
Şekil 6.9 : Kazan besleme suyu pompa akışları şematik gösterimi .....	51
Şekil 6.10 : Yoğuşurucu pompa akışları şematik gösterimi .....	52
Şekil 6.11 : Yoğuşurucu akışları şematik gösterimi .....	53
Şekil 6.12 : DB türbin çıkışı yoğuşurucu akışları şematik gösterimi .....	54
Şekil 6.13 : Sızdırmazlık buhar yoğuşurucusu akışları şematik gösterimi .....	55
Şekil 6.14 : Isıtıcı akışları şematik gösterimi .....	56
Şekil 6.15 : YB-1 ısıtıcı akışları şematik gösterimi .....	57
Şekil 6.16 : YB-2 ısıtıcı akışları şematik gösterimi .....	58
Şekil 6.17 : YB-3 ısıtıcı akışları şematik gösterimi .....	59
Şekil 6.18 : Dearatör akışları şematik gösterimi .....	60
Şekil 6.19 : DB-5 ısıtıcı akışları şematik gösterimi .....	61
Şekil 6.20 : DB-6 ısıtıcı akışları şematik gösterimi .....	62
Şekil 6.21 : DB-7 ısıtıcı akışları şematik gösterimi .....	63
Şekil 6.22 : DB-8 ısıtıcı akışları şematik gösterimi .....	64
Şekil 6.23 : Santral ekipmanları ekserji tahribat grafiği .....	65
Şekil 6.24 : Santral ekipmanları enerji ve ekserji verim grafiği .....	66



## KISALTMALAR

<b>AC</b>	: Alternatif Akım (Alternative Current)
<b>BG</b>	: Baca Gazı
<b>BSTRP</b>	: Booster Pompa
<b>BT</b>	: Buhar Türbini
<b>CIBO</b>	: Endüstriyel Kazan Üreticileri Birliği (Council of Industrial Boiler Owners)
<b>CRF</b>	: Cüruf
<b>DB</b>	: Düşük Basınç
<b>DBT</b>	: Düşük Basınç Türbini
<b>DC</b>	: Doğru Akım (Direct Current)
<b>DEA</b>	: Dearatör
<b>DEG</b>	: Değirmen
<b>ESP</b>	: Elektrostatik Filtre (Electrostatic Precipitator)
<b>FGD</b>	: Baca Gazı Desülfürizasyon (Flue Gas Desulphurization)
<b>HT</b>	: Isıtıcı (Heater)
<b>IDF</b>	: Cebri Çekme Fanı (Induced Draft Fan)
<b>KBSP</b>	: Kazan Besi Suyu Pompası
<b>KBSPT</b>	: Kazan Besi Suyu Pompası Türbini
<b>LHV</b>	: Alt Isıl Değer (Lower Heating Value)
<b>PAF</b>	: Primer Hava Fanı (Primary Air Fan)
<b>RH</b>	: Tekrar Kızdırıcı (Reheater)
<b>OB</b>	: Orta Basınç
<b>OBT</b>	: Orta Basınç Türbini
<b>SCR</b>	: Seçici Katalitik İndirgeme (Selective Catalytic Reduction)
<b>SAF</b>	: Sekonder Hava Fanı (Secondary Air Fan)
<b>SH</b>	: Kızdırıcı (Superheater)
<b>SPECO</b>	: Özel Ekserji Maliyeti (Specific Exergy Costing)
<b>SZDR BHR</b>	: Sızdırmazlık Buharı
<b>SZDR YOĞ</b>	: Sızdırmazlık Yoğuşturucusu
<b>YB</b>	: Yüksek Basınç
<b>YBT</b>	: Yüksek Basınç Türbini
<b>YOĞ</b>	: Yoğuşturucu
<b>YOĞP</b>	: Yoğuşturucu Pompası





## SEMBOL LİSTESİ

$c$	: Ortalama Birim Ekserji Maliyeti (\$/GJ)
$\hat{C}$	: Ekserji Maliyeti (\$/h)
$A$	: Alan (m <sup>2</sup> )
$e$	: Kütle Başına Enerji (MW/kg)
$\dot{E}$	: Enerji (MW)
$\dot{E}_{gir}$	: Giren Enerji (MW)
$\dot{E}_{çık}$	: Çıkan Enerji (MW)
$ex$	: Kütle Başına Ekserji (MW/kg)
$\dot{E}$	: Ekserji (MW)
$\dot{E}^{fz}$	: Fiziksel Ekserji (MW)
$\dot{E}_F$	: Yakıt Ekserjisi (MW)
$\dot{E}^{ke}$	: Kinetik Ekserji (MW)
$\dot{E}^{km}$	: Kimyasal Ekserji (MW)
$\dot{E}^{pe}$	: Potansiyel Ekserji (MW)
$\dot{E}_L$	: Ekserji Kaybı (MW)
$\dot{E}_P$	: Ürün Ekserjisi (MW)
$\dot{E}_T$	: Ekserji Tahribi (MW)
$\dot{G}_{pot}$	: Geliştirme Potansiyeli (MW)
$g$	: Yerçekimi İvmesi (m/s <sup>2</sup> )
$h$	: Spesifik Entalpi (kJ/kg)
$H$	: Entalpi (kJ)
$k$	: Kütle Oranı
$\dot{m}$	: Kütleli Debi (kg/s)
$\dot{m}_g$	: Giren Madde Miktarı (kg/s)
$\dot{m}_ç$	: Çıkan Madde Miktarı (kg/s)
$P$	: Basınç (MPa)
$P_0$	: Çevre Şartlarındaki Basınç (MPa)
$R$	: Gaz Sabiti (kJ/kmol.K)
$\dot{Q}$	: Isı Enerjisi (MW)
$u$	: İç Enerji (kJ/kg)
$s$	: Spesifik Entropi (kJ/kg .K)
$S$	: Entropi (kJ/K)
$S_0$	: Çevre Şartlarındaki Entropi (kJ/K)
$S_{üret}$	: Üretilen Entropi
$T$	: Sıcaklık (K)
$T_0$	: Çevre Şartlarındaki Sıcaklık (K)
$U$	: İç Enerji (kJ)
$U_0$	: Çevre Şartlarındaki İç Enerji (kJ)
$\dot{W}$	: İş (MW)
$x$	: Mol Sayısı

$v$	: Hız (m/s)
$V$	: Hacim (m <sup>3</sup> )
$V_0$	: Çevre Şartlarında Kaplanan Hacim (m <sup>3</sup> )
$z$	: Yükseklik (m)
$y$	: Tersinmezlik Oranı (%)
$\Delta \dot{E}_{\text{sis}}$	: Sistemin Net Enerji Değişimi
$\gamma$	: Bileşenin Aktiflik Katsayısı
$r$	: Birimsiz Sıcaklık Ekserji Katsayısı
$\Phi$	: Kömürün Ekserjisinin Enerjisine Oranını Gösteren Katsayı
$\varepsilon$	: Ekserji Verimi
$\eta$	: Enerji Verimi



## SÜPERKRİTİK ŞARTLARDA ÇALIŞAN KÖMÜR YAKITLI BİR TERMİK SANTRALİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

### ÖZET

Sanayileşmenin arttığı ve yaşam standartlarının yükseldiği bu günlerde enerji kullanımı önem kazanmaktadır. Kullanılan enerji miktarının artması ile birlikte enerji üretim teknolojileri, doğal kaynakların verimli kullanımı ve yapılan tesislerin çevre ile olan uyumu konusunda ciddi çalışmalar ve planlamalar yapılmaktadır. Gelecekte enerji tüketim miktarı günümüze göre artması muhtemeldir. Bu yüzden mevcut doğal kaynak rezervlerini en verimli şekilde kullanmak kaçınılmazdır. Bu da enerji üretim tesislerinin en verimli şekilde tasarlanması, enerji tüketen kullanım araçlarının da enerji verimliliği konusuna uygun üretilmesi ile sağlanabilir.

Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminin büyük bir kısmı termik santrallerle gerçekleşmektedir. Bu santraller kömür, doğalgaz, fueloil vb. gibi yakıtların yakılarak oluşan ısının mekanik enerjisine akabinde ise elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibiyle çalışır. Kömür yakıtlı termik santralini ele aldığımızda ocak içinde yanan kömür kazan içinde dolaşan saf suyu buhar haline getirmektedir. Elde edilen buhar baca gazı ile kızgın buhar haline getirilerek buhar türbinine verilir, aynı mile bağlı olan jeneratörü döndürmektedir. Türbin kanatlarına çarpan buhar yoğunlaştırıcıdan geçerek su haline gelerek çevrime devam etmektedir.

Özellikle bu sistemlerde verimi arttırmak için yanma sonucu oluşan yüksek sıcaklıklı baca gazını en verimli şekilde ısı geri kazanımında kullanmak oldukça önemlidir. Bu konuda termik santral prosesinde kullanılan ekonomizer, kızdırıcı, tekrar kızdırıcı, hava ön ısıtıcısı gibi ekipmanlar çevreye atılacak olan atık ısıyı kullanarak yakıttan tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca kazana beslenen suyun da belirli bir sıcaklıkta olması gerekmektedir. Bunu da buhar türbininden ara buhar alarak ilave yakıt ve ısıtıcı gerektirmeden yapmaya olanak sağlayan ısı değiştiriciler kullanılmaktadır. Ayrıca ekipman ve ilave yakıttan tasarruf etme amacıyla türbin tahrikli kazan besleme suyu kullanımı ve ana türbin şaftına bağlı yağlama pompası gibi sistemler verimi artırıcı yönde olmaktadır.

Büyük ölçekli buhar santrallerinde termodinamik verimi arttırmak için süperkritik değerlerde çalışan sistemler tasarlanmaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınçlı buhar değerleri ile santralin verimi artmaktadır. Bu çalışmada süperkritik şartlarda çalışan bir termik santral için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Bununla birlikte ekipman ve santralin termoeconomik analizi gerçekleştirilmiştir.



# **ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF A COAL FIRED THERMAL POWER PLANT OPERATING AT SUPERCRITICAL CONDITIONS**

## **SUMMARY**

Nowadays, because of with the development of industry and growing the life condition, energy using became more important. With increasing the energy using, the serious studying and plannig are made about the energy generation technology, using the natural resource efficiently and the relationship with environment of plant. In the future energy consumption is expected to grow by day. So it is inetivable to use existing reserves of natural resources in the most efficient manner. This will be possible to design power plants and energy consuming device more efficiently.

A large part of energy generation of our country in realized in thermal power plant. These power plants, fired the fuels like coal, natural gas and fuel oil etc than thermal energy is converted to mechanical and electrical energy. At coal-fired power plants the fired coal in the furnace heat the water which circulating in boiler. Than water take the form of steam. The steam is superheated with flue gases than enter the steam turbine to rotate generator. After turbine, by entering the condenser steam is returned to the water and continue the cycle.

Especially in these systems, make heat recovery for increasing the efficient from the flue gas is very important. In this regard, economiser, superheater, reheater and air preheater devices are used in power plant process for decrease the fuel. Also boiler feedwater should be higher temprature. Therefore, turbine driven boiler feedwater pump and main turbine shaft driven oil pump is using in power plants for increasing the efficient.

In the big capacity power plants, supercritical work condition system is designed for increasing the thermodynamic efficient. The power plant efficient is increasing with high steam temperature and steam pressure. In this study, energy and exergy analysis will be done for a supercritical work condition thermal power plant. Also device and general power plant efficient will be calculated and thermoeconomic analysis will be examined.



## 1. GİRİŞ

Enerji tüketimi devletlerin gelişim aşamalarını gösteren ve toplumların yaşama standardını belirleyen en önemli göstergelerden biridir. Nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme ve teknolojik gelişmeler sonucu doğrudan enerji tüketimi artmaktadır. Bu hızlı büyüme ciddi çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu yüzden tasarlanan ya da işletilmekte olan enerji tesislerinin verimli olması önem kazanmaktadır. Termodinamiğin birinci yasası enerji verimliliğini değerlendirmek için yapılan analizlerde gerekli olsa da birinci yasa ile yapılan analiz bir enerji sisteminin çeşitli bileşenlerinin potansiyelleri hakkında tam bir sonuç vermez. Bu durum tasarımda ve üretimde uyumu bozar. Bir enerji kaynağından elde edebileceğimiz işin üst miktarına ekserji denir. Ekserji, bir sistemin çevresi ile denge haline gelirken yapabileceği maksimum faydalı işi ifade eder. Bu nedenle termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarını birlikte temel alan ekserji analizi, enerji sistemlerinin tasarımında ve performans analizinde daha iyi sonuç vermektedir.

Ekserji analizi ısı sistemlerinin değerlendirilmesinde ve tasarımında etkin bir role sahiptir. Ekserji genel olarak korunmamaktadır. Tam tersine yok olur bunun nedeni de sistemin gerçekleştirdiği tersinmez hal değişimleridir. Ekserji analizi sistemin içinde ne kadar bir enerji kaybı meydana geldiğini ve nerelerde oluştuğunu ortaya çıkarır. Böylelikle sistem içindeki termodinamik verimsizlikler ve kayıplar ortaya çıkarılabilir (Mert ve Özçelik, 2014).

Bu çalışmada, süperkritik şartlarda çalışan kömür yakıtlı bir termik santralin enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizleri yapılmıştır. Bunun için termik santral çevriminde bulunan ekipmanlar ayrı ayrı ve tüm sistem halinde incelenmiştir. Elde edilen bulgular ile sistemin performansı termodinamik yasalar ve ekonomik prensipler temelinde değerlendirilmiştir.

## 1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında ele alınan bir süperkritik termik santralin teorisi ve teknik özelliklerinin detaylı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca enerji ve ekserji analizi yöntemlerinin kullanılmasıyla termik santralin performansının ölçülmesi de hedeflenmiştir. Bununla birlikte, termoeconomik analiz ile ekserji maliyetlendirmesi yapılarak ekserjetik açıdan maliyetler değerlendirilmiştir. Böylelikle ekipman ve santral bazındaki verimlerin, maliyetlerin; doğal kaynak, çevre kirliliği, ülke ekonomisi ve küresel ısınma gibi konular çerçevesinde analiz edilebilme imkanı sağlanmıştır.

## 1.2 Literatür Araştırması

Bir enerji tesisinin performansının enerji ve ekserji analizi ile incelenmesi, enerji üretim tesislerinin teknik özellikleri, termodinamik verim, enerji ve ekserji analizi hakkında temel bilgiler içeren yerli ve yabancı birçok makale ve kitap bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmı aşağıda verilmektedir.

Zeth (1997), “CIBO Energy Efficiency Handbook” isimli kitabında endüstriyel kazanları, kazanlarda kullanılan yardımcı ekipmanları, kazanda enerji verimliliğini incelemiştir. Bununla birlikte ekonomizer, hava ön ısıtıcı, ısı değiştiriciler gibi enerji verimliliğini arttıran ekipmanlar hakkında bilgi vermiştir.

Heper’in (2001) “Buhar Santralleri Teorisi ve Uygulaması” isimli kitabında, buhar santralleri ile ilgili termodinamik kavramlar ve çevrimler, kullanılan yakıtlar ve özellikleri, buhar santrallerinin tarihsel gelişimi anlatılmıştır. Bununla birlikte buhar kazanı, buhar türbini, su hazırlama sistemleri, santralde kullanılan malzemelerin yapısı, santralde bakım, işletme ve çevre ile ilgili konulara detaylı olarak yer verilmiştir.

Dinçer ve diğ. (2001) yaptığı çalışmada enerji, ekserji ve entropi kavramları hakkında genel bir değerlendirmede bulunmuştur. Termodinamiğin 1.ve 2. yasaları temelinde bu üç kavram arasındaki ilişki gösterilmiştir. Enerji ve ekserji arasındaki temel farklıklar açıklanmıştır.



Filiz ve diğ. (2014) demir-çelik endüstrisinde proses buhar ihtiyacını karşılamak için kullanılan 25 bar basınç ve 385°C sıcaklıkta 50 t/h buhar kapasiteli su borulu kazan için enerji ve ekserji analizi yapmışlardır. Kazanda yakıt olarak kok gazı, yüksek fırın gazı ve konverter gazı kullanılmıştır. Ekserji analizi ile kazan besleme suyu, yakıt, yakma havası ve baca gazı ekserjileri ayrı ayrı hesaplanarak buhar kazanının enerji ve ekserji verimi bulunmuştur.

Makhanlall ve diğ. (2015) tarafından düşük ve orta kalite buhar ile üretim yapabilen bir jeotermal güç santralinde ekserji analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmada jeotermal kuyu ve soğutma çevrimi akışlarını içeren geniş kapsamlı bir ekserji akış diyagramı hazırlanmış ve jeotermal güç santralinin termodinamik veriminin artırılması için öneriler sunulmuştur.

Hasti ve diğ. (2013) tarafından ultra süper-kritik güç santrali ekserji yöntemi ile analiz edilmiştir. Yapılan çalışmada Microsoft Excel programı kullanılarak linyit kömür yakıtlı 422 MW net kapasiteli santral için bir analiz modeli geliştirilmiştir. Bu modelde temel olarak kömür tüketimi, enerji dengesi, entalpi dengesi, entropi değişimleri ve ısı transferi hesaplanmıştır.

Kaushik (2010) çalışmasında termik santraller için enerji ve ekserji analizini kömür yakıtlı ve doğalgaz kombine çevrim santraller olmak üzere iki başlıkta incelemiştir. Birçok termik santralin verilerinden yararlanan çalışmada enerji ve ekserji analiz denklemlerini her iki tip santral için uyarlamıştır. Sonuç olarak kömür yakıtlı termik santrallerde en yüksek kaybın kazanda meydana geldiği bulunurken doğalgaz kombine çevrim santrallerinde en yüksek kaybın yanma odasında olduğu tespit edilmiştir.

Mert O.S. ve diğ. (2014) 1523 MW gücünde olan bir doğalgaz kombine çevrim santrali için ekserji analizini uygulamıştır. İki bloktan oluşan santralde her bir blokta 2 adet gaz türbini, 2 adet atık ısı kazanı, 1 adet buhar türbini, 1 adet yoğusturucu ve 1 adet soğutma kulesi bulunmaktadır. Analiz edilen santralde gaz türbininde, atık ısı kazanında buhar türbininde ekserji ve performans incelemesi yapılmıştır. Sonuç olarak yanma odasında ve baca gazı ile yok olan ekserjinin diğer kısımlara nispeten çok daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Ünver ve diğ. (2005) toplam gücü 1400 MW olan 2 üniteden oluşan doğalgaz kombine çevrim santralının termodinamik analizini yapmıştır. Her üniteye 2 adet gaz türbini, 1 adet buhar türbini ve 2 adet atık ısı kazanı bulunmaktadır. Yapılan çalışmada değişik işletme koşullarında termodinamiğin birinci ve ikinci kanun analizleri uygulanmıştır. Her bir ünite için faydalı güç, tersinir güç ve tersinmezlik miktarları tespit edilerek santral genel verimi hesaplanmıştır. Sonuç olarak atmosfer sıcaklığındaki artışın sistemin genel verimini azalttığı tespit edilmiştir.

Kaya (2008) çalışmasında, teorik olarak incelediği bir santralin buhar çevriminin verimini ekserji analizi yöntemiyle hesaplamıştır. Yapılan hesaplamalarda türbin giriş basıncı 4 MPa – 8 MPa çıkış basıncı ise 100 kPa – 400 kPa arasında; türbin giriş sıcaklığı ise 250°C ile 800°C arasında değerler alınarak türbin çıkış gücü ve ekserji verimliliği irdelenmiştir. Sonuç olarak kazan buhar basıncının artması ve türbin çıkış basıncının azalması ile verimin arttığı belirlenmiştir.

Adibhatla ve diğ. (2014) 660 MW gücünde kömür yakıtlı süperkritik bir termik santralde enerji ve ekserji analizi uygulaması yapmıştır. Çalışmada santralin %100 (660 MW), %80 (528 MW) ve %60 (396 MW) yükte çalıştığı durumlarda sabit basınçtaki işletme koşullarında hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen bulgular temelinde kazan, türbin, ısıtıcı, pompa ve deaerör gibi ekipmanlarda enerji ve ekserji kayıpları belirlemiştir.

Bayrak ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada, 11,52 MW elektrik üretim, 9 t/h buhar ve 140 t/h sıcak su üretim kapasiteli içten yanmalı dizel motor tabanlı bir kojenerasyon tesisinde termodinamik verim belirleme çalışması yapmıştır. Çalışmada içten yanmalı motor ve tesisin diğer ekipmanlarının performans karakteristikleri değerlendirilmiştir. Ayrıca bu ekipmanlar için ekserji tahribi ve ekserji verimi elde edilmiştir. Sonuç olarak verilen enerjinin %39,86'lık kısmı elektrik enerjisine, %8'lik kısmı buhara ve %1,26'lık kısmı da sıcak suya aktarılmıştır. Geriye kalan %50,88'lik kısım ise kayıp olarak belirlenmiştir.

Rashad ve diğ. (2009) Mısır'da bulunan 4x315 MW gücündeki doğalgaz ve mazot yakıtlı enerji santralinde enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Çalışma buhar türbini bulunan 315 MW'lık bir üniteye yapılmıştır. Sonuç olarak çevreye olan enerji kaybının en fazla yoğunlaştırıcuda olduğu tespit edilmiştir (Tam yükte 404,653 MW; %75 yükte 306,474 MW; %75 yükte 278,849 MW). Analiz esnasında %100, %75 ve %50 kapasiteli çalışma değerleri göz önüne alınmış ve kayıp bu değerlere göre ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Mert M.S. (2010) çalışmasında, bir demir çelik fabrikasının kuvvet santraline ait 2 adet gaz türbini, 2 adet atık ısı kazanı, 4 adet türbin ve 4 adet turbo körük grubu ve 5 adet buhar kazanından oluşan toplamda 195 MW güç ve 760 t/h buhar üretim kapasiteli bir tesisin ekserji ve termoekonomik analizlerini yapmıştır. Çalışmada proseste bulunan tüm cihazların enerji verimi, ekserji verimi, ekserji tahribi ve geliştirme potansiyeli değerleri elde edilmiştir.

Cziesla ve diğ. (2009) 800 MW'lık kömür yakıtlı ultra süperkritik bir santralin tanıtımını yapmış ve verimi konusunda fikir yürütmüştür. 280 bar ve 600°C ana buhar parametreleri ile genel santral veriminin %45'e kadar çıktığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, ultra süperkritik santral teknolojisiyle CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin azaldığı vurgulanmıştır. Yanma işlemi optimizasyonunda, buhar basıncının artırılması, yoğunlaştırıcı basıncının düşürülmesi ve buhar türbinlerinin iç veriminin artırılması ile santral genel veriminin arttığı değerlendirilmiştir.

Koroneos ve diğ. (2014) linyit yakıtlı 300 MW gücündeki bir termik santralde ekserji analizi yapmıştır. Santralde verim artırma yöntemleri için mevcut linyit yakıtlı santral ile 3 adet kojenerasyon santrali karşılaştırılmıştır. Yapılan ekserji analizinin sonucunda önerilen kojenerasyon santrallerinin mevcut santrale göre önemli verim artışının olduğu belirlenmiştir.

Ege ve diğ. (2014) büyük ölçekli linyit yakıtlı bir termik santralde enerji ve ekserji verimlerindeki belirsizlikleri incelemiştir. Çalışmalarında tasarım değerinin %100, %85, %80, %60 ve %40'ı olmak üzere 5 farklı durum için santralin gerçek işletme verilerini kullanmışlardır. Uygulamada ünite yükünün %40 ile %100 arası olduğu durumlarda, enerji verimi belirsizliğinin %1,82 ile %1,98 arası ve ekserji veriminin belirsizliğinin ise %1,32 ile %1,43 arası olduğu gösterilmiştir.

Singh ve diğ. (2013) tarafından bir kömür yakıtlı bir güç santralinde enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Simülasyon çalışmaları ile düşük sıcaklıklı egzoz gazının elektrik enerjisine dönüşümü incelenmiştir. Elde edilen bulgular neticesinde en yüksek ekserji tahribinin buharlaştırıcıda olduğu bulunmuştur.

Pambudi ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada Endonezya’da bulunan ikinci yasa verimi %36,48; jeotermal kuyu kapasitesi 59,52 MW olan 21,71 MWe gücündeki jeotermal santralin enerji-ekserji analizi ve optimizasyonu yapılmıştır. Hesaplamalar, “Engineering Equation Solver” (EES) isimli yazılımla gerçekleştirilmiştir. Santraldeki optimizasyon çalışması su ile buharı ayıran tank üzerinden yürütülmüştür. Sonuç olarak ayırıcı tank basıncının 9 bar’dan 10 bar’a çıkartılması ile üretilen enerjide 20 kW’lık bir artış sağlandığı bulunmuştur.

Elsafi (2015) tarafından güneş temelli güç santrali için ekserji maliyet analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, yeniden kızdırmaz ve buhar-buhar ısı dönüştürücülü yeniden kızdırmalı tip olmak üzere iki tip üzerinde durulmuştur. Ekserji analizi sonucunda en çok ekserji tahribinin solar alan, yoğuşturucu, yüksek basınç türbini ve alçak basınç türbininde oluştuğu gözlenmiştir.

Peng ve diğ. (2014) Çin’de faaliyet gösteren 330 MW’lık güneş destekli hibrit güç santrali için ekserji analizi yapmıştır. Yapılan çalışmada, 300 °C’nin altındaki güneş temelli ısı enerjisi ile türbinden ara buhar alınarak besi suyunun ısıtılması incelenmiştir. Sonuç olarak güneş destekli hibrit santralindeki ekserji tahribinin hibrit olmayan güneş santraline göre daha düşük olduğu bulunmuştur.

Vandani ve diğ. (2014) bir buhar santralinde kazan blöf ısısının geri kazanımı için ekserji analizi ve optimizasyon çalışması yapmıştır. Santral verimini arttırmak için farklı algoritmalar içeren iki farklı tip optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak, kazan blöf ısısını geri kazanarak net çıkış gücünün %0,78 oranında arttığı gözlemlenmiştir.

Soltani ve diğ. (2013) biyokütle temelli gaz üretim ünitesi ile birlikte işletilen bir kombine çevrim güç santraline ileri ekserji analizini uygulamışlardır. Yapılan çalışmada, sistemin geliştirilmesi için bileşenler arasındaki etkileşimler dikkate alınmıştır. Sonuç olarak bileşenler arasındaki etkileşimin zayıf olduğu, bileşenlerin iç ekserji tahribinin dışa oranla daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Medellin ve diğ. (2014) bir güç santralının tasarımında Pinch ve ekserji analizi yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir çalışma yapmıştır. Elde edilen bulgular neticesinde çevrim veriminde %0,81 oranında artış sağlanabileceği hesaplanmıştır.

### **1.3 Hipotez**

Yapılan uygulamalarda görülmüştür ki bir enerji tesisi prosesinde çevreye olan enerji kaybının en fazla olduğu ekipman kazan veya yanma odalarıdır. Santral tipine göre ayrıldığında, kömür yakıtlı santraller için kazan içi yanma odasında, gaz türbinleri bulunan santraller ve içten yanmalı motorla tahrik edilen santraller için ise yanmanın olduğu bölümde olduğu gözlenmektedir. Ayrıca atık ısının geri kazanılması halinde santral genel verimi de arttırılabilir.



## **2. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ**

Enerji ve ekserji analizleri, enerjinin etkin ve verimli kullanımını sağlamak amacıyla gerçekleştirilen bir analiz şeklidir ve termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarını ilke edinir. Mühendislik sistemlerinin tasarım ve analizlerinde yalnızca enerji analizi yeterli değildir çünkü ısı ve iş arasındaki farkı önemsemez ve sadece tüketilen enerji miktarını hesaplar. Bu sebeple, ikinci yasa yardımıyla ekserji analizi yapılarak termodinamikte önemli bir yeri olan tersinmezliklerden kaynaklanan ekserji kayıpları hesaplanabilmektedir. Böylece incelenen sistemlerin performans değerlendirmeleri daha uygun bir sonuç vermektedir (Filiz ve diğ, 2014).

### **2.1 Enerji Kavramı**

Birçok proses enerji aktarımı ve enerji dönüşümlerini içermektedir. Bir hidroelektrik santralde potansiyel enerji hidrolik türbinde mekanik enerjiye dönüşür. Mekanik enerji ise türbine bağlı jeneratör ile elektrik enerjisine çevrilir. Buhar santrallerinde kimyasal ya da nükleer enerji kazan ya da reaktörde ısı enerjisine çevrilir. Bu enerji suyu kızgın buhar haline getirmek için kullanılır. Kızgın buhar türbini döndürür, bunun sonucunda mekanik enerji jeneratörü çevirir ve elektrik enerjisi üretilir. Bir yakıt hücresi iyon değiştirilen membran ile kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Yakıt olarak hidrojen iyonize olduğu zaman membrana doğru anottan katoda doğru akar. Anottan serbest kalan elektronlar harici bir yüke akar. Tüm bunlar mühendislik uygulamalarının sadece bir kısmıdır.

### 2.1.1 Termodinamiğin 1. kanunu ve enerji

Termodinamiğin 1.Kanununa göre enerji yoktan var edilemez, vardan da yok edilemez. Sadece şekil değiştirir. Toplam enerji  $E$ , prosesteki bütün enerji tiplerinin toplamı olarak ve proseste enerji bileşenlerindeki değişimler de  $\Delta E_{sis}$  olarak ifade edilir. Elektrik, manyetik ve yüzeysel etkilerin toplamı olan iç enerji, potansiyel ve kinetik enerjiler (2.1) denklemindeki gibi gösterilir.

$$E = U + KE + PE \quad (2.1)$$

$$\Delta E_{sis} = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (2.2)$$

Burada  $E$  enerjiiyi,  $U$  iç enerjiiyi,  $KE$  kinetik enerjiiyi,  $PE$  potansiyel enerjiiyi,  $\Delta E_{sis}$  sistemin net enerjisini,  $\Delta U$  net iç enerjiiyi  $\Delta KE$  net kinetik enerjiiyi,  $\Delta PE$  net potansiyel enerjiiyi ifade etmektedir.

Enerji sistem içinde  $Q$  ısı;  $W$  iş;  $m$  Kütle akışı olarak üç formda aktarılabılır. Sistem sınırları boyunca enerji etkileşimleri olduğu kabul edilir ve proses boyunca enerji kaybı ya da kazanımı belirlenir. Herhangi bir tip prosesteki enerji dengesi (2.3) denklemindeki gibidir;

$$\dot{E}_{gir} - \dot{E}_{çık} = \frac{dE_{sis}}{dt} \quad (2.3)$$

Buradaki  $\dot{E}_{gir}$  sisteme giren enerjiiyi,  $\dot{E}_{çık}$  sistemden çıkan enerjiiyi,  $\frac{dE_{sis}}{dt}$  ise sistemin net enerjisini ifade etmektedir. Bu denklemin birim kütle başına gösterimi (2.4) denklemindeki gibidir. Denklemdaki  $e_{gir}$  sistemde birim kütle olarak giren enerji,  $e_{çık}$  birim kütle başına çıkan enerji  $\Delta e_{sis}$  ise birim kütle olarak net sistem enerjisidir.

$$e_{gir} - e_{çık} = \Delta e_{sis} \quad (2.4)$$

Kapalı sistemlerde ya da madde akışı sabit olan sistemlerde iki çeşit enerji etkileşimi vardır. Bunlar ısı aktarımı ve iştir. Bu sistemlerde giren ve çıkan enerjilerin farkı sifıra eşittir. Bu durumda denklem (2.5) deki gibi olur.

$$\frac{dE_{sis}}{dt} = \dot{E}_{gir} - \dot{E}_{çık} = 0 \quad (2.5)$$



Enerji dengesinden  $\dot{E}_{gir} = \dot{E}_{çık}$  denklemi ortaya çıkar. Kapalı sistemlerde sistem sınırından içeri herhangi bir kütle girişi veya çıkışı olmaz.

Kontrol hacmi ise P basıncında akışkan akımı içerir, bu akışkan bir piston gibi ters akım meydana getirir. Böylece sınırdaki Pv birim kütle başına iş meydana getirir. Sonuç olarak, akış işi ile iç enerji (2.6) denklemindeki entalpi kavramında birleşir. Burada h birim kütle başına entalpiyi, u birim kütle başına iç enerjiyi, P basıncı, v ise birim kütle başına hacmini (özgül hacim) göstermektedir.

$$h = u + Pv \quad (2.6)$$

Kinetik ve potansiyel enerjisi ihmal edilen adyabatik buhar türbininde ise alttaki denklem geçerlidir.

$$\dot{m}h_1 = \dot{W}_{net} + \dot{m}h_2 \quad (2.7)$$

Burada  $\dot{m}$  kütleli debi,  $h_1$  giriş entalpi,  $h_2$  çıkış entalpi  $\dot{W}_{net}$  de net iştir.

Sürekli akışlı açık sistemlerde özellikler kontrol hacmi içinde değişebilmekte ancak zamana göre değişmemektedir. Bu sistemlerde enerji denkliği aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}_g (h_g + V_g^2/2 + g \cdot z_g) - \dot{m}_ç (h_ç + V_ç^2/2 + g \cdot z_ç) \quad (2.8)$$

Burada  $\dot{Q}$  ısı enerjisini,  $\dot{W}$  işi,  $\dot{m}$  kütleli ifade etmektedir.

## 2.2 Ekserji Kavramı

Termodinamikte problemlerin çözümünde sistemler çevreleri ile modellenir. Sistem ve çevresi arasındaki farklılıklar nedeniyle gerçekleşen hal değişimlerinden dolayı sistemlerin iş üretebileceği bilinmektedir. Ancak bu işin miktarının üst sınırı ekserji olarak adlandırılan kavram ile açıklanmaktadır. Ekserji, herhangi bir termodinamik yasına karşı gelmeden bir düzeneğin verebileceği işin miktarındaki üst sınırı temsil etmektedir ve sistem halinin çevre haline olan durumunun bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Bir başka ifadeyle; ekserji, referans çevre özelliklerinin sonsuz olarak kabul edildiği durumda sistemden denge haline gelinceye dek elde edilebilecek en fazla yararlı iş olarak açıklanır. Genel olarak çevre sıcaklığı, basıncı ve kimyasal bileşimi ile beraber değerlendirilir. Ekserji sadece termodinamik özellikten ziyade sistem ve referans çevrenin birlikte bir özelliğidir.

Ekserji karakteristik olarak sadece sistem ve çevrenin tersinir olduğu proseslerde korunur. Tersinmezliğin olduğu proseslerde ekserji daima yok olur. Termodinamik olarak incelenen sistemlerin analizinde ekserji kaybı, boşa harcanan iş ya da potansiyel gibi termodinamik kayıpları sayısal olarak ifade etmek için kullanılabilir. Enerji gibi ekserji de bir sistemin sınırından aktarılabilir. Enerjideki tüm aktarım şekilleri ekserji ile benzerdir.

**Çizelge 2.1:** Enerji ve ekserji arasındaki farklar (Dinçer ve Çengel, 2001)

<b>ENERJİ</b>	<b>EKSERJİ</b>
Çevresel parametrelere bağlı değildir sadece madde ya da enerji akışına bağlıdır.	Çevresel, madde veya enerji akışı parametrelerin her ikisine de bağlıdır.
Bütün proseslerde termodinamiğin 1. yasasıyla gösterilir.	Termodinamiğin 1. yasası sadece tersinir proseslerde kullanılır. (Tersinmez proseslerde ise kısmen veya tamamen yok olur)
Bütün proseslerde termodinamiğin 2. yasasıyla sınırlıdır (tersinir olanlar da dahil olmak üzere)	Tersinir prosesler için termodinamiğin 2. yasasından sınırlı değildir.
Hareket edebilme veya hareketi üretme kabiliyetidir.	İş veya iş yapabilme kabiliyetidir.
Bir proseste daima korunur. Vardan yok edilemez, yoktan da var edilemez.	Tersinmez proseslerde daima yok edilir, tersinir proseslerde her zaman korunur.
Miktar (nicelik) ölçüsüdür.	Nicelik ve entropi nedeniyle niteliğin (kalitenin) ölçüsüdür.

### 2.2.1 Ekserji analizi

Ekserji analizinde referans çevre durumunun tamamen belirtilmesi gerekir. Bu genellikle çevrenin sıcaklığının, basıncının ve kimyasal bileşiminin belirtilmesiyle olur. Ekserji analizi, enerji sistemlerini tasarlamak ve geliştirmek için kullanılan, kütlelerin korunumu ile birlikte termodinamiğin 1. ve 2. yasalarını temel alan bir yöntemdir. Ekserji bir akımın veya sistemin verilen şartlardan çevre ile aynı şartlara

(ölü hal) getirilmesi sonucu bir sistemden elde edilebilecek teorik miktardaki işin üst sınırını göstermektedir. Bundan dolayı hal değişimi süresince sistem içerisinde meydana gelen kayıpların yerlerini ve miktarını belirleyebilmektedir. Bu nedenle ekserji analizi mevcut sistemlerde verimsizliğin azaltılmasına ve daha verimli enerji sistemlerinin tasarlanmasına olanak sağlar. En önemlisi ise ekserji analizinin doğal kaynakların kullanım oranı ve çevre kirliliğinin azaltılmasında rol oynamasıdır. (Dinçer ve Çengel, 2001)

## 2.2.2 Ekserjinin bileşenleri

### 2.2.2.1 Kinetik ve potansiyel ekserji

Bir sistemde manyetik, nükleer, elektrik ve yüzey gerilim etkilerinin olmadığı durumda sistemin ekserjisi dört bölümde incelenebilir. Bunlar; Potansiyel ekserji  $\dot{E}^{pe}$ , kinetik ekserji  $\dot{E}^{ke}$ , fiziksel ekserji  $\dot{E}^{fz}$ , ve kimyasal ekserji  $\dot{E}^{km}$ 'dir. Bu durumda sistemin toplam ekserjisi  $\dot{E}$  alttaki denklem gibi yazılabilir.

$$\dot{E} = \dot{E}^{pe} + \dot{E}^{ke} + \dot{E}^{fz} + \dot{E}^{km} \quad (2.9)$$

Potansiyel, kinetik ve fiziksel ekserji genel olarak termomekanik ekserji şeklinde sınıflandırılır. Buna göre birim kütle başına ekserji, yani özgül ekserji alttaki denklem gibi ifade edilir.

$$e_x = e_x^{pe} + e_x^{ke} + e_x^{fz} + e_x^{km} \quad (2.10)$$

Çevreyle ilgili olarak ekserji incelendiğinde, sistemin potansiyel ve kinetik enerjisinin tamamının işe dönüşebilmesi durumunda alttaki denklemler gibi ifade edilir.

$$e^{pe} = g \cdot z \quad (2.11)$$

$$e^{ke} = \frac{1}{2} \cdot V^2 \quad (2.12)$$

Burada referans alınan noktaya göre V hız ve z yüksekliktir, g ise yerçekimi ivmesidir. Sistemin hareketsiz olduğu varsayılırsa;  $e^{ke}$  ve  $e^{pe} = 0$  olur. Bu halde fiziksel ekserji en yüksek düzeyde elde edilebilecektir. Bununla birlikte, P basıncındaki ve T sıcaklığında sistemde,  $P_0$  basıncındaki ve  $T_0$  sıcaklığında çevreyle fiziksel ve kimyasal etkileşimi neticesinde teorik olarak en yüksek iş elde edilebilir. Bu durumda sistem tam bir denge haline geçer.

### 2.2.2.2 Fiziksel Ekserji

Kapalı sistemler için fiziksel ekserji  $\Xi^{fz}$  aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\Xi^{fz} = (U - U_0) + P_0 (V - V_0) - T_0 (S - S_0) \quad (2.13)$$

Denklemden V, U, ve S, sırasıyla; hacim, iç enerji, ve entropiyi ifade etmektedir.  $V_0$ ,  $U_0$ , ve  $S_0$  değerleri benzer özelliklerde olup sistemin sınırlı denge hali değerleridir.

### 2.2.2.3 Kimyasal Ekserji

Kimyasal ekserjiden elde edilebilecek maksimum iş, sistemin veya maddenin sınırlı denge halinden denge haline geçmesi sonucunda mümkün olmaktadır. Çevre dengesi ( $P_0, T_0$ ) olduğu durumlarda saf bileşenlerin konsantrasyonlarının kısmi basınçlarından ( $P_{00,i}$ ) gidilerek her bir bileşenin kimyasal ekserjileri  $\Xi_{oi}$  aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır. Buradaki R gaz sabitidir.

$$\Xi_{oi} = R \cdot T_0 \ln(P_0/P_{00,i}) \quad (2.14)$$

Bununla birlikte, gaz karışımları ve ideal sıvıların ekserjileri ise alttaki bağlantı ile elde edilir.

$$ex^{km} = \sum_i x_i [ ex_{oi} + R \cdot T_0 \ln(x_i) ] \quad (2.15)$$

Denklemden  $x_i$ , maddenin bileşimindeki mol sayısını,  $ex^{km}$  kimyasal ekserjiyi,  $ex_{oi}$  standart kimyasal ekserjiyi, R gaz sabitini,  $T_0$  çevre sıcaklığını gösterir. Ayrıca kimyasal ekserjinin gerçek çözümlerinde aşağıdaki bağıntıdan da faydalanılabilir. Denklemden  $\gamma_i$ , i bileşenin aktiflik katsayısıdır (Özgener ve Hepbaşlı, 1999).

$$ex^{km} = \sum_i x_i [ ex_{oi} + R \cdot T_0 \ln(\gamma_i x_i) ] \quad (2.16)$$

## 2.2.3 Ekserji transferi

### 2.2.3.1 Isı ve iş ile ekserji transferi

Çevre sıfır dereceli bir ısı enerji deposu olduğu varsayılarak kontrol yüzeyinde meydana gelen ısı transferine ait ekserji, bu ısı enerjisinden elde edilebilecek azami iş miktarı olarak tanımlanır. Kontrol düzeyinde T sıcaklığında bir nokta ya da bölgede gerçekleşen ısı aktarım hızı Q ise ısı enerjiden işe dönüşüm için en büyük

dönüşüm hızı alttaki denklem ile verilir (2.17). Buradaki  $W_{\max}$  maksimum işi,  $\tau$  ise birimsiz ekserji sıcaklık katsayısını ifade eder.

$$W_{\max} = Qr_{\tau} \quad (2.17)$$

$$\tau = 1 - \frac{T_0}{T_r} \quad (2.18)$$

Kontrol yüzeyinde T sıcaklığının yüzey üzerinde değişken olduğu durumlarda,  $\dot{Q}_A$  birim alan başına geçiş hızı (ısı akısı) biliniyorsa ve A ısı geçiş alanı biliniyorsa ısı  $\dot{E}_Q$  ekserji akışını belirten denklem aşağıdaki gibidir. Burada  $T_0$  çevre sıcaklığını ifade etmektedir.

$$\dot{E}_Q = \int A \cdot \frac{T-T_0}{T} \cdot \dot{Q}_A \cdot dA \quad (2.19)$$

### 2.2.3.2 Madde akışı ile ekserji transferi

Kararlı bir madde akışındaki ekserji, akışın sadece çevreyle girdiği etkileşimler esnasında gerçekleşecek işlemler dikkate alınmak kaydıyla ve akışın herhangi bir başlangıç durumundan ölü durumuna getirilmesi durumunda, elde edilebilecek azami iş miktarıyla belirlenir. Böylelikle bir maddenin akış ekserjisi, akış durumunun ve çevre durumunun belirlediği özelliktir.

Dış sıcaklık  $T_0$  durumunda açık sistemlerde ise ekserji dengesi ise alttaki denklem ile ifade edilir. Burada  $\dot{E}$  ekserjiyi,  $T_0$  referans sıcaklığını,  $P_0$  referans basıncını  $\dot{W}$  işi,  $\dot{Q}$  ısıyı,  $\dot{m}_g$  sisteme giren kütle miktarını,  $ex_g$  sisteme giren birim kütle olarak ekserjiyi  $\dot{m}_ç$  sistemden çıkan kütle miktarını,  $ex_ç$  sistemden çıkan birim kütle olarak ekserjiyi ifade eder.

$$\frac{d\dot{E}}{dt} = \sum [1 - \frac{T_0}{T}] \dot{Q} - [\dot{W} - P_0 \frac{dV}{dt}] - \dot{E}_D + \sum \dot{m}_g \cdot ex_g - \sum \dot{m}_ç \cdot ex_ç \quad (2.20)$$

Genel olarak bir maddenin kütle akışında toplam ekserji ise alttaki denklem ile ifade edilir. Burada  $ex$  birim kütle başına ekserjiyi,  $h$  entalpiyi,  $h_0$  çevre entalpisini,  $T_0$  çevre sıcaklığını,  $v$  hızı,  $z$  yüksekliği,  $g$  yerçekimi ivmesi,  $s$  entropiyi,  $ex^{km}$  birim kütle olarak kimyasal ekserjiyi ifade etmektedir (Kaya, 2008).

$$ex = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{1}{2}(v^2 - v_0^2) + g(z - z_0) + ex^{km} \quad (2.21)$$

## 2.2.4 Çevre ve denge

Bir sistem ile çevresi arasında sıcaklık, basınç, hız veya yükseklik farkı var ise bu durumda iş transferi potansiyeli olduğunu göstermektedir. Sistem çevre ile eşit şartlarda olduğunda ise bu potansiyel yok olur. Bu sebeple çevre diğer sistemlerin iş potansiyellerini belirlemek için bir referanstır. Sistem ile çevresi arasında denge olduğu duruma ölü durum denilmektedir. Ölü durumda sistem ile çevre arasında ısı, mekanik, kimyasal denge hali olduğundan sistemin basıncı, sıcaklığı kimyasal durumu çevrenin değerlerine eşittir.

## 2.2.5 Ekserji verimi ve ekserji tahribatı

İkinci kanun verimi ya da ekserji verimi, kullanılabilir enerji kavramından yararlanarak işlemin ne derece iyi olduğunun incelenbilmesini olanak sağlar. Buna göre, ekserji verimi toplam çıkış ekserjisinin toplam giriş ekserjine oranı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\varepsilon = \frac{\sum \dot{E}_P}{\sum \dot{E}_F} \quad (2.22)$$

Burada  $\varepsilon$  ekserji verimi,  $\sum \dot{E}_P$  toplam yakıt ekserjisini,  $\sum \dot{E}_F$  ise toplam yakıt ekserjisini ifade eder. Kayıp ekserji, sistemdeki tersinmezliğin bir sonucu olduğundan dolayı, tersinmezliğe eşittir. Sisteme giren toplam ekserji, sistemden çıkan toplam ekserji ve ekserji kaybının toplamına eşittir. Ekserji dengesi alttaki denklem ile ifade edilir.

$$\sum \dot{E}_F = \sum \dot{E}_P + \sum \dot{E}_T + \sum \dot{E}_L \quad (2.23)$$

Bu denklemde  $\sum \dot{E}_T$  toplam ekserji tahribini ve  $\sum \dot{E}_L$  toplam kayıp ekserjisini ifade eder (Filiz ve diğ., 2014).

Sürtünme, karıştırma, kimyasal reaksiyonlar, ısı transferi ve sınırsız genleşme daima entropi üretir ve üretilen entropi daima ekserji tahribine neden olur. Tahrip olan ekserji üretilen entropi ile orantılıdır.

$$\dot{E}_T = T_0 \times S_{\text{üret}} \geq 0 \quad (2.24)$$

Ekserji tahribi fiili bir proses için pozitif miktarda, tersinir proseslerde sıfır olur. Ekserji tahribi kayıp iş potansiyelini temsil eder ve bu tersinmezlik yada kayıp iş olarak adlandırılır. (Çengel and Boles,2007)

### 3. TERMOEKONOMİK ANALİZ

Geçmişte termoekonomi terimi ekserji ve ekonomi analizinin uygun bir kombinasyonunu belirtmek için kullanılmıştır. Bu analizin asıl bileşeni enerjiden ziyade ekserji maliyetini belirlemektir. Termoekonomik analizin amaçları ve sonuçları alttaki şekilde belirtilmektedir. Buna göre termoekonomik analiz;

- Bir enerji sistemi içindeki termodinamik kayıpların yerini, büyüklüğünü ve kaynağını belirlemek için,
- Ekserji yıkımı ve ekserji kaybı ile ilgili maliyetlerin hesaplanması için,
- Enerji dönüşüm sistemlerindeki her bir ürün için üretim maliyetlerini değerlendirmek için,
- Bir enerji sisteminin tasarım aşamasında fizibilite ve iyileştirme çalışmalarının yanı sıra mevcut sistemlerde süreç iyileştirme çalışmalarını kolaylaştırmak için,
- İlgili tesisin bakım, işletme ve araştırma maliyetleri konusunda karar almada yardımcı olmak için,
- Teknik alternatifleri karşılaştırmak için kullanılır (Tsatsaronis, 1993).

#### 3.1 Tarihsel Gelişim

- J.H. Keenan ekserjiyi, maliyet akışı ilk kez ele almıştır (Keenan, 1932).
- Evans, R.B. ve Tribus, M., El-Sayed, Y.M. ve Evans, R.B. termoekonomik adı altında ekserji maliyeti üzerinde çalışmalar yapmıştır (Evans and Tribus,1962) (El-Sayed and Evans, 1970).
- E.Bergman ve K.R. Schmidt, bir güç santralinde her bir ekipmanın ekserji maliyetini araştırmışlardır (Bergman and Schmidt, 1967).

- Gaggioli, R.A. ve Wepfer, W.J., ile Reistad, G.M. ve Gaggioli, R.A., ekserji maliyet hesabını bir çok sisteme uyarlamışlardır (Gaggioli ve Wepfer, 1980) (Reistad ve Gaggioli, 1980).
- K.F. Knoche, J.E. Funk, ekserji verimi ve ürün maliyetini diyagram olarak ele almışlardır (Knoche and Funk, 1977).
- A.Valero vd., ekserji maliyeti konusunda çalışmalar yapmıştır (Valero ve diğ, 1986).
- Bejan, A. vd. Termal Dizayn ve Optimizasyon isminde yayınladıkları kitaplarında ekserji maliyeti ilgili bilgilendirmede bulunmuştur (Bejan ve diğ, 1996).
- Gama Cerqueira, S.A.A ve Nebra, A.S., 1999 yılında bir tesisin ısı ve ekonomik verileri ile tasarım ve iyileştirme çalışması yapmışlardır (Gama ve Nebra, 1999).
- Lazzaretto ve G. Tsatsaronis termal sistemlerin maliyet ve verimlilik analizleri için SPECO (Spesifik Ekserji Maliyeti Metodu) isimli bir analiz metodu geliştirmişlerdir (Lazzaretto and Tsatsaronis, 2002).

### 3.2 SPECO Metodu ile Termoeconomik Analiz

A. Lazzaretto ve G. Tsatsaronis geliştirdiği bu metot üç aşamadan oluşmaktadır.

#### I. Ekserji Akışlarının Tanımlanması:

İlk olarak analiz yapılan bileşenlerin toplam ekserjiyi ya da akışların ayrı ekserji formları halinde kullanılması konusunda karara varılmalıdır. Ayrı ekserji formları dikkate alındığında doğruluk artacaktır. Ancak bu artış çoğu zaman eksergoekonomik değerlendirmeden ana sonuçları çıkarmak için marjinal ve gerekli değildir. Ekserji formlarının kullanımı ile ilgili karara varıldıktan sonra giren ve çıkan materyallerin ekserji akışlarının tanımlanması ve değerlerinin hesaplanmalıdır.



## II. Yakıt ve Ürün Tanımı:

Ürün, sistemden çıkan bütün ekserji akımlarının toplamı ile giriş ve çıkıştaki ekserji farkının toplamı olarak tanımlanır. Yakıt ise benzer olarak giren tüm ekserji akımlarının değerlerinin toplamı, çıkış ve girişteki ekserji farkı toplamı olarak tanımlanır. Pratikteki ürün ve yakıtın yukarıdaki tanımlamaları uygulamak için bir karar alınmalıdır. Bir bileşenin performansını değerlendirilmesinde bileşen, genel, anlamlı ve bileşenin giriş-çıkış akışları ile ilişkili ekserji farkları ile işletilmesi uygun olmalıdır. Ekserji farkları tüm fiziksel ve kimyasal ekserji değişimleri ile ilgili ekserji akışları için hesaplanmalıdır.

Bununla birlikte, kimyasal ekserji dönüşümünü kapsayan bazı durumlarda bileşenin işletme ve sahip olma amacı çıkış tarafındaki kimyasal ekserji ürün tarafı olarak, girişteki kimyasal ekserji yakıt tarafı olarak kabul edilir.

## III. Maliyet Denklemleri:

Maddenin ekserji transferi ile ilgili giriş ve çıkış akım ekserjileri  $\dot{E}_g$  ve  $\dot{E}_ç$ , güç  $W$ , ısı transferi ile ilgili ekserji transfer oranı  $\Xi_q$  olarak gösterilince sırasıyla aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\dot{C}_g = c_g \cdot \dot{E}_g = c_g \cdot \dot{m}_g \cdot ex_g \quad (3.1)$$

$$\dot{C}_ç = c_ç \cdot \dot{E}_ç = c_ç \cdot \dot{m}_ç \cdot ex_ç \quad (3.2)$$

$$\dot{C}_w = c_w \cdot \dot{W} \quad (3.3)$$

$$\dot{C}_q = c_q \cdot \dot{E}_q \quad (3.4)$$

Denklemlerdeki  $c_g$ ,  $c_ç$  ve  $c_w$  ekserjinin birim başına ortalama maliyetini belirtmektedir.  $\dot{C}_g$ ,  $\dot{C}_ç$ ,  $\dot{C}_w$  ve  $\dot{C}_q$  ilgili akımların maliyetlerini belirtmektedir. Burada  $ex_g$  ve  $ex_ç$  ise kütle bazında ekserjiyi belirtmektedir.

Genel olarak maliyet dengesi denklemi aşağıdaki şekilde belirtilmiştir. Burada  $k$ , akım numarasını,  $\dot{Z}$  ise sermaye yatırımı ile işletme ve bakım maliyetlerinin toplamını ifade etmektedir.

$$\sum (c_ç \cdot \dot{E}_ç)k + c_w \cdot k \cdot \dot{W}_k = \sum (c_g \cdot \dot{E}_g)k + c_q \cdot k \cdot \dot{E}_{q,k} + \dot{Z}_k \quad (3.5)$$

Genel olarak, çıkış bileşenlerinde  $n_e$  kadar ekserji akımı olduğu düşünüldüğünde elimizde  $n_e$  kadar bilinmeyen ve bir tane denklem vardır. Bu nedenle  $n_e - 1$  adet yardımcı denklem hazırlanması gerekir. Bu da ürün (P) ve yakıt (F) prensibi yardımı

ile gerçekleşmektedir. Burada yakıt  $n_{e,F}$  bileşenin yakıtı ile ilişkilendirilen ekserji akımlarının sayısıdır ve denklem sayısına eşittir. P prensibi içinse  $n_{e,P}$  sayısı kadar ekserji akımı mevcutsa denklem sayısı  $n_{e,P}-1$  olmaktadır (Lazzaretto and Tsatsaronis, 2002).



## 4. SÜPERKRİTİK TERMİK SANTRAL TEKNOLOJİSİ

### 4.1 Buharlı Santrallerin Tarihi Gelişimi

Sanayi ve üretimde ilk zamanlarda rüzgâr, su, insan kuvveti ve evcil hayvanlar gibi yöntemler kullanılmaktaydı. Bu durum 1769 yılında İngiliz James Watt'ın ilk buhar makinesini yapmasıyla büyük bir değişikliğe uğradı. 1799 yılında Alman Unna Königsborn buhar makinesi kullanarak büyük bir pompayı çalıştırmıştır. Fransız fizikçi Carnot 1824 de Carnot çevrimini ortaya koymuştur.

1892'de W. Schmidt'in kızgın buhar makinesini ortaya çıkarması ve türbinlerinde geliştirilmesi ile buhar santrallerinin gerçek anlamda gelişimi bu tarihlerde başlamıştır. Yalnızca iç ihtiyaç için elektrik üretmek yerine önce bir binanın tümü daha sonrada bir caddedeki tüm binalar için elektrik üretilmeye başlanmıştır.

1900'lü yılların başında el ile yüklenen kazanlar ve jeneratöre bağlı pistonlu buhar makineleri ile 10 t/h buhar kapasiteli ve 3000 kW maksimum güç üretebilen santral tasarlanmıştır.

1900-1925 yılları arasında doğal sirkülasyonlu, domlu kazanlar ile 5000 kW'a kadar pistonlu buhar makineleri ve 30000 kW a kadar buhar türbinleri tasarlanmıştır. 1920'den sonra türbinden alınan ara buhar ile besleme suyu ısıtılmaya başlanmıştır.

1925-1955 yılları arasında pulverize kömür ocaklı kazanlar (1925), domsuz kazanlar (1930), birden fazla gövdeli türbinler ve türbinden alınan ara buharlar ile birden fazla besleme suyu ısıtıcısı kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemde maksimum buhar kapasitesi 40 t/h maksimum jeneratör gücü ise 150000 kW'a kadar çıkmıştır. 1935 yılında ergitme ocaklar geliştirilmiştir. 1938 yılından sonra su borularının kaynakla birbirine bağlanması gerçekleştirilmiştir. 1938'de Otto Hahn'ın atomu parçalaması ile birlikte nükleer santral tekniğine geçiş sağlanmıştır (Heper,2001).

## 4.2 Buhar Santral Çevrimleri

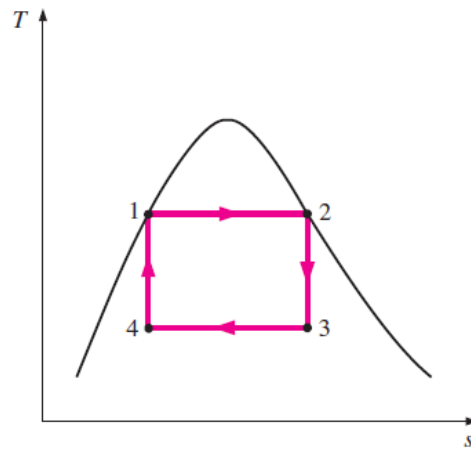
Her termodinamik çevrim bir dizi termodinamik süreçten oluşmaktadır. Termodinamik çevrim ile çalışan ısı makineleri ısı enerjisi işe dönüştüren makinelerdir ve proses çevrim şeklinde gerçekleşmektedir. Sistem belli bir süre sonra ilk haline geri dönmektedir. Isı makinelerinde ısı geçişi ise bir iş akışkanı vasıtasıyla olmaktadır.

Termodinamik süreçlerin en önemlileri bir termodinamik özelliğin sabit olarak tutulduğu süreçlerdir. Bu süreçlerden bazıları; izotermal süreç (sabit sıcaklıkta), izobarik süreç (sabit basınçta), izometrik süreç (sabit hacimde) ve izantropik süreç (sabit entropide) olarak sayılabilir. Bunun yanında adyabatik süreç de çevreyle ısı transferinin olmadığını gösteren bir süreçtir (Özil ve diğ., 2013).

### 4.2.1 Carnot buhar çevrimi

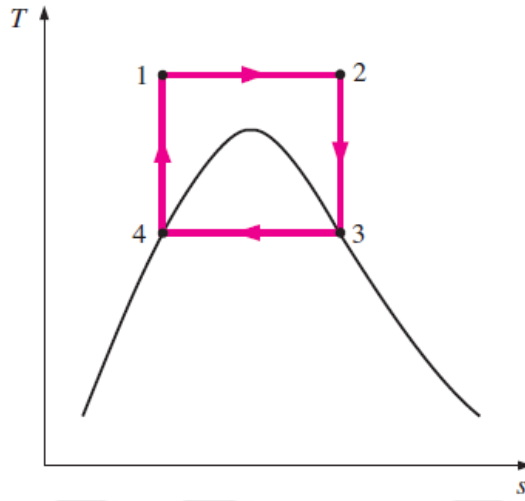
Carnot çevrimi belirli iki sıcaklık limiti arasındaki işletmede en verimli çevrimdir. Bu yüzden buhar santrallerinde ideal çevrim olarak ele alınması doğaldır. Ancak Carnot çevrimi santralde güç üretimi için uygun değildir.

Su gibi saf maddenin sürekli akışlı Carnot çevrimi ile çalışmasının T-s diyagramı Şekil 4.1 deki gibi gösterilebilir. Su 1-2 hal değişiminde kazanda sabit sıcaklıkta ve tersinir olarak ısıtılmaktadır. 2-3 hal değişiminde sabit entropide genişlemektedir. 3-4 hal değişiminde sabit sıcaklıkta ve tersinir olarak yoğunlaşmaktadır. Son olarak 4-1 değişiminde ise sabit entropide sıkıştırılarak ilk halini almaktadır.



Şekil 4.1 Carnot çevrimi T-s diyagramı (a) (Çengel and Boles,2007)

Bu çevrimi güç santrallerine uygulamak zordur. Bunun ilk nedeni çevrimdeki en yüksek sıcaklığın kızgın buhar bölgesinde yani tek fazlı bölgede elde edilmesi ve bu bölgede izotermal ısı geçişinin zor olmasıdır. Bir diğer neden de 2-3 bölgesindeki genişleme esnasında buharın kuruluk derecesinin azalması ve bunun sonucunda türbine ıslak buhar girmesidir. Bu durumda işletme açısından istenmeyen durumdur. Diğer bir husus 4-1 hal değişiminde su buhar karışımını sıkıştırmaktır. Mevcut cihazlarla bu işi yapmak uygulamada zordur.

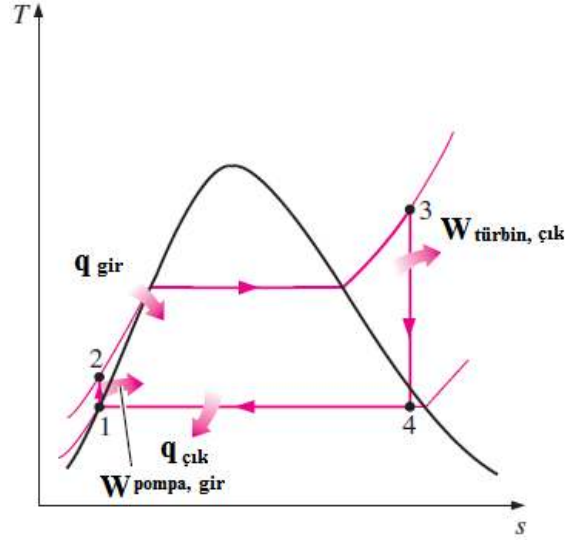


Şekil 4.2 Carnot çevrimi T-s diyagramı (b) (Çengel and Boles, 2007)

Bu zorluklardan bir kısmı sistemi Şekil 4.2 deki T-s diyagramı gibi tasarlayarak giderilebilir. Ancak bu durumda yüksek basınçlarda izantropik sıkıştırma ve sabit olmayan basınç altında izotermal ısı transferi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır.

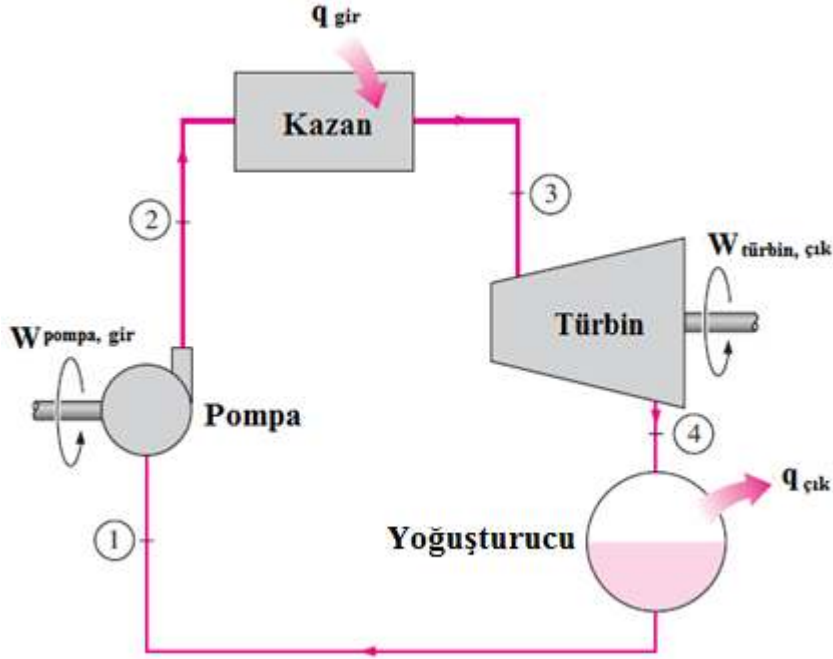
#### 4.2.2 Rankine buhar çevrimi

Carnot çevrimindeki zorluklar kazanda suyu ısıtarak kızgın buhar haline getirme ve yoğuşturucuda doymuş sıvı haline getirmek suretiyle giderilebilmektedir. Bu değişikliklerle birlikte oluşan çevrim Rankine çevrimi olarak adlandırılmaktadır. Bu çevrimin T-s diyagramı Şekil 4.3 deki gibidir.



Şekil 4.3 Basit ideal Rankine çevrimi T-s diyagramı (Çengel and Boles, 2007)

T-s diyagramına göre hal değişimlerinin oluştuğu sistem şeması ise Şekil 4.4 deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Basit ideal Rankine çevrimi sistematik gösterimi (Çengel and Boles,2007)

Burada 1-2 hal değişimi pompayla izantropik sıkıştırma, 2-3 hal değişimi kazanda sabit basınçta ısı transferi, 3-4 hal değişimi türbinde izantropik genleşme ve 4-1 hal değişimi yoğuşturucuda sabit basınçta ısı atılmasını ifade etmektedir.

Su pompaya 1 durumunda doymuş olarak girer. Burada kazan basıncına izantropik bir şekilde sıkıştırılır. Su sıcaklığı suyun özgül hacminin azalmasından dolayı bir miktar artmaktadır. Bunun devamında su kazana 2 halinde sıkıştırılmış sıvı olarak girer ve kazandan 3 haliyle kızgın buhar olarak çıkar. 3 halindeki kızgın buhar türbinde izantropik olarak genişlemektedir ve türbin milini döndürerek iş yapar. Türbinden buhar 4 halinde sıcaklığı ve basıncı azalmış olarak çıkar. Bu buhar daha sonra yoğuşturucuya girer. Su yoğuşturucudan doymuş sıvı olarak çıkar ve pompaya girerek çevrimini tamamlar. Rankine çevriminin güç dengesi (4.1) denklemindeki gibidir.

$$q - w = h_c - h_g \quad [kJ/kg] \quad (4.1)$$

Burada  $q$  birim başına giren ya da çıkan ısı enerjisini,  $w$  pompaya giren yada türbinden çıkan birim başına işi,  $h_c$  birim başına çıkış entalpisi ve  $h_g$  birim başına giriş entalpisini ifade etmektedir.

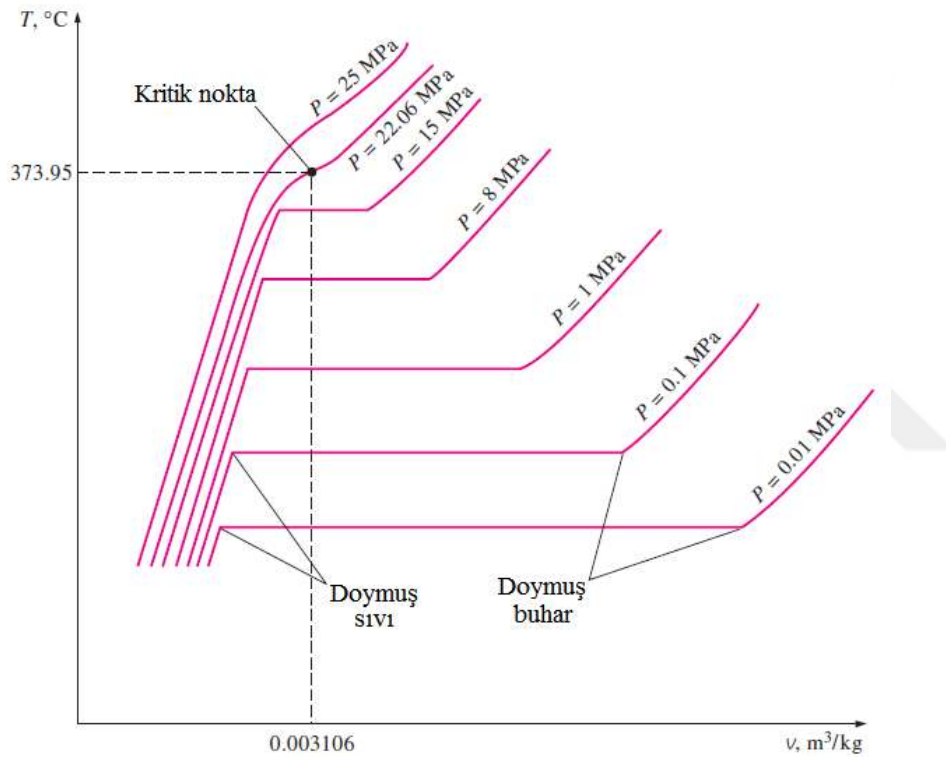
Teknolojik gelişmeler ile birlikte buhar santral çevrimlerinde yeni tasarımlar da ortaya çıkmıştır. Rankine çevriminde yapılan bu iyileştirmeler santral verimini arttırmakla birlikte doğal kaynaklı yakıt tüketiminin azaltılması ve emisyon değerlerinin azalmasında da rol oynamıştır. Bu çevrimlerin bazıları aşağıdaki gibidir (Çengel and Boles, 2007):

- 1) Basit Rankine Çevrimi
- 2) Geliştirilmiş Rankine Çevrimi
- 3) Rejeneratif Isıtmalı Rankine Çevrimi
  - a) Kızgın buharlı Rankine çevrimi
  - b) Ara kızdırmalı Rankine Çevrimi
  - c) Süperkritik buhar çevrimi
  - d) Nükleer buhar çevrimi
  - e) Birleşik (Kombine) çevrim

### 4.2.3 Süperkritik buhar çevrimi

Her hangi bir saf madde için basınç arttıkça doymuş sıvı ile doymuş buhar arasındaki mesafe azalmaktadır. Şekil 4.5 da görüldüğü gibi  $P=22,06$  MPa basınçta bu mesafe bir noktaya dönüşmektedir. Bu noktaya kritik nokta denir. Bu noktada doymuş su ile doymuş buhar halleri aynı noktada bulunmaktadır.

Bir maddenin kritik noktadaki basınç, sıcaklık ve özgül hacim değerleri o maddenin kritik basıncı  $P_{kr}$ , kritik sıcaklığı  $T_{kr}$  ve kritik özgül hacmini  $v_{kr}$  ifade eder. Su için ele aldığımızda  $P_{kr}=22,06$  MPa,  $T_{kr}=374,17$  °C ve  $v_{kr}=0,003455$  m<sup>3</sup>/kg'dır. Kritik basıncın üzerindeki basınçlarda faz değişimi görülmemektedir. Ancak maddenin özgül hacmi sürekli artmaktadır. Kritik noktanın yukarısında sıkıştırılmış sıvı ile kızgın buhar arasında kesin çizgi bulunmamaktadır. Genellikle kritik sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda maddeye kızgın buhar kritik sıcaklığın altındaki maddeye de sıkıştırılmış sıvı denmektedir.



**Şekil 4.5** Sabit basınçta T-v diyagramı (su için) (Çengel and Boles, 2007)

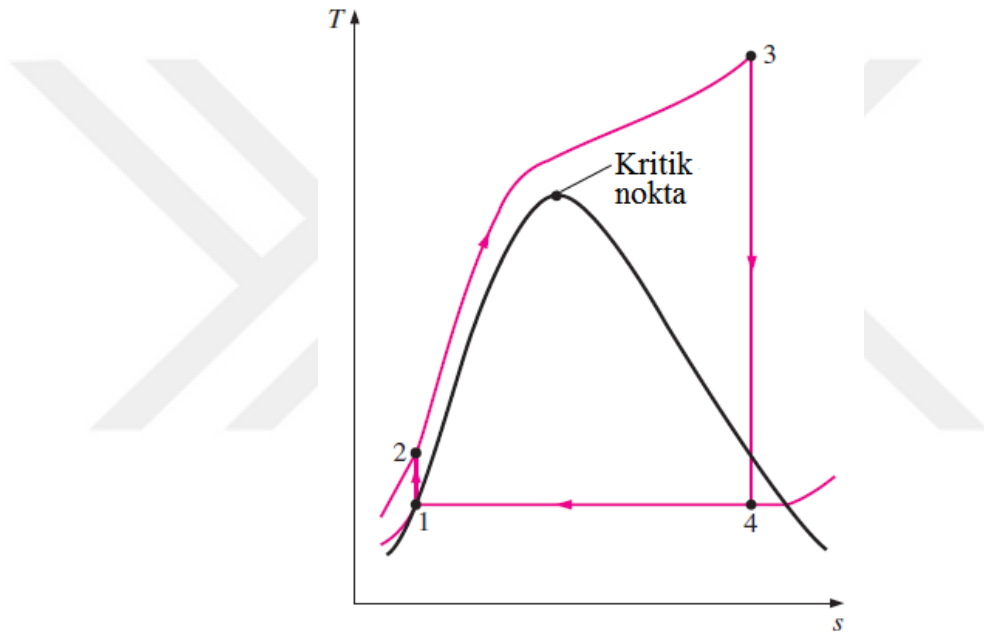
Kritik noktanın üzerinde çalışma bölgesi enerji tesisleri için de tasarlanmaktadır. Daha yüksek verim elde etmek için 22,06 MPa üzerinde olan ve süperkritik çevrim olarak bilinen çevrimler kullanılmaktadır. İlk olarak 1920'lerde ortaya atılan ve 1959'da ilk uygulaması yapılan süperkritik santrallerde kullanılan malzemenin yapısı çok önemlidir. Süperkritik kazan tasarımında nem alıcı ekipmana ihtiyaç yoktur. Bunun dışında kazan besleme suyu pompasının büyük güçlü seçilmesi gerekmektedir. Normal bir Rankine çevriminde 16 MPa basınçlı kazanda pompanın çektiği güç türbinin çıkış gücünün %2,5 civarındayken, süperkritik kazanda bu oran



%5'i bulmaktadır. Ancak normal bir Rankine çevrimine göre süperkritik çevrimlerde verim %4 fazla olduğu için bu kayıp göz ardı edilebilmektedir.

Malzemeden kaynaklanan sorunlar nedeniyle ABD'de uzun bir dönemdir süperkritik çevrimle çalışan santral yapımında durgunluk görülmektedir. Bunun yanında Avrupa'da geliştirilen tek geçişli spiral sarımlı kazanla birlikte ekonomik olarak bir çözüm getirilmiştir. Son zamanlarda Kore, Japonya ve Çin'de aynı uygulamada olan çok sayıda termik santral uygulamaya konulmuştur (Özil ve diğ., 2013).

Şekil 4.6 de süperkritik Rankine çevriminin T-s diyagramı yer almaktadır.



**Şekil 4.6** Süperkritik Rankine çevrimi T-s diyagramı (Çengel and Boles, 2007)

Yoğuşturucu basıncının düşürülmesi, buharın yüksek sıcaklıklara kadar kızdırılması ve kazan basıncının artmasıyla birlikte santralin ısı verimi artmaktadır.

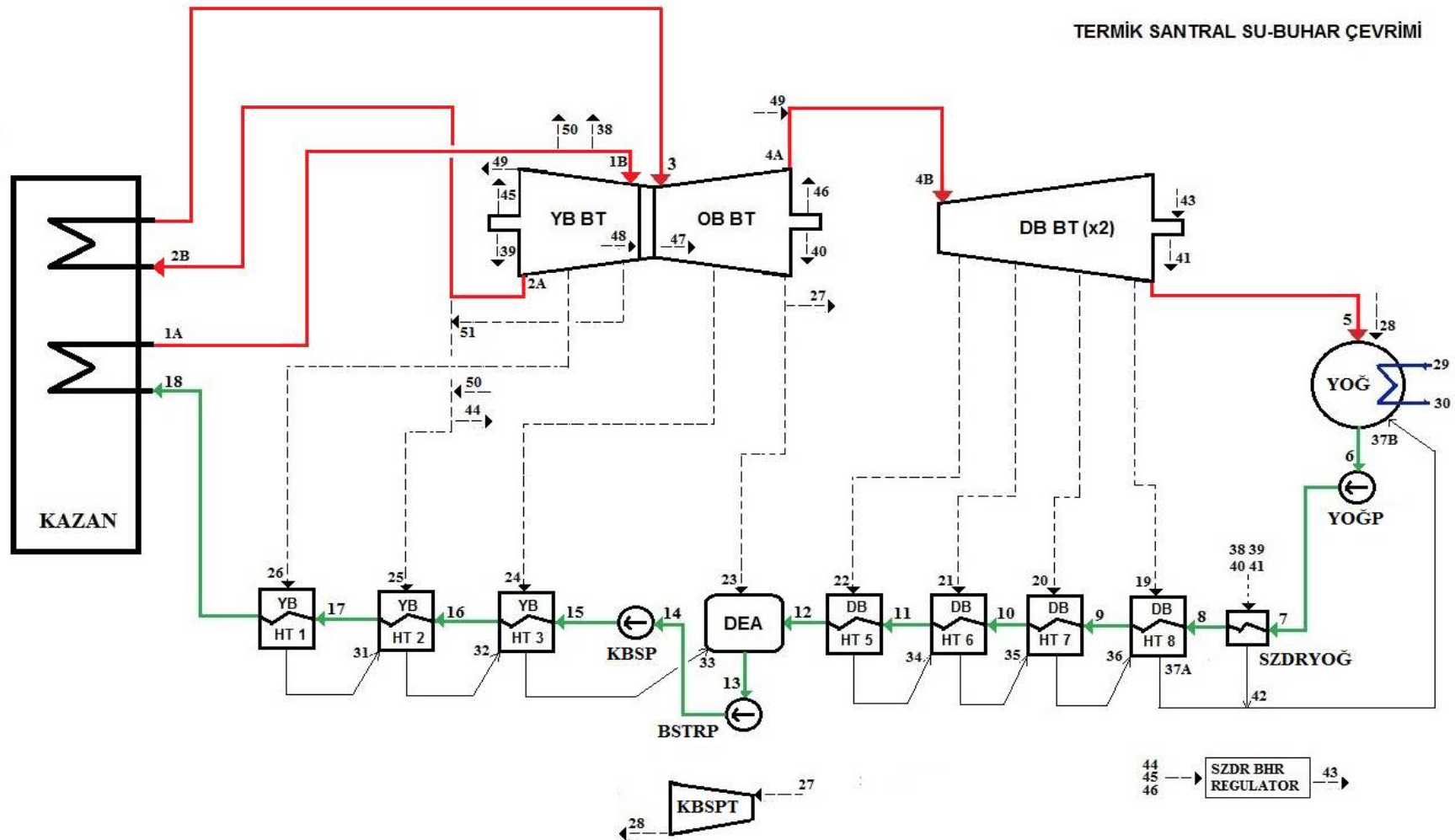


## 5. SÜPERKRİTİK TERMİK SANTRAL

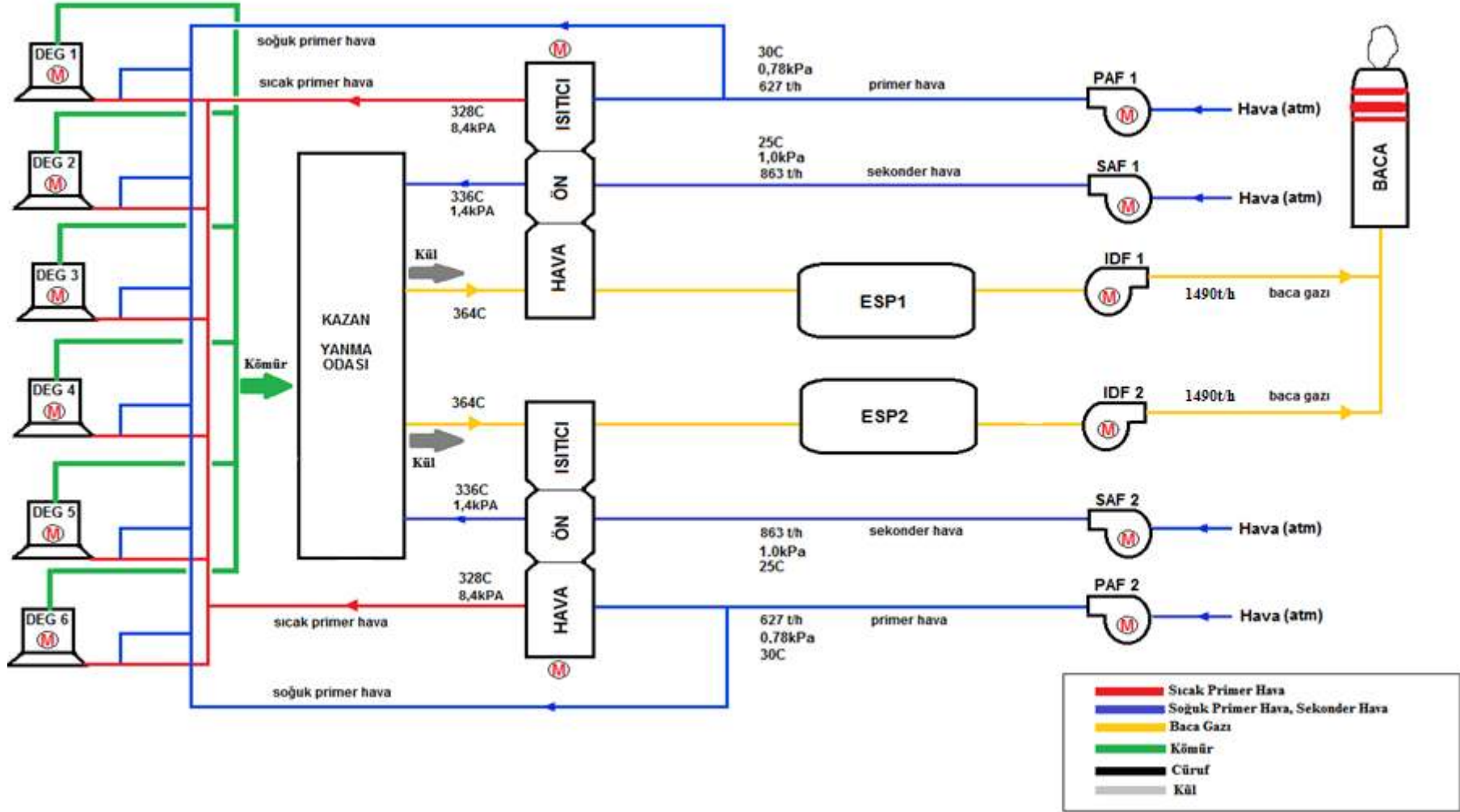
İncelenen santral, ana yakıtı kömür ve yardımcı yakıtı doğalgaz olan, pulverize kömür yakan kazanı olan, süperkritik buhar parametrelerinde çalışan açık çevrim yoğuşturucuya sahip 600 MW gücünde bir termik santraldir (Şekil5.1). Aynı mile bağlı bir adet yüksek basınç türbini, bir adet orta basınç türbini ve iki adet alçak basınç türbini jeneratörü çevirmektedir. Su-buhar çevriminde demineralize su kullanılmaktadır. Ana ekipmanların soğutulması için de kapalı sistemde dolaştırılan su da demineralizedir. Hem su-buhar çevrimindeki suyun yoğuşturulmasında hem de kapalı sistem soğutma suyunun soğutulmasında açık çevrim deniz suyu kullanılmaktadır.

Yanma olayı tek bölümlü yanma odasında meydana gelmektedir. Kırıcıdan geçen kömür 6 adet değirmende öğütülerek pulverize hava ile 24 yakıcı üzerinden kazana girmektedir. Cebri çekme fanı ile baca gazı ikinci kısma geçmektedir (Şekil5.2). Baca gazı bu bölümden geçerken ısısını önce buharın kızdırıldığı ısıtıcılara sonra besleme suyunun ısıtıldığı ekonomizere aktarmaktadır. Son olarak Elektrostatik filtre,  $SO_x$  ve  $NO_x$  arıtma ünitelerinden geçerek bacadan dışarı atılmaktadır.

Su-buhar çevrimi yoğuşturucuda su fazında başlar. Yoğuşturucudan pompa ile alınan su alçak basınç ısıtıcılarından geçerek deaerör tankına verilir. Bu tankta su istenmeyen gazlardan ayrılır ve kazan besleme suyu pompası ile yüksek basınç ısıtıcılarına girer. Alçak ve yüksek basınç ısıtıcılarında ısıtma işlemi, alçak basınç ve yüksek basınç türbininden ara buhar alınarak yapılmaktadır. Sonrasında baca gazı ile ısıtılan ekonomizere geçerek kazan spiral borularına sonrada düz borulara iletilir. Bu aşamadan sonra su ayırıcıya girmektedir. Bu ekipmanda su doğrudan buhar fazına geçer. Sonrasında elde edilen buhar üç adet kızdırıcıdan geçerek ana buhar olarak yüksek basınç türbinine gönderilir. Yüksek basınç türbininde sıcaklığı ve basıncı azalan buhar kazanda bulunan iki adet ara kızdırıcıdan geçerek orta basınç türbinine oradan da alçak basınç türbinine girer. Enerjisi azalan buhar yoğuşturucuya girerek yoğunlaşır ve çevrim tamamlanır.



Şekil 5.1 Termik santral su buhar akış şeması (Termik santral verileri-1,3)



Şekil 5.2 Termik santral hava-baca gazı akış şeması (Termik santral verileri-2)

**Çizelge 5.1: Akış değerleri tablosu (Termik santral verileri-3)**

<b>AKIŞ DEĞERLERİ TABLOSU</b>						
<b>AKIŞ NO</b>	<b>AKIŞ AÇIKLAMA</b>	<b>T</b>	<b>P</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>m</b>
		<b>°C</b>	<b>MPa</b>	<b>kJ/kg</b>	<b>kJ/kg.K</b>	<b>t/h</b>
<b>1A</b>	3.KIZDIRICI ÇIKIŞI (ANA BUHAR)	566,00	24,200	3395,60	6,263	1685,537
<b>1B</b>	YÜKSEK BASINÇ TÜRBİN GİRİŞİ	566,00	24,200	3395,60	6,263	1684,877
<b>2A</b>	YÜKSEK BASINÇ TÜRBİN ÇIKIŞI	312,00	4,100	2990,00	6,391	1541,846
<b>2B</b>	ARA KIZDIRICI GİRİŞİ	312,00	4,100	2990,00	6,391	1404,723
<b>3</b>	ARA KIZDIRICI ÇIKIŞI	568,00	3,920	3600,00	7,293	1404,723
<b>4A</b>	ORTA BASINÇ TÜRBİN ÇIKIŞI	512,00	0,930	3505,00	7,830	1194,123
<b>4B</b>	DÜŞÜK BASINÇ TÜRBİN GİRİŞİ	512,00	0,930	3505,00	7,830	1202,578
<b>5</b>	DÜŞÜK BASINÇ TÜRBİN ÇIKIŞI	32,50	0,005	2559,80	8,402	973,705
<b>6</b>	YOĞUŞTURUCU ÇIKIŞI	32,54	0,005	136,23	0,471	1291,539
<b>7</b>	YOĞUŞTURUCU POMPASI ÇIKIŞI	32,54	1,724	137,82	0,470	1291,539
<b>8</b>	SZDRBUHARI YOĞUŞTURUCU ÇIKIŞI	33,62	1,724	140,43	0,485	1291,539
<b>9</b>	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 8 ÇIKIŞI	55,20	1,724	232,43	0,769	1291,539
<b>10</b>	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 7 ÇIKIŞI	75,42	1,724	316,93	1,019	1291,539
<b>11</b>	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 6 ÇIKIŞI	96,45	1,724	405,13	1,265	1291,539
<b>12</b>	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 5 ÇIKIŞI	138,30	1,724	582,90	1,719	1291,539
<b>13</b>	DEARATÖR ÇIKIŞI	175,40	1,724	742,95	2,093	1685,537
<b>14</b>	BOOSTER POMPA ÇIKIŞI	175,60	1,472	743,95	2,095	1685,537
<b>15</b>	KAZAN BESİ SUYU POMPA ÇIKIŞI	180,70	29,350	781,34	2,107	1685,537
<b>16</b>	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 3 ÇIKIŞI	206,70	29,350	894,20	2,352	1685,537
<b>17</b>	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 2 ÇIKIŞI	249,80	29,350	1088,00	2,740	1685,537
<b>18</b>	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 1 ÇIKIŞI	275,90	28,730	1210,60	2,968	1685,537
<b>19</b>	8. ARA BUHAR	59,07	0,019	2606,90	7,924	53,565
<b>20</b>	7. ARA BUHAR	79,46	0,046	2642,60	7,621	41,785
<b>21</b>	6. ARA BUHAR	124,50	0,103	2724,80	7,468	44,481
<b>22</b>	5. ARA BUHAR	257,00	0,392	2978,50	7,417	90,492
<b>23</b>	4. ARA BUHAR (DEARATÖRE GİDEN)	363,80	0,949	3187,90	7,371	78,560
<b>24</b>	3. ARA BUHAR	457,70	1,840	3376,80	7,353	62,080
<b>25</b>	2. ARA BUHAR	312,00	4,100	2990,00	6,391	147,121
<b>26</b>	1.ARA BUHAR	355,20	5,880	3059,80	6,368	106,238
<b>27</b>	KBSP TÜRBİN GİRİŞİ	363,80	0,900	3188,80	7,397	86,007
<b>28</b>	KBSP TÜRBİN ÇIKIŞI	46,01	0,006	2585,00	8,374	86,007
<b>29</b>	AÇIK ÇEVİRİM SUYU GİRİŞİ (DENİZ SUYU)	25,25	0,160	105,90	0,370	82000,000
<b>30</b>	AÇIK ÇEVİRİM SUYU ÇIKIŞI (DENİZ SUYU)	32,00	0,120	134,10	0,463	82000,000
<b>31</b>	YÜKSEK BASINÇ ISTICI 1 DRENAJI	255,40	5,880	1111,70	2,838	106,238
<b>32</b>	YÜKSEK BASINÇ ISTICI 2 DRENAJI	212,30	3,960	908,56	2,442	253,359

**Çizelge 5.1 (devam): Akış değerleri tablosu (Termik santral verileri-3)**

<b>AKIŞ DEĞERLERİ TABLOSU</b>						
<b>AKIŞ NO</b>	<b>AKIŞ AÇIKLAMA</b>	<b>T</b>	<b>P</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b><i>m</i></b>
		<b>°C</b>	<b>MPa</b>	<b>kJ/kg</b>	<b>kJ/kg.K</b>	<b>t/h</b>
<b>33</b>	YÜKSEK BASINÇ ISTICI 3 DRENAJI	186,30	1,780	790,98	2,198	315,439
<b>34</b>	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 5 DRENAJI	102,00	0,370	427,50	1,328	90,492
<b>35</b>	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 6 DRENAJI	80,98	0,098	338,91	1,068	134,973
<b>36</b>	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 7 DRENAJI	60,75	0,440	254,49	0,840	176,758
<b>37A</b>	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 8 DRENAJI	39,18	0,180	166,72	0,569	230,323
<b>37B</b>	DB ISITICI DRENAJI YOĞ GİRİŞİ	39,18	0,180	166,72	0,569	231,817
<b>38</b>	YBT SIZDIRMAZLIK BUHARI ÇIKIŞI 1	568,00	3,920	3600,00	7,293	0,149
<b>39</b>	YBT SIZDIRMAZLIK BUHARI ÇIKIŞI 2	312,00	4,100	2990,00	6,391	0,102
<b>40</b>	OBT SIZDIRMAZLIK BUHARI ÇIKIŞI	363,80	0,900	3188,80	7,397	0,093
<b>41</b>	DBT SIZDIRMAZLIK BUHARI ÇIKIŞI	124,50	0,103	2724,80	7,468	1,150
<b>42</b>	SZDR BHR YOĞ BUHAR ÇIKIŞI	99,04	0,098	414,83	1,295	1,494
<b>43</b>	SZDR BHR REGULATOR ÇIKIŞI	124,50	0,103	2724,80	7,468	2,608
<b>44</b>	SZDR BHR REGULATOR GİRİŞİ 1	59,07	0,019	2606,90	7,924	0,630
<b>45</b>	SZDR BHR REGULATOR GİRİŞİ 2	312,00	4,100	2990,00	6,391	1,036
<b>46</b>	SZDR BHR REGULATOR GİRİŞİ 3	363,80	0,949	3187,90	7,371	0,942
<b>47</b>	YB TÜRBİNDEN OB TÜRBİNE GİRİŞ	566,00	24,200	3395,70	6,263	17,082
<b>48</b>	YB TÜRBİNDEN OB TÜRBİNE ÇIKIŞ	566,00	24,200	3395,70	6,263	22,141
<b>49</b>	YB-DB TÜRBİNİ ARASI BAĞLANTI	312,00	4,100	2972,50	7,417	8,455
<b>50</b>	YB TÜBİN GİRİŞ-ÇIKIŞ BAĞLANTISI	566,00	24,200	3395,60	6,263	0,511
<b>51</b>	YB-OB TÜRBİN ARASI GERİ DÖNÜŞ	566,00	24,200	3395,70	6,263	5,059

## 5.1 Santral Ana Teçhizatının Tanıtımı

### 5.1.1 Kazan ve yardımcıları

**Kazan:** Pulverize kömür yakan, Süperkritik buhar parametrelerde çalışan, tek geçişli kazandır. Yakıt olarak kullanılan kömürün alt ısıl değeri 5930 kcal/kg'dir. Maksimum sürekli debi 1827 t/h'dir. Kazanadan buhar 571°C sıcaklık ve 25,4 MPa basınçta çıkmaktadır.

**Primer hava fanı:** Değirmende toz haline gelmiş kömürü pulverize ederek kazana veren havayı sağlayan fanıdır (Şekil5.3). Santralde iki adet bulunmakta ve tam yükte ikisi birlikte çalışmaktadır. 337968 m<sup>3</sup>/h nominal çalışma debisidir. Dönüş hızı 1480 devir/dakikadır.



Şekil 5.3 Primer hava fanı

**Sekonder hava fanı:** Kazan yanma odasında yanma verimini arttırmak için kullanılan fanıdır. Santralde iki adet bulunmakta ve tam yükte ikisi birlikte çalışmaktadır. 832176 m<sup>3</sup>/h nominal çalışma debisidir. Fanın devir hızı 985 devir/dk'dır.

**Cebri çekme fanı:** Kazanda yanma sonucu meydana gelen baca gazını çekmek için kullanılır. Santralde iki adet bulunmakta ve tam yükte ikisi birlikte çalışmaktadır. 1750000 m<sup>3</sup>/h nominal çalışma debisidir. Fanın devir hızı 745 devir/dakikadır.

**Kömür değirmeni:** Şekil5.4'de gösterilen biçimde santralde 6 adet kömür değirmeni bulunmaktadır. Bantlarla taşınan kömür bunkere dolar. Bunkerdende bantlı kömür besleyicilerden tonaj ayarı yaparak değirmene dökülür ve toz haline getirilir. Değirmenden çıkan kömür kapasitesi 46 t/h'dir.

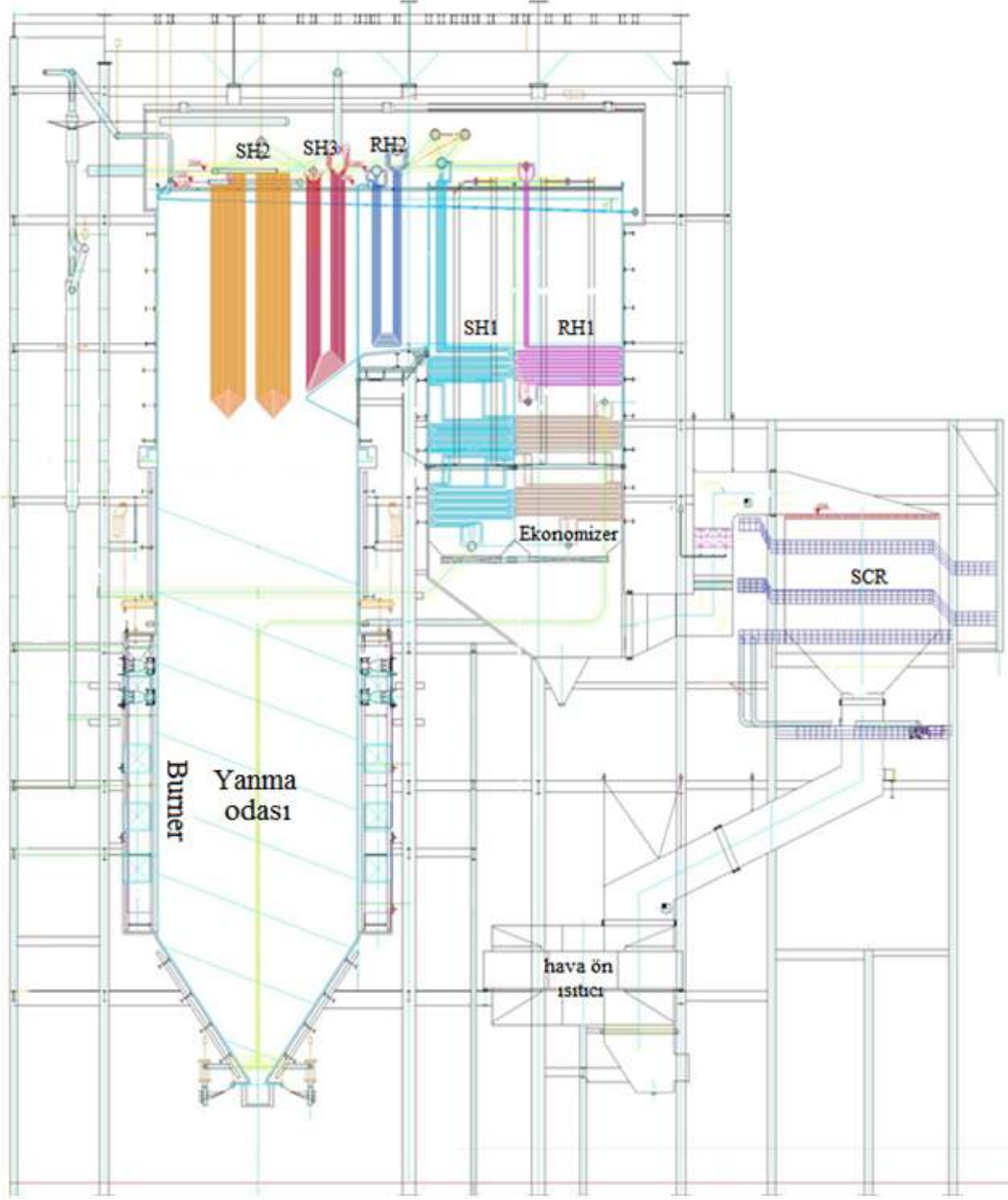




**Şekil 5.4** Kömür değirmeni

**Hava ön ısıtıcı:** Primer ve sekonder hava kazana girmeden önce belli bir derecede ısıtılması gerekmektedir. Bunun için baca gazındaki atık ısıyı değerlendirmek amacıyla döner tip hava ön ısıtıcı kullanılmıştır.

**Seçici katalitik indirgeme ünitesi (SCR-Selective Catalytic Reduction Unit):** Kazana beslenen kömürün içindeki ve yanma havasındaki azotun yüksek kazan sıcaklığı sebebiyle oluşturduğu  $\text{NO}_x$  bileşiklerinin baca gazından temizlenmesi için kurulmuş ünedir. Sistemde baca gazı kanalına amonyak enjekte edilerek  $\text{NO}_x$  emisyonlarının azot gazı ve suya dönüştürülmesi sağlanmaktadır.



Şekil 5.5 Kazan binasının yandan görünüşü

Şekil 5.5’de kazanın yandan görünüşü yer almaktadır. Burada SH 1-2-3 ile kızdırıcılar, RH1-2 ile tekrar kızdırıcılar ifade edilmektedir.

### 5.1.2 Türbin ve yardımcıları

**Buhar türbini:** Süperkritik buhar parametrelerinde çalışabilen bir adet yüksek basınç, bir adet orta basınç ve iki adet alçak basınç türbininden oluşmaktadır. Yüksek basınç türbinine ana buhar, orta basınç türbinine de yeniden kızdırma buharı girmektedir. Türbin mili 3000 devir/dakika ile dönmektedir. Yüksek basınç türbini nominal buhar giriş debisi 1685,537 t/h’dir.

**Yoğuşturucu:** Alçak basınç türbinlerinden çıkan çürük buhar doğrudan yoğuşturucu giderek yoğunlaşır. Yoğuşturucunun 33000 m<sup>2</sup> soğutma yüzeyi bulunmaktadır. Yoğuşturucunun içyapısında yoğuşturucuyu dik kesen titanyum borular içinden soğutma suyu geçmektedir. Yoğuşturucuya giren buharın aşağıya doğru çekilmesi için içeride vakum oluşturulmaktadır.

**Düşük basınç ısıtıcılar:** Yoğuşturucudan çıkan suyun kademeli olarak ısıtılmasını sağlayan ısıtıcılarıdır (Şekil5.6). Toplam 6 adet bulunmaktadır. Su akış debisi 1389,56 t/h olup nominal basınç 4 MPa'dır. Isıtıcı olarak alçak basınç türbininden alınan ara buhar kullanılmaktadır.



**Şekil 5.6** Düşük basınç ısıtıcı

**Yüksek basınç ısıtıcıları:** Dearatör ve ekonomizer arası hatta bulunan, yüksek basınç türbininden alınan ara buhar ile çevrim suyunun ısıtıldığı ısıtıcılarıdır. 3 adet bulunmaktadır.

**Dearatör:** Kazana beslenecek olan suyun basınçlandırılmadan önce korozyona sebep olan gazlardan arındırılması ve ön ısıtma yapılması için bu tanka gönderilir (Şekil5.7). Anma su basıncı 1,2 MPa olup, anma su sıcaklığı 377 °C'dir.



**Şekil 5.7** Dearatör

**Kazan besi suyu pompası:** İki adet türbin tahrikli pompadan ve bir adet elektrik motor tahrikli pompadan oluşur (Şekil5.8). Dearatörden aldığı suyu basınçlandırarak kazana gönderir. Türbin tahrikli pompanın basma yüksekliği 3332,9 m ve debi kapasitesi 1078,7 m<sup>3</sup>/h'dir. Motor tahrikli pompanın basma yüksekliği 99,78 m ve debi kapasitesi 698,3 t/h'dir. Türbin tahrikli pompa su ihtiyacının % 50'sini, elektrik tahrikli pompa ise % 30'unu karşılar.



**Şekil 5.8** Türbin tahrikli kazan besi suyu pompası

### 5.1.3 Santral elektrik sistemi

**Jeneratör:** Türbin miliyle 3000 devir/dakika hızla dönen rotor sayesinde elektrik üreten ekipmandır. Stator ve rotor olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Rotor iki kutupludur. Rotor hidrojen üretim tesisinde üretilen hidrojen ile, stator ise sargıların arasından geçen demineralize su ile soğutulmaktadır. Soğutucu gaz olarak hidrojen, sürtünme katsayısının düşük ve ısı iletiminin yüksek olması sebebiyle tercih edilir. Rotorda manyetik alanı oluşturmak için fırça-kolektör grubu ile DC uyarım akımı verilmektedir.

**Uyartım Sistemi:** Rotora DC uyartım akım vermek için dizayn edilmiş, üç faz AC akımını altı tristörlü beş doğrultucu kabiniyle DC akıma çeviren sistemdir. Ayrıca şebeke akım ve gerilimini takip ederek jeneratörün şebekeyi uyumlu şekilde takip etmesini sağlar.

**Yükseltici Trafo:** Jeneratör çıkışındaki 20 kV gerilimi 380 kV gerilime yükselterek enterkonnekte şebekeye vermeye hazır hale getiren trafodur. Yağlı tip, pompa sirküleli, cebri fan soğutmalıdır. 5 kademeli yüksüz kademe değiştiricisi bulunmaktadır.

**İç ihtiyaç trafosu:** Jeneratör çıkışındaki 20 kV gerilimi 6,3 kV'a düşürerek santral içindeki motor ve diğer elektriksel yükleri besleyen trafodur. Yağlı tip, doğal sirküleli, cebri fan soğutmalıdır. 17 kademeli yükte kademe değiştiricisi bulunmaktadır.

#### 5.1.4 Yardımcı tesisler

**Desalinasyon tesisi:** Bu ünite kazan besleme suyu, servis suyu, yangın söndürme suyu hazırlamada kullanılmaktadır. Tesiste bir adet deniz suyu ara havuzu, üç adet fiber gözenekli filtre, bir adet filtrelenmiş su tankı, iki adet ters osmoz ünitesi bulunmaktadır.

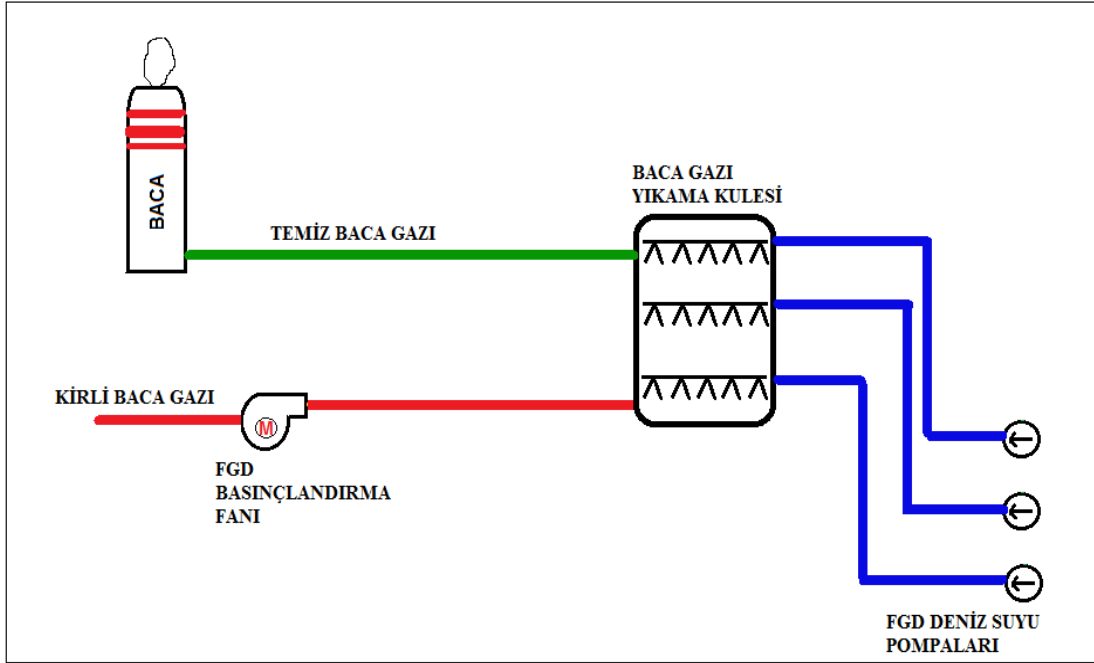
**Su tasfiye tesisi:** Kazana gönderilen saf suyun üretildiği bölümdür. Tesise desalinasyon tesisinden pompa ile su basılmaktadır. Tesiste iki adet ters osmoz ünitesi, iki adet anyon tankı iki adet katyon tankı ve iki adet 3000 m<sup>3</sup>'lük demineralize su tankı bulunmaktadır.

**Kimyasal arıtma tesisi:** Tesiste bulunan tüm drenajların ve atık suların kimyasal ve fiziksel olarak istenilen duruma getirildiği tesistir.

**Elektrostatik filtre (ESP-Electrostatic Precipitator):** Statik elektriğin, artı ve eksi yüklerin birbirini çekmesi prensibi çalışan verimi yüksek toz tutucu filtredir. 5 kademedir ve 4 gözden oluşur. Baca gazı cebri çekme fanı ile bu ünitelerden geçmeye zorlanır. Biriken kül taşıma havası ile borularla silolara taşınır.

**Kömür taşıma sistemi:** Limana gemi ile gelen kömür bantlarla stok sahasına taşınır. Kırıcı ve elek düzeneğinden geçerek değirmenlerin üzerinde bulunan kömür bunkerlerine dolar. Sistemde aktarmalı 4 adet kömür bandı bulunmaktadır.

**Baca gazı desülfürizasyon ünitesi (FGD-Flue gas desulphurization):** Baca gazı içindeki  $SO_2$ 'yi düşürmek için deniz suyu ile baca gazı arıtma prosesine dayalı tesistir (Şekil5.9). Deniz suyunun doğal alkali özelliği ile kükürt dioksit tutulur ve nötralize edilir. Bu proseste baca gazı, yoğunlaştırıcı çıkışından alınan soğutma suyu havuzundan alınan deniz suyu ile yıkama kulesinde yıkanmaktadır.



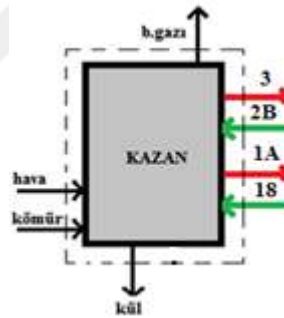
Şekil 5.9 FGD sistemi şematik gösterimi (Termik santral verileri-2)

## 6. TESİS ANA ELEMANLARININ ANALİZİ VE VERİM HESAPLARI

Termik santralin ana elemanı olan kazan, türbin, pompa ve yoğuşturucu ile yardımcı elemanı olan ısıtıcılarla, sistemin geneli üzerinden verim değerlendirmeleri ilgili başlıklar altında açıklanacaktır.

### 6.1. Kazan Analiz ve Verim Hesaplamaları

Kazan şematik gösterimi Şekil 6.1’de verilmiştir. Kazan üzerinde akışkan giriş çıkış değerleri ile yanma durumu dikkate alınarak oluşturulan, kazan analizinde kullanılacak olan kütle denklemi, enerji denklemi, ekserji denklemi, ekserji tahribi denklemi, ekserji verimi ( $\varepsilon$ ), enerji verimi ( $\eta$ ), geliştirme potansiyeli ( $\dot{G}_{pot}$ ) ve tersinmezlik oranı ( $y$ ), yakıt ekserjisi ( $\dot{E}_F$ ) ve ürün ekserjisi ( $\dot{E}_P$ ) denklem bağlantıları aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.1 Kazan akışları şematik gösterimi

$$\dot{m}_{18} = \dot{m}_{1A} \quad (6.1)$$

$$\dot{m}_{2B} = \dot{m}_3 \quad (6.2)$$

$$\dot{E}_{kömür} = \dot{m}_{kömür} \times LHV_{kömür} \quad (6.3)$$

$$\dot{E}_{kömür} = [\Phi \cdot (h_{kömür} + k_{su} \cdot h_{su}) + (ex_{ch,s} \cdot k_s) + (ex_{ch,su} \cdot k_{su})] \cdot \dot{m}_{kömür} \quad (6.4)$$

$$\Phi = 1,0437 + 0,1896 \frac{H}{C} + 0,0617 \frac{O}{C} + 0,0428 \frac{N}{C} \quad (6.5)$$

$$\dot{E}_T = \dot{E}_{kömür} + \dot{E}_{hava} - \dot{E}_{kül} - \dot{E}_{b.gazı} + \dot{E}_{1A} + \dot{E}_3 - \dot{E}_{18} - \dot{E}_{2B} \quad (6.6)$$

$$\varepsilon = (\dot{E}_{1A} - \dot{E}_{18} + \dot{E}_3 - \dot{E}_{2B}) / (\dot{E}_{18} + \dot{E}_{2B} + \dot{E}_{kömür}) \quad (6.7)$$

$$\eta = (\dot{E}_{1A} - \dot{E}_{18} + \dot{E}_3 - \dot{E}_{2B}) / (\dot{E}_{\text{kömür}}) \quad (6.8)$$

$$\dot{G}_{\text{pot}} = (\dot{E}_T) \cdot (1 - \varepsilon/100) \quad (6.9)$$

$$y = (\dot{E}_T) / (\dot{E}_{\text{kömür}} + \dot{E}_{18} + \dot{E}_{2B}) \cdot 100 \quad (6.10)$$

$$\dot{E}_F = (\dot{E}_{\text{kömür}} + \dot{E}_{\text{hava}}) - (\dot{E}_{\text{kül}} + \dot{E}_{\text{b.gazı}}) \quad (6.11)$$

$$\dot{E}_P = (\dot{E}_{1A} - \dot{E}_{18}) - (\dot{E}_3 - \dot{E}_{2B}) \quad (6.12)$$

### Kütle Denklemi:

$$\dot{m}_{18} + \dot{m}_{2B} = \dot{m}_{1A} + \dot{m}_3$$

$$1685,537 + 1404,723 = 1685,537 + 1404,723 \text{ [t/h]}$$

### Enerji Denklemi:

$$\dot{E}_{\text{kömür}} = \dot{m}_{\text{kömür}} \times LHV_{\text{kömür}}$$

$$\dot{m}_{\text{kömür}} = 55,5 \text{ kg/s} \quad \text{Kömür alt ısı değeri} = 25791 \text{ MJ/kg}$$

$$\dot{E}_{\text{kömür}} = 1431,4 \text{ MW}$$

### Ekserji Denkliği:

Kömür bileşeni= %66,06 C; %3,66 H; %1,5 N; %0,9 S; %4,16 O; %10 H<sub>2</sub>O ;%11 Kül

$$\Phi = 1,0437 + 0,1896 \times \frac{3,66}{66,06} + 0,0617 \times \frac{4,56}{66,06} + 0,0467 \times \frac{1,5}{66,06}; \quad \Phi = 1,059$$

$$\dot{E}_{\text{kömür}} = [1,059 \times (25791 + (0,1 \times 2442)) + (9683 \times 0,009) + (50 \times 0,01)] \times 55,5 / 1000$$

$$\dot{E}_{\text{kömür}} = 1535 \text{ MW} \quad (\text{Szargut ve diğ, 1976})$$

### Ekserji Tahribi:

$$\dot{E}_T = \dot{E}_{\text{kömür}} + \dot{E}_{\text{hava}} - \dot{E}_{\text{kül}} - \dot{E}_{\text{b.gazı}} + \dot{E}_{1A} + \dot{E}_3 - \dot{E}_{18} - \dot{E}_{2B}$$

$$\dot{E}_T = 1535 + 717,673 + 558,035 + -424,950 - 154,612 ;$$

$$\dot{E}_{\text{kül}} = \%11 \times \dot{E}_{\text{kömür}} ; \dot{E}_{\text{kül}} = 168,850 \text{ MW} ; \dot{E}_{\text{b.gazı}} = 96,319 \text{ MW} ; \dot{E}_{\text{hava}} = 81,789 \text{ MW}$$

$$\dot{E}_T = 655,474 \text{ MW}$$



Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.11), (6.12), (6.6), (6.8), (6.7), (6.9), (6.10) denklemlerinden elde edilmiştir.

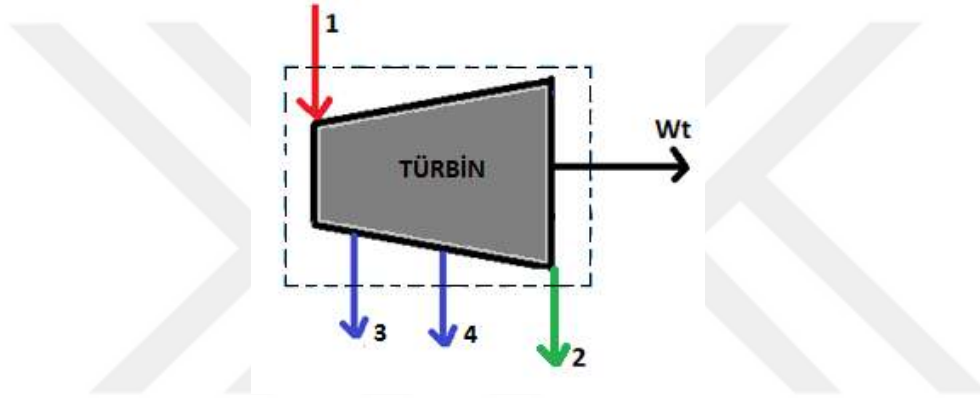
Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim Şekil 5.1'den alınmıştır.

**Çizelge 6.1: Kazan analiz tablosu**

KAZAN		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)		
		1351,620	696,146	655,474	88,105	51,505	317,875	48,495		
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	$\dot{m}$	T	$\dot{m}$	ENERJİ	EKSERJİ
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW
18	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 1 ÇIKIŞI	275,90	28,730	1210,60	2,968	1685,537	549,05	468,205	566,809	154,612
2B	ARA KIZDIRICI GİRİŞİ	312,00	4,100	2990,00	6,391	1404,723	585,15	390,201	1166,700	424,950
K	KÖMÜR								1431,300	1535,000
H	HAVA	332,000	0,101	612,250	2,417	2980,000	605,150	827,778	506,807	81,789
1A	3.KIZDIRICI ÇIKIŞI (ANA BUHAR)	566,00	24,200	3395,60	6,263	1685,537	839,15	468,205	1589,836	717,673
3	ARA KIZDIRICI ÇIKIŞI	568,00	3,920	3600,00	7,293	1404,723	841,15	390,201	1404,723	558,035
BG	BACA GAZI	364,000	0,101	646,201	2,472	2980,000	637,150	827,778	534,911	96,319
KÜL	KÜL								157,443	168,850

## 6.2 Türbin Analiz ve Verim Hesaplamaları

Türbin şematik gösterimi Şekil 6.2’de verilmiştir. Türbin üzerinde akışkan giriş çıkış değerleri ile yanma durumu dikkate alınarak oluşturulan, türbin analizinde kullanılacak olan kütle denklemi, enerji denklemi, ekserji denklemi, ekserji tahribi denklemi, ekserji verimi ( $\varepsilon$ ), enerji verimi ( $\eta$ ), geliştirme potansiyeli ( $\dot{G}_{\text{pot}}$ ) ve tersinmezlik oranı ( $y$ ), yakıt ekserjisi ( $\dot{\Xi}_F$ ) ve ürün ekserjisi ( $\dot{\Xi}_P$ ) denklem bağlantıları aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.2 Türbin akışları şematik gösterimi

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_4 \quad (6.13)$$

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2 + \dot{E}_3 + \dot{E}_4 + \dot{W}_{\text{YBT}} \quad (6.14)$$

$$\dot{\Xi}_1 = \dot{\Xi}_2 + \dot{\Xi}_3 + \dot{\Xi}_4 + \dot{W}_{\text{YBT}} \quad (6.15)$$

$$\dot{\Xi}_T = \dot{\Xi}_1 - \dot{\Xi}_2 - \dot{\Xi}_3 - \dot{\Xi}_4 - \dot{W}_{\text{YBT}} \quad (6.16)$$

$$\varepsilon = (\dot{W}_{\text{YBT}}) / (\dot{\Xi}_1 - \dot{\Xi}_2 - \dot{\Xi}_3 - \dot{\Xi}_4) \quad (6.17)$$

$$\eta = (\dot{W}_{\text{YBT}}) / (\dot{E}_1 - \dot{E}_2 - \dot{E}_3) \quad (6.18)$$

$$\dot{G}_{\text{pot}} = \dot{\Xi}_T \cdot (1 - \varepsilon) \quad (6.19)$$

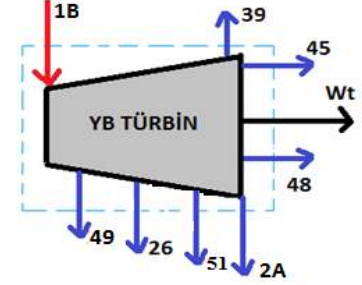
$$y = (\dot{\Xi}_T / (\dot{\Xi}_1 - \dot{\Xi}_2 - \dot{\Xi}_3 - \dot{\Xi}_4)) \quad (6.20)$$

$$\dot{\Xi}_F = \dot{\Xi}_1 - \dot{\Xi}_2 - \dot{\Xi}_3 - \dot{\Xi}_4 \quad (6.21)$$

$$\dot{\Xi}_P = \dot{W}_{\text{YBT}} \quad (6.22)$$

## Yüksek Basınç Türbini

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.21), (6.22), (6.16), (6.18), (6.17), (6.19), (6.20) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



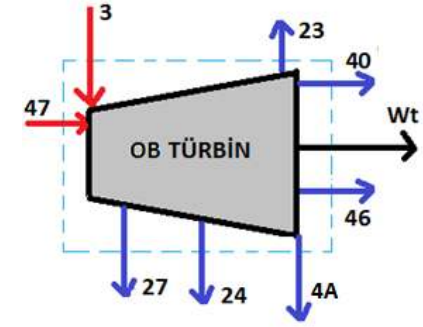
Şekil 6.3 Yüksek basınç türbin akışları şematik gösterimi

Çizelge 6.2: Yüksek basınç türbin analiz tablosu

YB TÜRBİNİ		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)			
		202,834	184,745	18,089	93,569	91,082	1,613	8,918			
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	$\dot{m}$	T	$\dot{m}$	ENERJİ	EKSERJİ	
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW	
1B	YB TÜRBİN GİRİŞİ	566,00	24,200	3395,60	6,263	1684,877	839,15	468,021	1589,213	717,392	
2A	YÜKSEK BASINÇ TÜRBİN ÇIKIŞI	312,00	4,100	2990,00	6,391	1541,846	585,15	428,291	1280,589	466,432	
48	YB TÜRBİNİNDEN OB TÜRBİNE ÇIKIŞ	566,00	24,200	3395,70	6,263	22,141	839,15	6,150	20,884	9,428	
26	1.ARA BUHAR	355,20	5,880	3059,80	6,368	106,238	628,35	29,511	90,296	34,401	
39	YB TÜRBİNİ SZDRBUHARI ÇIKIŞI 2	312,00	4,100	2990,00	6,391	0,102	585,15	0,028	0,085	0,031	
45	SZDR BUHAR REGULATOR GİRİŞİ 2	312,00	4,100	2990,00	6,391	1,036	585,15	0,288	0,860	0,313	
49	YB-DB ARASI BAĞLANTI	312,00	4,100	2972,50	7,417	8,455	585,15	2,349	6,981	1,798	
51	YB-OB TÜRBİN ARASI GERİ DÖNÜŞ	566,00	24,200	3395,70	6,263	5,059	839,15	1,405	4,772	2,154	
									<b>EKİPMAN GÜCÜ</b>	184,745	184,745

## Orta Basınç Türbini

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.21), (6.22), (6.16), (6.18), (6.17), (6.19), (6.20) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



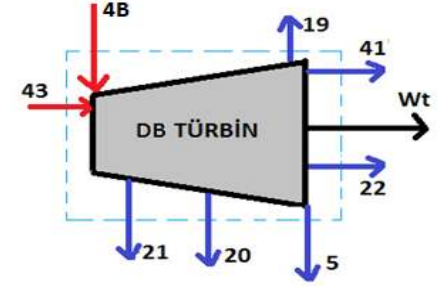
Şekil 6.4 Orta basınç türbin akışları şematik gösterimi

Çizelge 6.3: Orta basınç türbin analiz tablosu

OB TÜRBİNİ		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)		
		109,455	53,326	56,128	98,310	48,720	28,783	51,280		
NO	AKIM ADI	T °C	P MPa	h kJ/kg	s kJ/kg.K	$\dot{m}$ t/h	T °K	$\dot{m}$ kg/s	ENERJİ MW	EKSERJİ MW
3	ARA KIZDIRICI ÇIKIŞI	568,00	3,920	3600,00	7,293	1404,723	841,15	390,201	1404,723	558,035
47	YB TÜRBİNDEN OB TÜRBİNE GİRİŞ	566,00	24,200	3395,70	6,263	17,082	839,15	4,745	16,113	7,274
4A	ORTA BASINÇ TÜRBİN ÇIKIŞI	512,00	0,930	3505,00	7,830	1194,123	785,15	331,701	1162,611	389,754
40	ORTA BASINÇ TÜRBİNİ SZDR BUHARI ÇIKIŞI	363,80	0,900	3188,80	7,397	0,093	636,95	0,026	0,082	0,026
46	SZDR BUHAR REGULATOR GİRİŞİ 3	363,80	0,949	3187,90	7,371	0,942	636,95	0,262	0,834	0,260
23	4. ARA BUHAR (DEARATÖRE GİDEN)	363,80	0,949	3187,90	7,371	78,560	636,95	21,822	69,567	21,708
27	KBSP TÜRBİN GİRİŞİ	363,80	0,900	3188,80	7,397	86,007	636,95	23,891	76,183	23,602
24	3. ARA BUHAR	457,70	1,840	3376,80	7,353	62,080	730,85	17,244	58,231	20,504
<b>EKİPMAN GÜCÜ</b>									<b>53,326</b>	<b>53,326</b>

## Düşük Basınç Türbini

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $\gamma$  değerleri sırasıyla (6.21), (6.22), (6.16), (6.18), (6.17), (6.19), (6.20) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



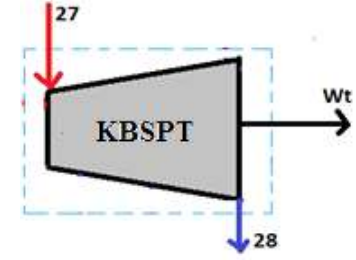
Şekil 6.5 Düşük basınç türbin akışları şematik gösterimi

Çizelge 6.4: Düşük basınç türbin analiz tablosu

DB TÜRBİNİ		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$\gamma$ (%)		
		343,021	301,958	41,063	63,030	88,029	4,916	11,971		
NO	AKIM ADI	T °C	P MPa	h kJ/kg	s kJ/kg.K	$\dot{m}$ t/h	T °K	$\dot{m}$ kg/s	ENERJİ MW	EKSERJİ MW
4B	DÜŞÜK BASINÇ TÜRBİN GİRİŞİ	512	0,93	3505	7,83	1202,578	785,15	334,049	1170,843	392,514
43	SZDR BUHAR REGULATOR ÇIKIŞI	124,5	0,103	2724,8	7,468	2,608	397,65	0,724	1,974	0,364
19	8. ARA BUHAR	59,07	0,019	2606,9	7,924	53,565	332,22	14,879	38,788	3,703
20	7. ARA BUHAR	79,46	0,046	2642,6	7,621	41,785	352,61	11,607	30,673	4,352
21	6. ARA BUHAR	124,5	0,103	2724,8	7,468	44,481	397,65	12,356	33,667	6,212
22	5. ARA BUHAR	257	0,392	2978,5	7,417	90,492	530,15	25,137	74,870	19,397
5	DÜŞÜK BASINÇ TÜRBİN ÇIKIŞI	32,5	0,0049	2559,8	8,402	973,705	305,65	270,474	692,358	16,032
41	DB TÜRBİNİ SZDR BUHARI ÇIKIŞI	124,5	0,103	2724,8	7,468	1,15	397,65	0,319	0,870	0,161
<b>EKİPMAN GÜCÜ</b>									<b>301,591</b>	<b>301,958</b>

### Kazan Besi Suyu Pompa Türbini

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.21), (6.22), (6.16), (6.18), (6.17), (6.19), (6.20) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



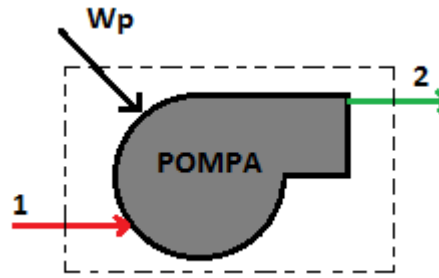
Şekil 6.6 Kazan besisi suyu pompa türbini akışları şematik gösterimi

Çizelge 6.5: Kazan besisi suyu pompa türbini analiz tablosu

KAZAN BESİ SUYU POMPASI TÜRBİNİ		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)			
		21,385	14,000	7,385	97,052	65,468	2,550	34,532			
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	$\dot{m}$	T	$\dot{m}$	ENERJİ	EKSERJİ	
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW	
27	KBSP TÜRBİN GİRİŞİ	363,80	0,900	3188,80	7,397	86,007	636,95	23,891	76,183	23,684	
28	KBSP TÜRBİN ÇIKIŞI	46,01	0,006	2585,00	8,374	86,007	319,16	23,891	61,758	2,300	
									<b>EKİPMAN GÜCÜ</b>	14,000	14,000

### 6.3 Pompa Analiz ve Verim Hesaplamaları

Pompa şematik gösterimi Şekil 6.7’de verilmiştir. Pompa üzerinde akışkan giriş çıkış değerleri ile yanma durumu dikkate alınarak oluşturulan, pompa analizinde kullanılacak olan kütle denklemi, enerji denklemi, ekserji denklemi, ekserji tahribi denklemi, ekserji verimi ( $\varepsilon$ ), enerji verimi ( $\eta$ ), geliştirme potansiyeli ( $\dot{G}_{\text{pot}}$ ) ve tersinmezlik oranı ( $y$ ), yakıt ekserjisi ( $\dot{\Xi}_F$ ) ve ürün ekserjisi ( $\dot{\Xi}_P$ ) denklem bağlantıları aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.7 Pompa akışları şematik gösterimi

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (6.23)$$

$$\dot{E}_1 + \dot{W}_p = \dot{E}_2 \quad (6.24)$$

$$\dot{\Xi}_1 + \dot{W}_p = \dot{\Xi}_2 \quad (6.25)$$

$$\dot{\Xi}_T = \dot{W}_p - (\dot{\Xi}_2 - \dot{\Xi}_1) \quad (6.26)$$

$$\varepsilon = (\dot{\Xi}_2 - \dot{\Xi}_1) / (\dot{W}_p) \quad (6.27)$$

$$\eta = (\dot{E}_2 - \dot{E}_1) / (\dot{W}_p) \quad (6.28)$$

$$\dot{G}_{\text{pot}} = \dot{\Xi}_T \cdot (1 - \varepsilon) \quad (6.29)$$

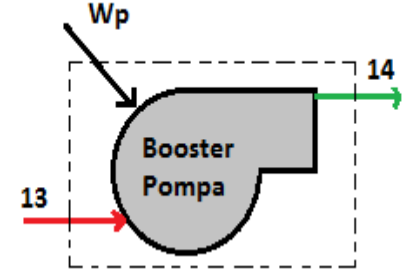
$$y = (\dot{\Xi}_T / \dot{\Xi}_1) \quad (6.30)$$

$$\dot{\Xi}_F = \dot{W}_{\text{YBT}} \quad (6.31)$$

$$\dot{\Xi}_P = \dot{\Xi}_2 - \dot{\Xi}_1 \quad (6.32)$$

## Booster Pompa

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.31), (6.32), (6.26), (6.28), (6.27), (6.29), (6.30) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



Şekil 6.8 Booster pompa akışları şematik gösterimi

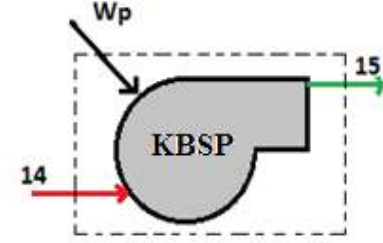
Çizelge 6.6: Booster pompa analiz tablosu

BOOSTER POMPA		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)		
		0,361	0,072	0,289	97,272	19,934	0,520	180,066		
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	$\dot{m}$	T	$\dot{m}$	ENERJİ	EKSERJİ
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW
13	DEARATÖR ÇIKIŞI	175,40	1,724	743,20	2,093	1685,537	448,55	468,205	347,970	57,919
14	BOOSTER POMPA ÇIKIŞI	175,60	1,472	743,95	2,095	1685,537	448,75	468,205	348,321	57,991
<b>EKİPMAN GÜCÜ</b>									0,361	0,361



### Kazan Besi Suyu Pompası

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.31), (6.32), (6.26), (6.28), (6.27), (6.29), (6.30) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



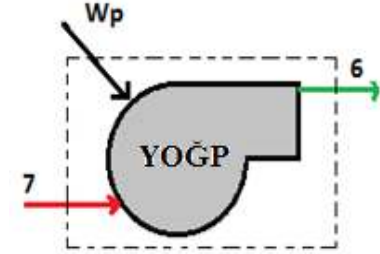
Şekil 6.9 Kazan besi suyu pompa akışları şematik gösterimi

Çizelge 6.7: Kazan besi suyu pompası analiz tablosu

KAZAN BESİ SUYU POMPASI		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)		
		17,510	15,831	1,679	99,978	90,411	0,161	2,895		
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	m	T	m	ENERJİ	EKSERJİ
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW
14	BOOSTER POMPA ÇIKIŞI	175,60	1,472	743,95	2,095	1685,537	448,75	468,205	348,321	57,991
15	KAZAN BESİ SUYU POMPA ÇIKIŞI	180,70	29,350	781,34	2,107	1685,537	453,85	468,205	365,827	73,822
<b>EKİPMAN GÜCÜ</b>									17,510	17,510

## Yoğuşturucu Pompası

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.31), (6.32), (6.26), (6.28), (6.27), (6.29), (6.30) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



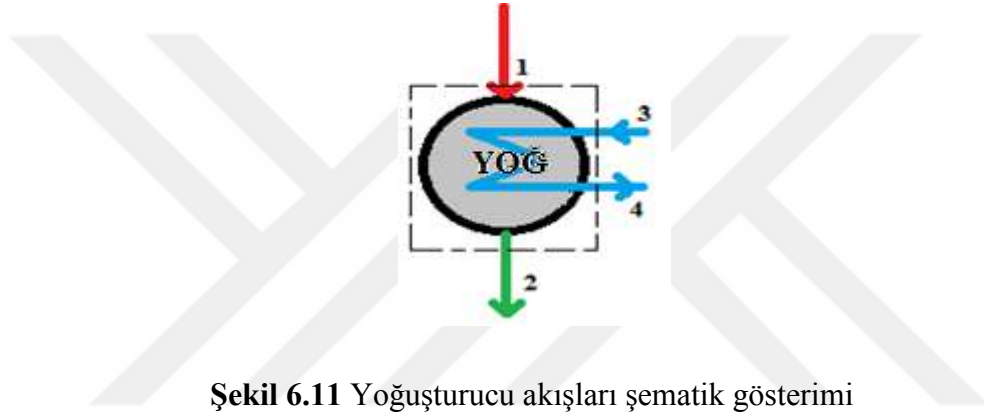
Şekil 6.10 Yoğuşturucu pompası akışları şematik gösterimi

Çizelge 6.8: Yoğuşturucu pompası analiz tablosu

YOĞUŞTURUCU POMPASI		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)			
		0,7	0,678	0,022	81,490	96,857	0,044	1153,102			
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	$\dot{m}$	T	$\dot{m}$	ENERJİ	EKSERJİ	
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW	
6	YOĞUŞTURUCU ÇIKIŞI	32,54	0,005	136,23	0,471	1291,539	305,69	358,761	48,874	0,119	
7	YOĞUŞTURUCU POMPASI ÇIKIŞI	32,54	1,724	137,82	0,470	1291,539	305,69	358,761	49,444	0,797	
									<b>EKİPMAN GÜCÜ</b>	0,700	0,700

## 6.4 Yoğuşturucu Analiz ve Verim Hesaplamaları

Yoğuşturucu şematik gösterimi Şekil 6.11’de verilmiştir. Yoğusturucu üzerinde akışkan giriş çıkış değerleri ile yanma durumu dikkate alınarak oluşturulan, yoğusturucu analizinde kullanılacak olan kütle denklemi, enerji denklemi, ekserji denklemi, ekserji tahribi denklemi, ekserji verimi ( $\varepsilon$ ), enerji verimi ( $\eta$ ), geliştirme potansiyeli ( $\dot{G}_{\text{pot}}$ ) ve tersinmezlik oranı ( $y$ ), yakıt ekserjisi ( $\dot{\Xi}_F$ ) ve ürün ekserjisi ( $\dot{\Xi}_P$ ) denklem bağlantıları aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.11 Yoğuşturucu akışları şematik gösterimi

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (6.33)$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (6.34)$$

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_3 = \dot{E}_2 + \dot{E}_4 \quad (6.35)$$

$$\dot{\Xi}_1 + \dot{\Xi}_3 = \dot{\Xi}_2 + \dot{\Xi}_4 \quad (6.36)$$

$$\dot{\Xi}_T = \dot{\Xi}_1 + \dot{\Xi}_3 - \dot{\Xi}_2 - \dot{\Xi}_4 \quad (6.37)$$

$$\varepsilon = (\dot{\Xi}_2 + \dot{\Xi}_4) / (\dot{\Xi}_1 + \dot{\Xi}_3) \quad (6.38)$$

$$\eta = (\dot{E}_2 + \dot{E}_4) / (\dot{E}_1 + \dot{E}_3) \quad (6.39)$$

$$\dot{G}_{\text{pot}} = \dot{\Xi}_T \cdot (1 - \varepsilon) \quad (6.40)$$

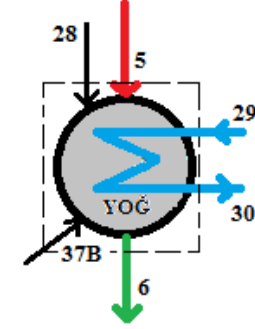
$$y = (\dot{\Xi}_T / (\dot{\Xi}_1 + \dot{\Xi}_3)) \quad (6.41)$$

$$\dot{\Xi}_F = \dot{\Xi}_1 - \dot{\Xi}_2 \quad (6.42)$$

$$\dot{\Xi}_P = \dot{\Xi}_4 - \dot{\Xi}_3 \quad (6.43)$$

### DB Türbin Çıkışı Yoğuşturucu

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.42), (6.43), (6.37), (6.39), (6.38), (6.40), (6.41) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



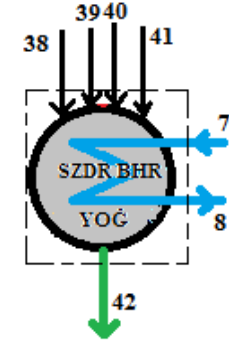
Şekil 6.12 DB türbin çıkışı yoğuşturucu akışları şematik gösterimi

Çizelge 6.9 DB türbin çıkış yoğuşturucu analiz tablosu

DB TÜRBİN ÇIKIŞI YOĞUŞTURUCU		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)		
		18,234	12,110	6,123	97,682	68,821	1,909	31,179		
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	$\dot{m}$	T	$\dot{m}$	ENERJİ	EKSERJİ
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW
5	DÜŞÜK BASINÇ TÜRBİN ÇIKIŞI	32,50	0,005	2559,80	8,402	973,705	305,65	270,474	692,358	16,032
28	KBSP TÜRBİN ÇIKIŞI	46,01	0,006	2585,00	8,374	86,007	319,16	23,891	61,758	2,218
29	AÇIK ÇEVİRİM SUYU GİRİŞİ (DENİZ SUYU)	25,25	0,160	105,90	0,370	82000,000	298,40	22777,770	2412,167	1,286
37B	DB ISITICI DRENAJ YOĞ. GİRİŞİ	39,18	0,180	166,72	0,569	231,817	312,33	64,394	10,736	0,103
6	YOĞUŞTURUCU ÇIKIŞI	32,54	0,005	136,23	0,471	1291,539	305,69	358,761	48,874	0,119
30	AÇIK ÇEVİRİM SUYU ÇIKIŞI (DENİZ SUYU)	32,00	0,120	134,10	0,463	82000,000	305,15	22777,770	3054,500	13,397

### Sızdırmazlık Buharı Yoğuşturucusu

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.42), (6.43), (6.37), (6.39), (6.38), (6.40), (6.41) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki herbir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



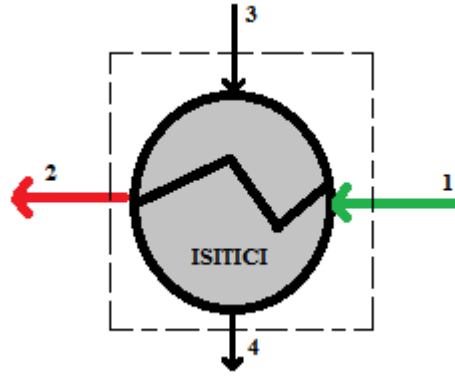
Şekil 6.13 Sızdırmazlık buharı yoğuşturucusu akışları şematik gösterimi

Çizelge 6.10 Sızdırmazlık buhar yoğuşturucu analiz tablosu

SIZDIRMAZLIK BUHARI YOĞUŞTURUCUSU		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)		
		0,262	0,668	0,930	99,846	13,285	0,807	86,715		
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	$\dot{m}$	T	$\dot{m}$	ENERJİ	EKSERJİ
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW
38	YB TÜRİNİ SIZDIRMAZLIK BUHARI ÇIKIŞI 1	568,00	3,920	3600,00	7,293	0,149	841,15	0,041	0,149	0,059
39	YB TÜRİNİ SIZDIRMAZLIK BUHARI ÇIKIŞI 2	312,00	4,100	2990,00	6,391	0,102	585,15	0,028	0,085	0,031
40	OB TÜRİNİ SIZDIRMAZLIK BUHARI ÇIKIŞI	363,80	0,900	3188,80	7,397	0,093	636,95	0,026	0,082	0,026
41	DB TÜRİNİ SIZDIRMAZLIK BUHARI ÇIKIŞI	124,50	0,103	2724,80	7,468	1,150	397,65	0,319	0,870	0,161
7	YOĞUŞTURUCU POMPASI ÇIKIŞI	32,54	1,724	137,82	0,470	1291,539	305,69	358,761	49,444	0,797
42	SZDR BUHARI YOĞUŞTURUCUSU BUHAR ÇIKIŞI	99,04	0,098	414,83	1,295	1,494	372,19	0,415	0,172	0,014
8	SZDR BUHARI YOĞUŞTURUCUSU SU ÇIKIŞI	33,62	1,724	140,43	0,485	1291,539	306,77	358,761	50,381	0,129

## 6.5 Isıtıcı Analiz ve Verim Hesaplamaları

Isıtıcı şematik gösterimi Şekil 6.14’de verilmiştir. Isıtıcı üzerinde akışkan giriş çıkış değerleri ile yanma durumu dikkate alınarak oluşturulan, ısıtıcı analizinde kullanılacak olan kütle denklemi, enerji denklemi, ekserji denklemi, ekserji tahribi denklemi, ekserji verimi ( $\epsilon$ ), enerji verimi ( $\eta$ ), geliştirme potansiyeli ( $\dot{G}_{pot}$ ) ve tersinmezlik oranı ( $y$ ), yakıt ekserjisi ( $\dot{\Xi}_F$ ) ve ürün ekserjisi ( $\dot{\Xi}_P$ ) denklem bağlantıları aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.14 Isıtıcı akışları şematik gösterimi

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_3 = \dot{m}_2 + \dot{m}_4 \quad (6.44)$$

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_3 = \dot{E}_2 + \dot{E}_4 \quad (6.45)$$

$$\dot{\Xi}_1 + \dot{\Xi}_3 = \dot{\Xi}_2 + \dot{\Xi}_4 \quad (6.46)$$

$$\dot{\Xi}_T = \dot{\Xi}_1 + \dot{\Xi}_3 - \dot{\Xi}_2 - \dot{\Xi}_4 \quad (6.47)$$

$$\epsilon = (\dot{\Xi}_2 + \dot{\Xi}_4) / (\dot{\Xi}_1 + \dot{\Xi}_3) \quad (6.48)$$

$$\eta = (\dot{E}_2 + \dot{E}_4) / (\dot{E}_1 + \dot{E}_3) \quad (6.49)$$

$$\dot{G}_{pot} = \dot{\Xi}_T \cdot (1 - \epsilon) \quad (6.50)$$

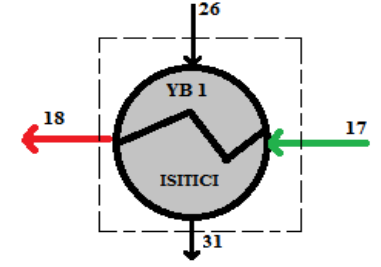
$$y = (\dot{\Xi}_T / (\dot{\Xi}_1 + \dot{\Xi}_3)) \quad (6.51)$$

$$\dot{\Xi}_F = \dot{\Xi}_2 - \dot{\Xi}_1 \quad (6.52)$$

$$\dot{\Xi}_P = \dot{\Xi}_3 - \dot{\Xi}_4 \quad (6.53)$$

## YB-1 Isıtıcı

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.52), (6.53), (6.47), (6.49), (6.48), (6.50), (6.51) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



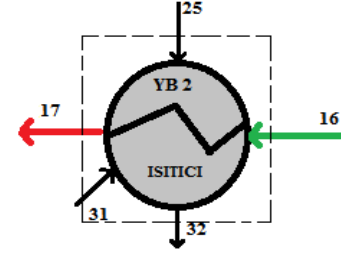
Şekil 6.15 YB-1 ısıtıcı akışları şematik gösterimi

Çizelge 6.11 YB-1 ısıtıcı analiz tablosu

YB-1 ISITICI		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)		
		26,431	25,598	0,833	99,989	96,849	0,026	0,510		
NO	AKIM ADI	T °C	P MPa	h kJ/kg	s kJ/kg.K	$\dot{m}$ t/h	T °K	$\dot{m}$ kg/s	ENERJİ MW	EKSERJİ MW
17	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 2 ÇIKIŞI	249,80	29,350	1087,95	2,740	1685,537	522,95	468,205	509,383	129,014
26	1.ARA BUHAR	355,20	5,880	3059,80	6,368	106,238	628,35	29,511	90,296	34,401
18	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 1 ÇIKIŞI	275,90	28,730	1210,60	2,968	1685,537	549,05	468,205	566,809	154,612
31	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 1 DRENAJ	255,40	5,880	1111,70	2,838	106,238	528,55	29,511	32,807	7,970

## YB-2 Isıtıcı

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.52), (6.53), (6.47), (6.49), (6.48), (6.50), (6.51) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



Şekil 6.16 YB-2 ısıtıcı akışları şematik gösterimi

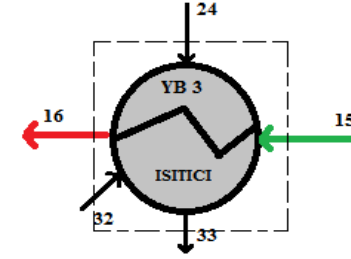
Çizelge 6.12 YB-2 ısıtıcı analiz tablosu

YB-2 ISITICI		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)		
		39,456	36,552	2,904	99,940	92,639	0,214	2,004		
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	$\dot{m}$	T	$\dot{m}$	ENERJİ	EKSERJİ
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW
16	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 3 ÇIKIŞI	206,70	29,350	894,20	2,352	1685,537	479,85	468,205	418,669	92,462
25	2. ARA BUHAR	312,00	4,100	2990,00	6,391	147,121	585,15	40,867	122,192	44,506
31	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 1 DRENAJI	255,40	5,880	1111,70	2,838	106,238	528,55	29,511	32,807	7,970
32	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 2 DRENAJI	212,30	3,960	908,56	2,442	253,359	485,45	70,378	63,942	13,020
17	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 2 ÇIKIŞI	249,80	29,350	1087,95	2,740	1685,537	522,95	468,205	509,383	129,014



### YB-3 Isıtıcı

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.52), (6.53), (6.47), (6.49), (6.48), (6.50), (6.51) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



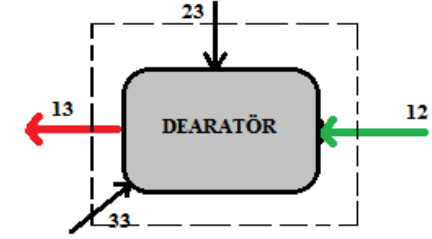
Şekil 6.17 YB- 3 ısıtıcı akışları şematik gösterimi

Çizelge 6.13 YB- 3 ısıtıcı analiz tablosu

YB-3 ISITICI		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)		
		21,239	18,641	2,598	99,996	96,516	0,091	2,420		
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	$\dot{m}$	T	$\dot{m}$	ENERJİ	EKSERJİ
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW
24	3. ARA BUHAR	457,70	1,840	3376,60	7,353	62,080	730,85	17,244	58,228	20,501
32	YÜKSEK BASINÇ ISTICI 2 DRENAJI	212,30	3,960	908,56	2,442	253,359	485,45	70,378	63,942	13,020
15	KAZAN BESİ SUYU POMPA ÇIKIŞI	180,70	29,350	781,34	2,107	1685,537	453,85	468,205	365,827	73,822
33	YÜKSEK BASINÇ ISTICI 3 DRENAJI	186,30	1,780	790,98	2,198	315,439	459,45	87,622	69,307	12,283
16	YÜKSEK BASINÇ ISTICI 3 ÇIKIŞI	206,70	29,350	894,20	2,352	1685,537	479,85	468,205	418,669	92,462

## Dearatör

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.52), (6.53), (6.47), (6.49), (6.48), (6.50), (6.51) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



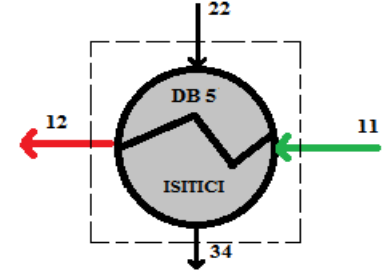
Şekil 6.18 Dearatör akışları şematik gösterimi

Çizelge 6.14 Dearatör analiz tablosu

DEARATÖR		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)		
		33,391	30,926	3,065	99,959	90,984	0,276	5,035		
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	$\dot{m}$	T	$\dot{m}$	ENERJİ	EKSERJİ
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW
12	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 5 ÇIKIŞI	138,30	1,724	582,90	1,719	1291,539	411,45	358,761	209,122	26,875
23	4. ARA BUHAR (DEARATÖRE GİDEN)	363,80	0,949	3187,90	7,371	78,560	636,95	21,822	69,567	21,708
33	YÜKSEK BASINÇ ISTICI 3 DRENAJI	186,30	1,780	790,98	2,198	315,439	459,45	87,622	69,307	12,283
13	DEARATÖR ÇIKIŞI	175,40	1,724	742,95	2,093	1685,537	448,55	468,205	347,853	57,802

## DB- 5 Isıtıcı

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $\gamma$  değerleri sırasıyla (6.52), (6.53), (6.47), (6.49), (6.48), (6.50), (6.51) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



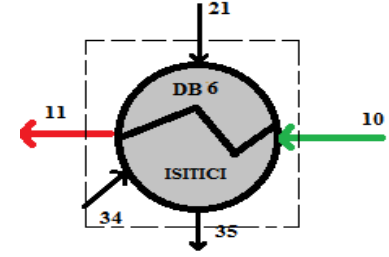
Şekil 6.19 DB-5 ısıtıcı akışları şematik gösterimi

Çizelge 6.15 DB-5 ısıtıcı analiz tablosu

DB-5 ISITICI		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$\gamma$ (%)		
		18,490	15,061	3,429	99,772	81,455	0,636	11,041		
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	$\dot{m}$	T	$\dot{m}$	ENERJİ	EKSERJİ
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW
11	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 6 ÇIKIŞI	96,45	1,724	405,13	1,265	1291,539	369,60	358,761	145,345	11,660
22	5. ARA BUHAR	257,00	0,392	2978,50	7,417	90,492	530,15	25,137	74,870	19,397
12	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 5 ÇIKIŞI	138,30	1,724	582,47	1,719	1291,539	411,45	358,761	208,967	26,721
34	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 5 DRENAJI	102,00	0,370	427,50	1,328	90,492	375,15	25,137	10,746	0,907

## **DB- 6 Isıtıcı**

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.52), (6.53), (6.47), (6.49), (6.48), (6.50), (6.51) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



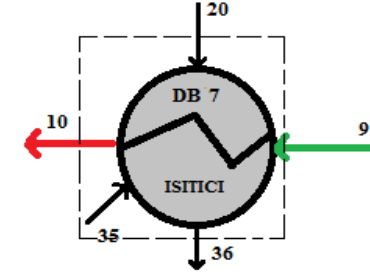
**Şekil 6.20** DB-6 ısıtıcı akışları şematik gösterimi

**Çizelge 6.16** DB-6 ısıtıcı analiz tablosu

DB-6 ISITICI		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)		
		6,181	5,329	0,852	99,960	86,222	0,117	5,750		
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	$\dot{m}$	T	$\dot{m}$	ENERJİ	EKSERJİ
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW
10	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 7 ÇIKIŞI	75,42	1,724	316,93	1,019	1291,539	348,57	358,761	113,702	7,563
21	6. ARA BUHAR	124,50	0,103	2724,80	7,468	44,481	397,65	12,356	33,667	6,254
34	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 5 DRENAJI	102,00	0,370	427,50	1,328	90,492	375,15	25,137	10,746	0,993
11	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 6 ÇIKIŞI	96,45	1,724	405,13	1,265	1291,539	369,60	358,761	145,345	12,893
35	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 6 DRENAJI	80,98	0,098	338,91	1,068	134,973	354,13	37,493	12,707	1,067

## DB- 7 Isıtıcı

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.52), (6.53), (6.47), (6.49), (6.48), (6.50), (6.51) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



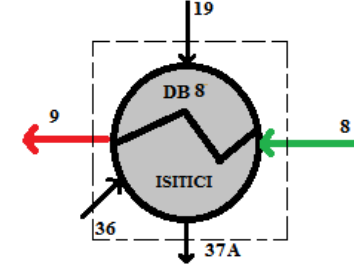
Şekil 6.21 DB-7 ısıtıcı akışları şematik gösterimi

Çizelge 6.17 DB-7 ısıtıcı analiz tablosu

DB-7 ISITICI		$\dot{E}_F$ (MW)	$\dot{E}_P$ (MW)	$\dot{E}_T$ (MW)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)		
		4,869	3,574	1,295	99,552	73,411	0,344	16,088		
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	$\dot{m}$	T	$\dot{m}$	ENERJİ	EKSERJİ
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW
9	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 8 ÇIKIŞI	55,20	1,724	232,43	0,769	1291,539	328,35	358,761	83,387	2,757
20	7. ARA BUHAR	79,46	0,046	2642,60	7,621	41,785	352,61	11,607	30,673	4,352
35	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 6 DRENAJI	80,98	0,098	338,91	1,068	134,973	354,13	37,493	12,707	0,938
10	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 7 ÇIKIŞI	75,42	1,724	316,93	1,019	1291,539	348,57	358,761	113,702	6,331
36	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 7 DRENAJI	60,75	0,440	254,49	0,840	176,758	333,90	49,099	12,495	0,421

## **DB- 8 Isıtıcı**

Tabloda elde edilen  $\dot{E}_F$ ,  $\dot{E}_P$ ,  $\dot{E}_T$ ,  $\eta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\dot{G}_{pot}$  ve  $y$  değerleri sırasıyla (6.52), (6.53), (6.47), (6.49), (6.48), (6.50), (6.51) denklemlerinden elde edilmiştir. Tablodaki her bir ekserji akımının özellikleri ise Çizelge 5.1'den bulunmuştur. Şematik gösterim ise Şekil 5.1'den alınmıştır.



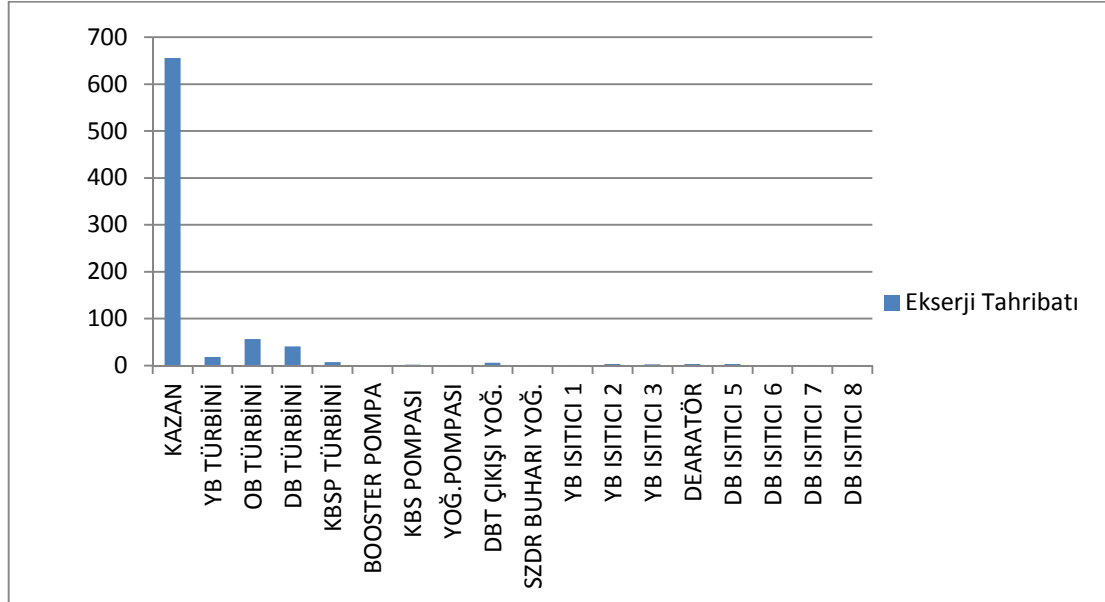
**Şekil 6.22** DB-8 ısıtıcı akışları şematik gösterimi

**Çizelge 6.18** DB-8 ısıtıcı analiz tablosu

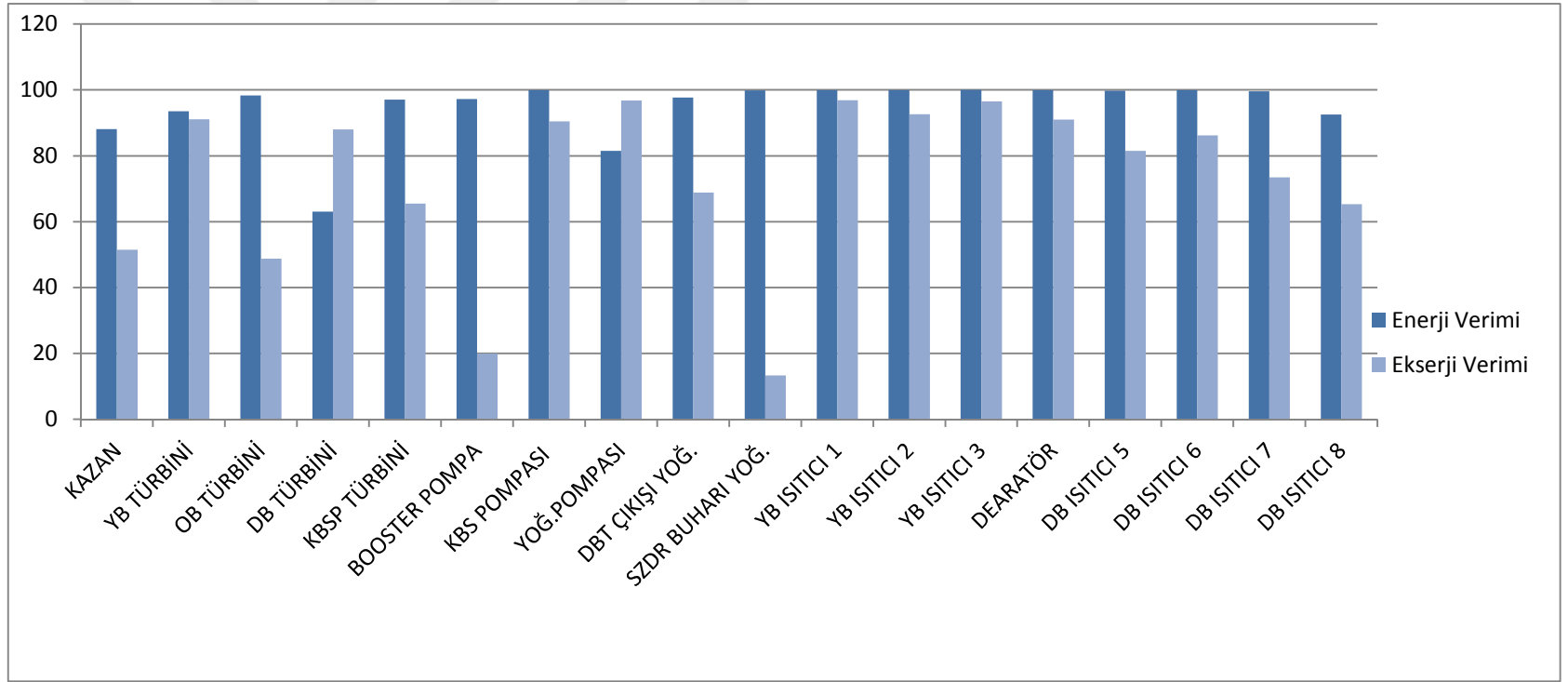
DB-8 ISITICI		$\dot{E}_F$ (Mw)	$\dot{E}_P$ (Mw)	$\dot{E}_T$ (Mw)	$\eta$ (%)	$\varepsilon$	$\dot{G}_{pot}$ (MW)	$y$ (%)		
		4,022	2,628	1,394	92,513	65,347	0,483	32,768		
NO	AKIM ADI	T	P	h	s	m	T	m	ENERJİ	EKSERJİ
		°C	MPa	kJ/kg	kJ/kg.K	t/h	°K	kg/s	MW	MW
8	SIZDIRMAZLIK BUHARI YOĞUŞTURUCU ÇIKIŞI	33,62	1,724	140,43	0,485	1291,539	306,77	358,761	50,381	0,129
19	8. ARA BUHAR	59,07	0,019	2606,90	7,924	53,565	332,22	14,879	38,788	3,703
36	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 7 DRENAJI	60,75	0,440	254,49	0,840	176,758	333,90	49,099	12,495	0,421
9	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 8 ÇIKIŞI	55,20	1,724	232,43	0,769	1291,539	328,35	358,761	83,387	2,757
37A	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 8 DRENAJI	39,18	0,180	166,72	0,569	230,323	312,33	63,979	10,667	0,103

**Çizelge 6.19** Santral ekipmanlarının verim ve ekserji tahribi tablosu

No	Ekipman	Enerji Verimi	Ekserji Verimi	Ekserji Tahribatı
		%	%	MW
1	KAZAN	88,105	51,505	655,474
2	YB TÜRBİNİ	93,569	91,082	18,089
3	OB TÜRBİNİ	98,310	48,720	56,128
4	DB TÜRBİNİ	63,030	88,029	41,063
5	KAZAN BEŞİ SUYU POMPASI TÜRBİNİ	97,052	65,468	7,385
6	BOOSTER POMPA	97,272	19,934	0,289
7	KAZAN BEŞİ SUYU POMPASI	99,978	90,411	1,679
8	YOĞUŞTURUCU POMPASI	81,490	96,857	0,022
9	DB TÜRBİN ÇIKIŞI YOĞUŞTURUCU	97,682	68,821	6,123
10	SIZDIRMAZLIK BUHARI YOĞ.	99,846	13,285	0,930
11	YB ISITICI 1	99,989	96,849	0,833
12	YB ISITICI 2	99,940	92,639	2,904
13	YB ISITICI 3	99,996	96,516	2,597
14	DEARATÖR	99,959	90,984	3,065
15	DB ISITICI 5	99,772	81,455	3,429
16	DB ISITICI 6	99,960	86,222	0,852
17	DB ISITICI 7	99,552	73,411	1,295
18	DB ISITICI 8	92,513	65,347	1,394



**Şekil 6.23** Santral ekipmanları ekserji tahribatı grafiği



Şekil 6.24 Santral ekipmanları enerji ve ekserji verim grafiği



## 6.6 Santral Geneli Analiz ve Verim Hesapları

### Enerji verimi:

Santralin enerji verimini türbinlerin yaptığı işin toplamının kömürden elde edilen enerjiye oranıyla hesaplanmaktadır. Alttaki denklemde  $\eta$  enerji verimini,  $\dot{W}_{T,toplam}$  türbinlerin yaptığı işin toplamı ve  $\dot{E}_{kömür}$  kömürden elde edilen enerjiyi ifade etmektedir.

$$\eta = \dot{W}_{T,toplam} / \dot{E}_{kömür} \quad (6.42)$$

$$\dot{W}_{T,toplam} = \dot{W}_{T,YB} + \dot{W}_{T,OB} + \dot{W}_{T,DB} \quad (6.43)$$

$$\dot{W}_{T,toplam} = 539,663 \text{ MW}, \quad \dot{E}_{kömür} = 1431,4 \text{ MW}, \quad \eta = \%37,7 \quad (6.44)$$

### Ekserji verimi:

Santralin ekserji verimini türbinlerin yaptığı işin toplamının kömürden elde edilen ekserjiye oranıyla hesaplanmaktadır. Alttaki denklemde  $\varepsilon$  ekserji verimini,  $\dot{W}_{T,toplam}$  türbinlerin yaptığı işin toplamı ve  $\dot{\Xi}_{kömür}$  kömürden elde edilen ekserjiyi ifade etmektedir.

$$\varepsilon = \dot{W}_{T,toplam} / \dot{\Xi}_{kömür} \quad (6.45)$$

$$\dot{W}_{T,toplam} = \dot{W}_{T,YB} + \dot{W}_{T,OB} + \dot{W}_{T,DB} \quad (6.46)$$

$$\dot{W}_{T,toplam} = 539,663 \text{ MW}, \quad \dot{\Xi}_{kömür} = 1535 \text{ MW}, \quad \varepsilon = \%35,15 \quad (6.47)$$

## 6.7 Santral Elemanları İçin Termoekonomik Analiz

Hesaplamalarda yatırım maliyeti ve işletme-bakım maliyeti ekipman bazında aşağıdaki tabloda verilmiştir. Burada toplam maliyeti, santral ömrü 30 yıl olmasıyla saat başına 1294 \$/h olarak bulunmuştur. Yakıt maliyeti ise toplam maliyetin %10-35'i olarak ele alınarak 132 \$/h olarak belirtilmiştir (Özil ve diğ., 2013). Denklemlerde geçen  $\dot{Z}_{ym}$  yatırım maliyetini,  $\dot{Z}_{i-bm}$  işletme bakım maliyetini,  $\dot{Z}_t$  toplam maliyeti,  $c$  birim enerji başına düşen \$ birimindeki maliyeti,  $\dot{C}$  saatlik olarak \$ birimindeki maliyeti,  $\dot{E}$  ise ekserjiyi ifade etmektedir.

**Çizelge 6.20** Yatırım, işletme ve bakım maliyetleri ekipman dağılım tablosu

EKİPMAN	$\dot{Z}_{ym}$ (\$/h)	$\dot{Z}_{i-bm}$ (\$/h)	$\dot{Z}_t$ (\$/h)
KAZAN	660,000	16,5000	676,5000
YB TÜRBİNİ	165,000	4,1250	169,1250
OB TÜRBİNİ	99,000	2,4750	101,4750
DB TÜRBİNİ	49,500	1,2375	50,7375
KAZAN BESİ SUYU POMPASI TÜRBİNİ	16,500	0,4125	16,9125
YOĞUŞTURUCU	118,800	2,9700	121,7700
SZDR BHR YOĞUŞTURUCUSU	13,200	0,3300	13,5300
DB ISITICI 8	16,500	0,4125	16,9125
DB ISITICI 7	16,500	0,4125	16,9125
DB ISITICI 6	16,500	0,4125	16,9125
DB ISITICI 5	16,500	0,4125	16,9125
DEARATÖR	16,500	0,4125	16,9125
YB ISITICI 1	16,500	0,4125	16,9125
YB ISITICI 2	16,500	0,4125	16,9125
YB ISITICI 3	16,500	0,4125	16,9125
YOĞUŞTURUCU POMPASI	1,980	0,0495	2,0295
BOOSTER POMPA	0,087	0,0020	0,0900
KAZAN BESİ SUYU POMPASI	6,269	0,1560	6,4260

### Kazan Maliyet Hesabı:

Kazana giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.1' den; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{\text{kömür}} + \dot{C}_{18} + \dot{C}_{2B} + \dot{Z}_{\text{kazan}} = \dot{C}_{1A} + \dot{C}_3 \quad (6.48)$$

$$\dot{C}_{\text{kömür}} + c_{18} \cdot \dot{E}_{18} + c_{2B} \cdot \dot{E}_{2B} + \dot{Z}_{\text{kazan}} = c_{1A} \cdot \dot{E}_{1A} + c_3 \cdot \dot{E}_3 \quad (6.49)$$

$$\dot{C}_{\text{kömür}} = 132 \text{ \$/h} ; \dot{Z}_{\text{kazan}} = 676,5 \text{ \$/h} ; c_{18} = 0 ; c_{2B} = c_{1A} = c_3 \quad (6.50)$$

$$\dot{E}_{1A} = 717,673 \text{ MW} ; \dot{E}_3 = 558,035 \text{ MW} ; \dot{E}_{2B} = 424,95 \text{ MW} \quad (6.51)$$

$$c_b = 0,264 \text{ \$/GJ} ; \dot{C}_{1A} = 682,073 \text{ \$/h} , \dot{C}_3 = 530,356 \text{ \$/h} \dot{C}_{2B} = 405,346 \text{ \$/h} \quad (6.52)$$

**Çizelge 6.21**Kazan maliyet tablosu

<b>KAZAN</b>				
<b><math>\dot{Z}_t (\\$/h)=676,5</math></b>				
<b>AKIM NO</b>	<b>AKIM İSMİ</b>	<b><math>\dot{E}</math> (MW)</b>	<b>c (\\$/GJ)</b>	<b><math>\dot{C}</math> (\\$/h)</b>
KÖMÜR	KÖMÜR	1535,000	0,024	132,000
18	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 1 ÇIKIŞI	154,612	0	0
2B	ARA KIZDIRICI GİRİŞİ	424,950	0,264	405,346
1A	3.KIZDIRICI ÇIKIŞI	717,673	0,264	682,037
3	ARA KIZDIRICI ÇIKIŞI	558,035	0,264	530,356

### Yüksek Basınç Türbini Maliyet Hesabı:

Türbine giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.2' den; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{1B} + \dot{Z}_{tYBT} = \dot{C}_{2A} + \dot{C}_{49} + \dot{C}_{26} + \dot{C}_{48} + \dot{C}_{45} + \dot{C}_{39} + \dot{C}_{WYBT} \quad (6.53)$$

$$c_{1B} \cdot \dot{E}_{1B} + \dot{Z}_{tYBT} = c_{2A} \cdot \dot{E}_{2A} + c_{49} \cdot \dot{E}_{49} + c_{26} \cdot \dot{E}_{26} + c_{48} \cdot \dot{E}_{48} + c_{45} \cdot \dot{E}_{45} + c_{39} \cdot \dot{E}_{39} + \dot{C}_{wt}$$

$$c_{1B} = c_{2A} = c_{49} = c_{26} = c_{48} = c_{45} = c_{39} = 0,264 \text{ \$/GJ} ; \dot{Z}_{tYBT} = 169,125 \text{ \$/h} \quad (6.54)$$

$$\dot{E}_{1B} = 717,392 \text{ MW}; \dot{E}_{2A} = 466,432 \text{ MW}; \dot{E}_{49} = 1,798 \text{ MW}; \dot{E}_{26} = 34,401 \text{ MW}$$

$$\dot{E}_{48} = 9,428 \text{ MW}; \dot{E}_{45} = 0,313 \text{ MW}; \dot{E}_{39} = 0,031 \text{ MW} \quad (6.55)$$

$$\dot{C}_{WYBT} = 362,492 \text{ \$/h}; \dot{C}_{1B} = 681,809 \text{ \$/h}; \dot{C}_{2A} = 443,296 \text{ \$/h}; \dot{C}_{49} = 1,708 \text{ \$/h};$$

$$\dot{C}_{26} = 32,694 \text{ \$/h}; \dot{C}_{48} = 8,960 \text{ \$/h}; \dot{C}_{45} = 0,297 \text{ \$/h}; \dot{C}_{39} = 0,029 \text{ \$/h} \quad (6.56)$$

**Çizelge 6.22** Yüksek basınç türbini maliyet tablosu

YÜKSEK BASINÇ TÜRBİNİ				
$\dot{Z}_t (\$/h)=169,125$				
AKIM NO	AKIM İSMİ	$\dot{E}$ (MW)	$c$ (\\$/GJ)	$\dot{C}$ (\\$/h)
1B	YÜKSEK BASINÇ TÜRBİN GİRİŞİ	717,392	0,264	681,809
2A	YÜKSEK BASINÇ TÜRBİN ÇIKIŞI	466,432	0,264	443,296
49	YB-DB TÜRBİNİ ARASI BAĞLANTI	1,798	0,264	1,708
26	1.ARA BUHAR	34,401	0,264	32,694
48	YB TÜRBİNDEN OB TÜRBİNE ÇIKIŞ	9,428	0,264	8,960
45	SZD BUHAR REGULATOR GİRİŞİ 2	0,313	0,264	0,297
39	YB TÜRBİNİ SZD BUHARI ÇIKIŞI 2	0,039	0,264	0,029
$W_{YBT}$	YB TÜRBİN GÜCÜ	185,316	0,543	362,492

### Orta Basınc Türbini Maliyet Hesabı:

Türbine giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.3' den; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_3 + \dot{C}_{47} + \dot{Z}t_{OBT} = \dot{C}_{4A} + \dot{C}_{40} + \dot{C}_{46} + \dot{C}_{23} + \dot{C}_{27} + \dot{C}_{24} + \dot{C}_{WOBT} \quad (6.57)$$

$$c_3 \cdot \dot{E}_3 + c_{47} \cdot \dot{E}_{47} + Zt_{OBT} = c_{4A} \cdot \dot{E}_{4A} + c_{40} \cdot \dot{E}_{40} + c_{46} \cdot \dot{E}_{46} + c_{23} \cdot \dot{E}_{23} + c_{27} \cdot \dot{E}_{27} + c_{24} \cdot \dot{E}_{24} + \dot{C}_{WOBT} \quad (6.58)$$

$$c_3 = c_{47} = c_{4A} = c_{40} = c_{48} = c_{46} = c_{23} = c_{24} = c_{27} = c_b = 0,264\$/GJ ; Zt_{OBT}=101,475 \$/h$$

$$\dot{E}_3 = 558,035 \text{ MW}; \dot{E}_{47} = 7,274 \text{ MW}; \dot{E}_{4A} = 389,754 \text{ MW}; \dot{E}_{40} = 0,026 \text{ MW}$$

$$\dot{E}_{46} = 0,260 \text{ MW} , \dot{E}_{23} = 21,708 \text{ MW} ; \dot{E}_{27} = 23,602 \text{ MW} ; \dot{E}_{24} = 20,504 \text{ MW} \quad (6.59)$$

$$\dot{C}_{WOBT}=205,501 \$/h; \dot{C}_3=530,356 \$/h; \dot{C}_{47}=6,913 \$/h ; \dot{C}_{4A}=370,422 \$/h ;$$

$$\dot{C}_{40}=0,024 \$/h; \dot{C}_{46}=0,247 \$/h ; \dot{C}_{23}=20,631 \$/h ; \dot{C}_{27}=22,431 \$/h ;$$

$$\dot{C}_{24}=19,487\$/h \quad (6.60)$$

**Çizelge 6.23** Orta basınç türbini maliyet tablosu

ORTA BASINÇ TÜRBİNİ				
Zt (\$/h)=101,475				
AKIM NO	AKIM İSMİ	Ė (MW)	c (\$/GJ)	Ċ (\$/h)
3	ARA KIZDIRICI ÇIKIŞI	558,035	0,264	530,356
47	YB TÜRBİNDEN OB TÜRBİNE GİRİŞ	7,274	0,264	6,913
4A	ORTA BASINÇ TÜRBİN ÇIKIŞI	389,754	0,264	370,422
40	OB TÜRBİNİ SZDR BUHARI ÇIKIŞI	0,026	0,264	0,024
46	SZDR BUHAR REGULATOR GİRİŞİ 3	0,260	0,264	0,247
23	4. ARA BUHAR	21,708	0,264	20,631
27	KBSP TÜRBİN GİRİŞİ	23,602	0,264	22,431
24	3. ARA BUHAR	20,504	0,264	19,487
WOBT	OB TÜRBİN GÜCÜ	53,325	1,070	205,501

### Düşük Basınç Türbini Maliyet Hesabı:

Türbine giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.4' den; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{4B} + \dot{C}_{42} + \dot{Z}_{tDBT} = \dot{C}_{19} + \dot{C}_{20} + \dot{C}_{21} + \dot{C}_{22} + \dot{C}_5 + \dot{C}_{41} + \dot{C}_{WDBT} \quad (6.61)$$

$$c_{4B} \cdot \dot{E}_{4B} + c_{43} \cdot \dot{E}_{43} + \dot{Z}_{tDBT} = c_{19} \cdot \dot{E}_{19} + c_{20} \cdot \dot{E}_{20} + c_{21} \cdot \dot{E}_{21} + c_{22} \cdot \dot{E}_{22} + c_5 \cdot Ex_5 + c_{41} \cdot \dot{E}_{41} + \dot{C}_{WDBT} \quad (6.62)$$

$$c_{4B} = c_{43} = c_{19} = c_{20} = c_{21} = c_{22} = c_5 = c_{41} = c_b = 0,264\$/GJ; Z_{tDBT}=50,7375\$/h \quad (6.63)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{4B}=392,514 \text{ MW}; \quad \dot{E}_{43}=0,364 \text{ MW}; \quad \dot{E}_{19}=3,703 \text{ MW}; \quad \dot{E}_{20}=4,352 \text{ MW} \\ \dot{E}_{21}=6,212 \text{ MW}; \quad \dot{E}_{22}=19,397 \text{ MW}; \quad \dot{E}_5=16,032 \text{ MW}; \quad \dot{E}_{41}=0,161 \text{ MW} \end{aligned} \quad (6.64)$$

$$\begin{aligned} \dot{C}_{WDBT}=376,825 \text{ \$/h}; \quad \dot{C}_{4B}=373,045 \text{ \$/h}; \quad \dot{C}_{43}=0,345 \text{ \$/h}; \quad \dot{C}_{19}=3,519 \text{ \$/h}; \\ \dot{C}_{20}=4,136 \text{ \$/h}; \quad \dot{C}_{21}=5,903 \text{ \$/h}; \quad \dot{C}_{22}=18,354 \text{ \$/h}; \quad \dot{C}_5=15,236 \text{ \$/h}; \\ \dot{C}_{41}=0,153 \text{ \$/h} \end{aligned} \quad (6.65)$$

**Çizelge 6.24** Düşük basınç türbini maliyet tablosu

<b>DÜŞÜK BASINÇ TÜRBİNİ</b>				
<b><math>\dot{Z}_t (\\$/h)=50,737</math></b>				
<b>AKIM NO</b>	<b>AKIM İSMİ</b>	<b><math>\dot{E}</math> (MW)</b>	<b><math>c</math> (\\$/GJ)</b>	<b><math>\dot{C}</math> (\\$/h)</b>
4B	DÜŞÜK BASINÇ TÜRBİN GİRİŞİ	392,514	0,264	373,045
42	SZDR BUHARI YOĞUŞTURUCU ÇIKIŞI	0,364	0,264	0,345
19	8. ARA BUHAR	3,703	0,264	3,519
20	7. ARA BUHAR	4,352	0,264	4,136
21	6. ARA BUHAR	6,212	0,264	5,903
22	5. ARA BUHAR	19,397	0,264	18,354
5	DÜŞÜK BASINÇ TÜRBİN ÇIKIŞI	16,032	0,264	15,236
41	DB TÜRBİNİ SZDR BUHARI ÇIKIŞI	0,161	0,264	0,153
$W_{DBT}$	DB TÜRBİN GÜCÜ	301,591	0,347	376,825

### **Kazan Besi Suyu Pompa Türbini Maliyet Hesabı:**

Türbine giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.5' den; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{27} + \dot{Z}_{t_{\text{KBSPT}}} = \dot{C}_{28} + \dot{C}_{\text{WKBSPT}} \quad (6.66)$$

$$c_{27} \cdot \dot{E}_{27} + \dot{Z}_{t_{\text{KBSPT}}} = c_{28} \cdot \dot{E}_{28} + \dot{C}_{\text{wtKBSPT}} \quad (6.67)$$

$$c_{27} = c_{28} = c_b = 0,264 \text{ \$/GJ} ; \dot{Z}_{t_{\text{KBSPT}}}=16,912 \text{ \$/h} \quad (6.68)$$

$$\dot{E}_{27}=23,684 \text{ MW}; \quad \dot{E}_{28}=2,3 \text{ MW}; \quad (6.69)$$

$$\dot{C}_{\text{WKBSPT}}=37,235 \text{ \$/h}; \quad \dot{C}_{27}=22,509 \text{ \$/h} ; \dot{C}_{28}=2,185 \text{ \$/h}; \quad (6.70)$$

**Çizelge 6.25** Kazan besi suyu pompası türbini maliyet tablosu

<b>KAZAN BESİ SUYU POMPASI TÜRBİNİ</b>				
<b><math>\dot{Z}_t (\\$/h)=16,912</math></b>				
<b>AKIM NO</b>	<b>AKIM İSMİ</b>	<b><math>\dot{E}</math> (MW)</b>	<b><math>c</math> (\\$/GJ)</b>	<b><math>\dot{C}</math> (\\$/h)</b>
27	KBSP TÜRBİN GİRİŞİ	23,684	0,264	22,509
28	KBSP TÜRBİN ÇIKIŞI	2,300	0,264	2,185
$W_{\text{KBSPT}}$	KBSP TÜRBİN GÜCÜ	14,000	0,375	37,235

### Yoğusturucu Maliyet Hesabı:

Yoğusturucuya giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.9'dan; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20'den alınmıştır.

$$\dot{C}_5 + \dot{C}_{28} + \dot{C}_{29} + \dot{C}_{37B} + \dot{Z}_{t_{YOĞ}} = \dot{C}_{30} + \dot{C}_6 \quad (6.71)$$

$$c_5 \cdot \dot{E}_5 + c_{28} \cdot \dot{E}_{28} + c_{29} \cdot \dot{E}_{29} + c_{37B} \cdot \dot{E}_{37B} + \dot{Z}_{t_{YOĞ}} = c_{30} \cdot \dot{E}_{30} + c_6 \cdot \dot{E}_6 \quad (6.72)$$

$$c_{29} = c_{30} = c_{37B} = 0 \quad c_5 = c_{28} = c_b = 0,264 \text{ \$/GJ} ; \dot{Z}_{t_{YOĞ}}=121,77 \text{ \$/h} \quad (6.73)$$

$$\dot{E}_5=16,02 \text{ MW} ; \quad \dot{E}_{28}=2,218 \text{ MW} ; \quad \dot{E}_6=0,119 \text{ MW} \quad (6.74)$$

$$c_6=1168,936 \text{ \$/GJ} ; \quad \dot{C}_5=15,225 \text{ \$/h} ; \quad \dot{C}_{28}=2,107 \text{ \$/h} ; \quad \dot{C}_6=500,772 \text{ \$/h} \quad (6.75)$$

**Çizelge 6.26** Yoğusturucu maliyet tablosu

DB TÜRBİN ÇIKIŞI YOĞUŞTURUCU				
$\dot{Z}_t (\$/h)=121,77$				
AKIM NO	AKIM İSMİ	$\dot{E}$ (MW)	$c$ (\\$/GJ)	$\dot{C}$ (\\$/h)
5	DÜŞÜK BASINÇ TÜRBİN ÇIKIŞI	16,020	0,264	15,225
28	KBSP TÜRBİN ÇIKIŞI	2,218	0,264	2,107
29	AÇIK ÇEVİRİM SUYU GİRİŞİ	1,490	0	0
37B	DB ISITICI DRENAJİ YOĞ. GİRİŞİ	0,103	0	0
30	AÇIK ÇEVİRİM SUYU ÇIKIŞI	102,739	0	0
6	YOĞUŞTURUCU ÇIKIŞI	0,119	1168,936	500,772



### **Yoğuşturucu Pompası Maliyet Hesabı:**

Pompaya giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.8' den; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_6 + \dot{C}_{W_{YOĞP}} + \dot{Z}_{t_{YOĞP}} = \dot{C}_7 \quad (6.76)$$

$$c_6 \cdot \dot{E}_6 + \dot{C}_{W_{YOĞP}} + \dot{Z}_{t_{YOĞP}} = c_7 \cdot \dot{E}_7 \quad (6.77)$$

$$c_6 = c_7 = 1168,936 \text{ \$/GJ} ; \dot{Z}_{t_{YOĞP}}=2,029 \text{ \$/h} \quad (6.78)$$

$$\dot{E}_6=0,119 \text{ MW} ; \quad \dot{E}_7=0,797 \text{ MW}; \quad (6.79)$$

$$\dot{C}_{W_{YOĞP}}=2851,109 \text{ \$/h} ; \quad \dot{C}_7=3353,911 \text{ \$/h} \quad (6.80)$$

**Çizelge 6.27** Yoğuşturucu pompası maliyet tablosu

<b>YOĞUŞTURUCU POMPASI</b>				
<b><math>\dot{Z}_t (\\$/h)=2,029</math></b>				
<b>AKIM NO</b>	<b>AKIM İSMİ</b>	<b><math>\dot{E}</math> (MW)</b>	<b><math>c</math> (\\$/GJ)</b>	<b><math>\dot{C}</math> (\\$/h)</b>
6	YOĞUŞTURUCU ÇIKIŞI	0,119	1168,936	500,720
$W_{YOĞP}$	YOĞUŞTURUCU POMPASI GÜCÜ	0,700	1131,392	2851,109
7	YOĞUŞTURUCU POMPASI ÇIKIŞI	0,797	1168,936	3353,911

### **Sızdırmazlık Buhar Yoğuşturucusu Maliyet Hesabı:**

Yoğuşturucuya giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.10' dan; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{38} + \dot{C}_{39} + \dot{C}_{40} + \dot{C}_{41} + \dot{C}_7 + \dot{Z}_{t_{SZDRYOĞ}} = \dot{C}_8 + \dot{C}_{42} \quad (6.81)$$

$$c_{38} \cdot \dot{E}_{38} + c_{39} \cdot \dot{E}_{39} + c_{40} \cdot \dot{E}_{40} + c_{41} \cdot \dot{E}_{41} + c_7 \cdot \dot{E}_7 + \dot{Z}_{t_{SZDRYOĞ}} = c_7 \cdot \dot{E}_7 + c_{42} \cdot \dot{E}_{42} \quad (6.82)$$

$$c_{38} = c_{39} = c_{40} = c_{41} = 0,264 \text{ \$/GJ}; \quad c_7 = c_{42} = 0; \quad \dot{Z}_{t_{SZDRYOĞ}} = 13,53 \text{ \$/h} \quad (6.83)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{38} &= 0,059 \text{ MW}; & \dot{E}_{39} &= 0,031 \text{ MW}; & \dot{E}_{40} &= 0,026 \text{ MW}; \\ \dot{E}_{41} &= 0,161 \text{ MW}; & \dot{E}_8 &= 0,129 \text{ MW} \end{aligned} \quad (6.84)$$

$$\begin{aligned} \dot{C}_8 &= 2,10 \text{ \$/h}; & \dot{C}_8 &= 0,056 \text{ \$/h}; & \dot{C}_{39} &= 0,029 \text{ \$/h}; & \dot{C}_{40} &= 0,0247 \text{ \$/h} \\ \dot{C}_{41} &= 0,153 \text{ \$/h}; & c_8 &= 0,689 \text{ \$/GJ} \end{aligned} \quad (6.85)$$

**Çizelge 6.28** Sızdırmazlık buhar yoğuşturucusu maliyet tablosu

<b>SIZDIRMAZLIK BUHAR YOĞUŞTURUCUSU</b>				
<b><math>\dot{Z}_t (\\$/h) = 13,53</math></b>				
<b>AKIM NO</b>	<b>AKIM İSMİ</b>	<b><math>\dot{E}</math> (MW)</b>	<b><math>c</math> (\\$/GJ)</b>	<b><math>\dot{C}</math> (\\$/h)</b>
38	YB TÜRBİNİ SZDR BUHARI ÇIKIŞI 1	0,059	0,264	0,056
39	YB TÜRBİNİ SZDR BUHARI ÇIKIŞI 2	0,031	0,264	0,029
40	OB TÜRBİNİ SZDR BUHARI ÇIKIŞI	0,026	0,264	0,0247
41	DB TÜRBİNİ SZDR BUHARI ÇIKIŞI	0,161	0,264	0,153
7	YOĞUŞTURUCU POMPASI ÇIKIŞI	0,797	0	0
42	SZDR BUHARI YOĞ. BUHAR ÇIKIŞI	0,014	0	0
8	SZDR BUHARI YOĞ. SU ÇIKIŞI	0,129	0,689	2,100

### Düşük Basınç Isıtıcı-8 Maliyet Hesabı:

Isıtıcıya giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.18' den; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{19} + \dot{C}_8 + \dot{C}_{36} + \dot{Z}_{tDB8} = \dot{C}_9 + \dot{C}_{37A} \quad (6.86)$$

$$c_{19} \cdot \dot{E}_{19} + c_8 \cdot \dot{E}_8 + c_{36} \cdot \dot{E}_{36} + \dot{Z}_{tDB8} = c_9 \cdot \dot{E}_9 + c_{37A} \cdot \dot{E}_{37A} \quad (6.87)$$

$$c_{19} = 0,264 \text{ \$/GJ} ; \quad c_{37A} = c_8 = c_{36} = 0; \quad \dot{Z}_{tDB8}=16,912 \text{ \$/h} \quad (6.88)$$

$$\dot{E}_{19}=3,703 \text{ MW}; \quad \dot{E}_9=2,757 \text{ MW}; \quad (6.89)$$

$$c_9=1,489 \text{ \$/GJ} ; \quad \dot{C}_9=20,703 \text{ \$/h} ; \quad \dot{C}_{19}=3,791 \text{ \$/h} \quad (6.90)$$

**Çizelge 6.29** DB-8 Isıtıcı maliyet tablosu

<b>DB-8 ISITICI</b>				
<b><math>\dot{Z}_t (\\$/h)=16,912</math></b>				
<b>AKIM NO</b>	<b>AKIM İSMİ</b>	<b><math>\dot{E}</math> (MW)</b>	<b>c (\\$/GJ)</b>	<b><math>\dot{C}</math> (\\$/h)</b>
19	8. ARA BUHAR	0,846	0,264	3,791
8	SZDR BUHARI YOĞUŞTURUCUSU ÇIKIŞI	0,129	0	0
36	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 7 DRENAJI	0,421	0	0
9	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 8 ÇIKIŞI	2,757	1,489	20,703
37A	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 8 DRENAJI	0,103	0	0

### Düşük Basınç Isıtıcı-7 Maliyet Hesabı:

Isıtıcıya giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.17' den; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{20} + \dot{C}_9 + \dot{C}_{35} + \dot{Z}_{tDB7} = \dot{C}_{10} + \dot{C}_{36} \quad (6.91)$$

$$c_{20} \cdot \dot{E}_{20} + c_9 \cdot \dot{E}_9 + c_{35} \cdot \dot{E}_{35} + \dot{Z}_{tDB7} = c_{10} \cdot \dot{E}_{10} + c_{36} \cdot \dot{E}_{36} \quad (6.92)$$

$$c_{20} = 0,264 \text{ \$/GJ} ; c_{36} = c_9 = c_{35} = 0 ; \dot{Z}_{tDB7}=16,912 \text{ \$/h} \quad (6.93)$$

$$\dot{E}_{20}=4,352 \text{ MW}; \quad \dot{E}_{10}=6,331 \text{ MW}; \quad (6.95)$$

$$c_{10}=1,524 \text{ \$/GJ} ; \quad \dot{C}_{10}= 24,099 \text{ \$/h} ; \quad \dot{C}_{20}= 7,187 \text{ \$/h} \quad (6.96)$$

**Çizelge 6.30** DB-7 Isıtıcı maliyet tablosu

<b>DB-7 ISITICI</b>				
<b><math>\dot{Z}_t (\\$/h)=16,912</math></b>				
<b>AKIM NO</b>	<b>AKIM İSMİ</b>	<b><math>\dot{E}</math> (MW)</b>	<b>c (\\$/GJ)</b>	<b><math>\dot{C}</math> (\\$/h)</b>
20	7. ARA BUHAR	4,352	0,264	7,187
9	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 8 ÇIKIŞI	2,757	0	0
35	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 6 DRENAJI	0,938	0	0
10	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 7 ÇIKIŞI	6,331	1,524	24,099
36	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 7 DRENAJI	0,421	0	0

### Düşük Basınç Isıtıcı-6 Maliyet Hesabı:

Isıtıcıya giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.16' dan; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{21} + \dot{C}_{10} + \dot{C}_{34} + \dot{Z}_{tDB6} = \dot{C}_{11} + \dot{C}_{35} \quad (6.97)$$

$$c_{21} \cdot \dot{E}_{21} + c_{10} \cdot \dot{E}_{10} + c_{34} \cdot \dot{E}_{34} + \dot{Z}_{tDB6} = c_{11} \cdot \dot{E}_{11} + c_{35} \cdot \dot{E}_{35} \quad (6.98)$$

$$c_{21} = 0,264 \text{ \$/GJ} ; c_{34} = c_{10} = c_{35} = 0 ; \dot{Z}_{tDB6} = 16,912 \text{ \$/h} \quad (6.99)$$

$$\dot{E}_{21} = 6,254 \text{ MW}; \quad \dot{E}_{11} = 12,893 \text{ MW}; \quad (6.100)$$

$$c_{11} = 3,353 \text{ \$/GJ} \quad \dot{C}_{11} = 22,855 \text{ \$/h}; \quad \dot{C}_{21} = 5,943 \text{ \$/h} \quad (6.101)$$

**Çizelge 6.31** DB-6 Isıtıcı maliyet tablosu

DB-6 ISITICI				
$\dot{Z}_t (\$/h) = 16,912$				
AKIM NO	AKIM İSMİ	$\dot{E}$ (MW)	c (\\$/GJ)	$\dot{C}$ (\\$/h)
21	6. ARA BUHAR	6,254	0,264	5,943
10	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 7 ÇIKIŞI	7,563	0	0
34	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 5 DRENAJI	0,993	0	0
11	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 6 ÇIKIŞI	12,893	3,353	22,855
35	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 6 DRENAJI	1,067	0	0

### Düşük Basınç Isıtıcı-5 Maliyet Hesabı:

Isıtıcıya giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.15' den; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{22} + \dot{C}_{11} + \dot{Z}_{tDB5} = \dot{C}_{12} + \dot{C}_{34} \quad (6.102)$$

$$c_{22} \cdot \dot{E}_{22} + c_{11} \cdot \dot{E}_{11} + \dot{Z}_{tDB5} = c_{12} \cdot \dot{E}_{12} + c_{34} \cdot \dot{E}_{34} \quad (6.103)$$

$$c_{22} = 0,264 \text{ \$/GJ} ; \quad c_{11} = c_{34} = 0 ; \quad \dot{Z}_{tDB5}=16,912 \text{ \$/h} \quad (6.104)$$

$$\dot{E}_{22}=19,397\text{MW}; \quad \dot{E}_{12}=26,721 \text{ MW}; \quad (6.105)$$

$$c_{12}=0,367 \text{ \$/GJ} ; \quad \dot{C}_{12}=35,346 \text{ \$/h} ; \quad \dot{C}_{22}=18,434 \text{ \$/h} \quad (6.106)$$

**Çizelge 6.32** DB-5 Isıtıcı maliyet tablosu

<b>DB-5 ISITICI</b>				
<b><math>\dot{Z}_t (\\$/h)=16,912</math></b>				
<b>AKIM NO</b>	<b>AKIM İSMİ</b>	<b><math>\dot{E}</math> (MW)</b>	<b><math>c</math> (\\$/GJ)</b>	<b><math>\dot{C}</math> (\\$/h)</b>
22	5. ARA BUHAR	19,397	0,264	18,434
11	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 6 ÇIKIŞI	11,660	0	0
12	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 5 ÇIKIŞI	26,721	0,367	35,346
34	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 5 DRENAJI	0,907	0	0

### Dearatör Maliyet Hesabı:

Dearatöre giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.14' den; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{12} + \dot{C}_{23} + \dot{C}_{33} + \dot{Z}_{tDB5} = \dot{C}_{13} \quad (6.107)$$

$$c_{12} \cdot \dot{E}_{12} + c_{23} \cdot \dot{E}_{23} + c_{33} \cdot \dot{E}_{33} + \dot{Z}_{tDEA} = c_{13} \cdot \dot{E}_{13} \quad (6.108)$$

$$c_{23} = 0,264 \text{ \$/GJ} ; \quad c_{12} = c_{33} = 0 ; \quad \dot{Z}_{tDEA}=16,912 \text{ \$/h} \quad (6.109)$$

$$\dot{E}_{23}=21,708 \text{ MW}; \quad \dot{E}_{13}=57,802 \text{ MW}; \quad (6.110)$$

$$c_{13}=0,18 \text{ \$/GJ} ; \quad \dot{C}_{13}=37,543 \text{ \$/h} ; \quad \dot{C}_{23}=20,631 \text{ \$/h} \quad (6.111)$$

**Çizelge 6.33** Dearatör maliyet tablosu

<b>DEARATÖR</b>				
<b><math>\dot{Z}_t (\\$/h)=16,912</math></b>				
<b>AKIM NO</b>	<b>AKIM İSMİ</b>	<b><math>\dot{E}</math> (MW)</b>	<b>c (\\$/GJ)</b>	<b><math>\dot{C}</math> (\\$/h)</b>
12	DÜŞÜK BASINÇ ISITICI 5 ÇIKIŞI	26,875	0	0
23	4. ARA BUHAR	21,708	0,264	20,631
33	YÜKSEK BASINÇ ISTICI 3 DRENAJI	12,283	0	0
13	DEARATÖR ÇIKIŞI	57,802	0,180	37,543

### **Yüksek Basınç Isıtıcı-3 Maliyet Hesabı:**

Isıtıcıya giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.13' den; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{24} + \dot{C}_{15} + \dot{C}_{32} + \dot{Z}_{tYB3} = \dot{C}_{16} + \dot{C}_{33} \quad (6.112)$$

$$c_{24} \cdot \dot{E}_{24} + c_{15} \cdot \dot{E}_{15} + c_{32} \cdot \dot{E}_{32} + \dot{Z}_{tYB3} = c_{16} \cdot \dot{E}_{16} + c_{33} \cdot \dot{E}_{33} \quad (6.113)$$

$$c_{24} = 0,264 \text{ \$/GJ} ; c_{15} = c_{32} = c_{33} = 0 ; \dot{Z}_{tYB3} = 16,912 \text{ \$/h} \quad (6.114)$$

$$\dot{E}_{24} = 20,501 \text{ MW} ; \dot{E}_{16} = 92,462 \text{ MW} ; \quad (6.115)$$

$$c_{16} = 0,109 \text{ \$/GJ} ; \dot{C}_{16} = 36,396 \text{ \$/h} ; \dot{C}_{24} = 19,484 \text{ \$/h} \quad (6.116)$$

**Çizelge 6.34** YB-3 Isıtıcı maliyet tablosu

<b>YB-3 ISITICI</b>				
<b><math>\dot{Z}_t (\\$/h) = 16,912</math></b>				
<b>AKIM NO</b>	<b>AKIM İSMİ</b>	<b><math>\dot{E}</math> (MW)</b>	<b>c (\\$/GJ)</b>	<b><math>\dot{C}</math> (\\$/h)</b>
24	3. ARA BUHAR	20,501	0,264	19,484
15	KAZAN BESİ SUYU POMPA ÇIKIŞI	73,822	0	0
32	YÜKSEK BASINÇ ISTICI 2 DRENAJI	13,020	0	0
16	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 3 ÇIKIŞI	92,462	0,109	36,396
33	YÜKSEK BASINÇ ISTICI 3 DRENAJI	12,283	0	0



### Yüksek Basınç Isıtıcı-2 Maliyet Hesabı:

Isıtıcıya giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.12' den; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{25} + \dot{C}_{16} + \dot{C}_{31} + \dot{Z}_{tYB2} = \dot{C}_{17} + \dot{C}_{32} \quad (6.117)$$

$$c_{25} \cdot \dot{E}_{25} + c_{16} \cdot \dot{E}_{16} + c_{31} \cdot \dot{E}_{31} + \dot{Z}_{tYB2} = c_{17} \cdot \dot{E}_{17} + c_{32} \cdot \dot{E}_{32} \quad (6.118)$$

$$c_{25} = 0,264 \text{ \$/GJ} ; c_{16} = c_{31} = c_{32} = 0 ; \dot{Z}_{tYB2} = 16,912 \text{ \$/h} \quad (6.119)$$

$$\dot{E}_{25} = 44,506 \text{ MW} ; \dot{E}_{17} = 129,014 \text{ MW} ; \quad (6.120)$$

$$c_{17} = 0,127 \text{ \$/GJ} ; \dot{C}_{17} = 59,210 \text{ \$/h} ; \dot{C}_{25} = 42,298 \text{ \$/h} \quad (6.121)$$

**Çizelge 6.35** YB-2 Isıtıcı maliyet tablosu

YB-2 ISITICI				
$\dot{Z}_t (\text{\$/h}) = 16,912$				
AKIM NO	AKIM İSMİ	$\dot{E}$ (MW)	c (\\$/GJ)	$\dot{C}$ (\\$/h)
25	2. ARA BUHAR	44,506	0,264	42,298
16	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 3 ÇIKIŞI	92,462	0	0
31	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 1 DRENAJI	7,970	0	0
17	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 2 ÇIKIŞI	129,014	0,127	59,21
32	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 2 DRENAJI	13,020	0	0

### Yüksek Basınç Isıtıcı-1 Maliyet Hesabı:

Isıtıcıya giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.11' den; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{26} + \dot{C}_{17} + \dot{Z}_{tYB1} = \dot{C}_{18} + \dot{C}_{31} \quad (6.122)$$

$$c_{26} \cdot \dot{E}_{26} + c_{17} \cdot \dot{E}_{17} + \dot{Z}_{tYB1} = c_{18} \cdot \dot{E}_{18} + c_{31} \cdot \dot{E}_{31} \quad (6.123)$$

$$c_{26} = 0,264 \text{ \$/GJ} ; \quad c_{17} = c_{31} = 0 ; \quad \dot{Z}_{tYB1} = 16,912 \text{ \$/h} \quad (6.124)$$

$$\dot{E}_{26} = 34,401 \text{ MW} ; \quad \dot{E}_{18} = 154,612 \text{ MW} ; \quad (6.125)$$

$$c_{18} = 0,089 \text{ \$/GJ} ; \quad \dot{C}_{18} = 49,606 \text{ \$/h} ; \quad \dot{C}_{26} = 32,694 \text{ \$/h} \quad (6.126)$$

**Çizelge 6.36** YB-1 Isıtıcı maliyet tablosu

<b>YB-1 ISITICI</b>				
<b><math>\dot{Z}_t (\\$/h) = 16,912</math></b>				
<b>AKIM NO</b>	<b>AKIM İSMİ</b>	<b><math>\dot{E}</math> (MW)</b>	<b>c (\\$/GJ)</b>	<b><math>\dot{C}</math> (\\$/h)</b>
26	1.ARA BUHAR	34,401	0,264	32,694
17	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 2 ÇIKIŞI	129,014	0	0
18	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 1 ÇIKIŞI	154,612	0,089	49,606
31	YÜKSEK BASINÇ ISITICI 1 DRENAJI	7,970	0	0

### **Booster Pompa Maliyet Hesabı:**

Pompaya giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.6' dan; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{13} + \dot{C}_{W_{bstp}} + \dot{Z}_{t_{BSTRP}} = \dot{C}_{14} \quad (6.127)$$

$$c_{13} \cdot \dot{E}_{13} + \dot{C}_{W_{BSTRP}} + \dot{Z}_{t_{BSTRP}} = c_{14} \cdot \dot{E}_{14} \quad (6.128)$$

$$c_{13} = c_{14} = 0,18 \text{ \$/GJ}; \quad \dot{Z}_{t_{BSTRP}} = 0,09 \text{ \$/h} \quad (6.129)$$

$$\dot{E}_{13} = 57,802 \text{ MW}; \quad \dot{E}_{14} = 57,991 \text{ MW}; \quad (6.130)$$

$$\dot{C}_{W_{BSTRP}} = 0,039 \text{ \$/h}; \quad \dot{C}_{14} = 37,578 \text{ \$/h}; \quad \dot{C}_{13} = 37,455 \text{ \$/h} \quad (6.131)$$

**Çizelge 6.37** Booster pompa maliyet tablosu

<b>BOOSTER POMPA</b>				
<b><math>\dot{Z}_t (\\$/h) = 0,09</math></b>				
<b>AKIM NO</b>	<b>AKIM İSMİ</b>	<b><math>\dot{E}</math> (MW)</b>	<b><math>c</math> (\\$/GJ)</b>	<b><math>\dot{C}</math> (\\$/h)</b>
13	DEARATÖR ÇIKIŞI	57,802	0,180	37,455
14	BOOSTER POMPA ÇIKIŞI	57,991	0,180	37,578
$W_{BSTRP}$	BOOSTER POMPA GÜCÜ	0,361	0,030	0,039

### **Kazan Besi Suyu Pompası Maliyet Hesabı:**

Pompaya giren ve çıkan ekserji akımları ile maliyet denklemleri elde edilmiştir. Maliyet denklemlerindeki her bir akım için ekserji değeri Çizelge 6.5' den; ekipman maliyet değerleri ise Çizelge 6.20' den alınmıştır.

$$\dot{C}_{14} + \dot{C}_{W_{KBSP}} + \dot{Z}_{t_{KBSP}} = \dot{C}_{15} \quad (6.132)$$

$$c_{14} \cdot \dot{E}_{14} + \dot{C}_{W_{kp}} + \dot{Z}_{t_{KBSP}} = c_{15} \cdot \dot{E}_{15} \quad (6.133)$$

$$c_{14} = c_{15} = 0,18 \text{ \$/GJ}; \quad \dot{Z}_{t_{KBSP}}=6,426 \text{ \$/h} \quad (6.134)$$

$$\dot{E}_{14}=57,991 \text{ MW}; \quad \dot{E}_{15}=73,882 \text{ MW}; \quad (6.135)$$

$$\dot{C}_{W_{KBSP}}=3,871 \text{ \$/h}; \quad \dot{C}_{15}=48,876 \text{ \$/h}; \quad \dot{C}_{14}=37,578 \text{ \$/h} \quad (6.136)$$

**Çizelge 6.38** Kazan besi suyu pompası maliyet tablosu

<b>KAZAN BESİ SUYU POMPASI</b>				
<b><math>\dot{Z}_t (\\$/h)=6,426</math></b>				
<b>AKIM NO</b>	<b>AKIM İSMİ</b>	<b><math>\dot{E}</math> (MW)</b>	<b><math>c</math> (\\$/GJ)</b>	<b><math>\dot{C}</math> (\\$/h)</b>
14	BOOSTER POMPA ÇIKIŞI	57,991	0,180	37,578
15	KAZAN BESİ SUYU POMPA ÇIKIŞI	73,882	0,180	47,876
$W_{KBSP}$	KBSP GÜCÜ	17,510	0,060	3,871

## 7.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kömür yakıtlı bir süperkritik termik santralin ekipman ve santral bazında, enerji, ekserji ve termoekonomik analizi yapılmıştır. Yine ekipman ve santral verimi ve ekserji tahrip değerleri hesaplanmıştır.

Süperkritik santral teknolojisi kullanımının asıl amacı yüksek verim ile enerji üretmektir. Bu yüzden çalışmanın asıl amacı santral ve santralde kullanılan ekipmanların verimlerini incelemektir. Elde edilen sonuçlar ile birlikte santralin genel enerji verimi %37,70 ve genel ekserji verimi %35,15 olarak bulunmuştur.

- Çalışma sonucunda ekipman bazında en yüksek ekserji tahribi kazanda 655,474 MW olarak belirlenmiştir. Kazan enerji verimi %88,105 iken ekserji verimi %51,505 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca kazan 317,875 MW'lık bir geliştirme potansiyeline sahiptir. Kazanda yakıttan elde edilen enerji 1431,4 MW, ekserji ise 1535 MW olarak bulunmuştur. (Çizelge 6.1)
- Kazanı takiben ekserji tahribi 56,12 MW olan orta basınç türbininin enerji verimi %98,31 iken ekserji verimi %48,72 olarak hesaplanmıştır. Orta basınç türbini 28,783 MW geliştirme potansiyeline sahiptir. (Çizelge 6.3)
- Üçüncü olarak düşük basınç türbininde ekserji tahribi 41,063 MW'tır. Düşük basınç türbininin enerji verimi %63,03 iken ekserji verimi %88,02 olarak hesaplanmıştır. Düşük basınç türbini 4,916 MW geliştirme potansiyeline sahiptir. (Çizelge 6.4)
- Yüksek basınç türbininde ekserji tahribi 18,089 MW'tır. Yüksek basınç türbininin enerji verimi %93,569 iken ekserji verimi %91,082 olarak hesaplanmıştır. Yüksek basınç türbini 1,613 MW geliştirme potansiyeline sahiptir. (Çizelge 6.2)

- Kazana çevrim suyunu sağlayan pompayı tahrik eden türbinde ekserji tahribi 7,385 MW'tır. Kazan besisi suyu pompası türbininin enerji verimi %97,052 iken ekserji verimi %65,468 olarak hesaplanmıştır. Türbin 2,55 MW geliştirme potansiyeline sahiptir. (Çizelge 6.5)
- Düşük basınç türbininden çıkan buharın yoğuştuğu yoğusturucuda ekserji tahribi 6,123 MW'tır. Yoğusturucuda enerji verimi %97,682 iken ekserji verimi %68,821 olarak hesaplanmıştır. Düşük basınç türbini çıkış yoğusturucusu 1,909 MW geliştirme potansiyeline sahiptir. (Çizelge 6.9)

Bu çalışmaya ek olarak santral ekipmanları ve bu ekipmanlardaki akımlar için maliyet hesaplaması yapılmıştır. Hesaplamalarda kömür yakıtının maliyeti ile ele alınan ekipmanların yatırım ve işletme-bakım maliyetlerinden yararlanılmıştır.

- Kazanın maliyet hesabında, kömürün maliyeti 132 \$/h, ana buhar maliyeti 682,037 \$/h ve ara kızdırma buharı maliyeti 530,356 \$/h olarak bulunmuştur. Buharın genel maliyeti ise 0,264 \$/GJ olarak hesaplanmıştır. (Çizelge 6.21)
- Yüksek basınç türbini maliyet hesabında, türbine giren ana buhar maliyeti 681,809 \$/h, türbinden çıkan buharın maliyeti 443,296 \$/h ve türbinde yapılan işin maliyeti ise 362,492 \$/h olarak bulunmuştur. (Çizelge 6.22)
- Orta basınç türbini maliyet hesabında, türbinden çıkan buharın maliyeti 370,422 \$/h ve türbinde yapılan işin maliyeti ise 205,501 \$/h olarak bulunmuştur. (Çizelge 6.23)
- Düşük basınç türbini maliyet hesabında, türbinden çıkan buharın maliyeti 15,236 \$/h ve türbinde yapılan işin maliyeti ise 376,825 \$/h olarak bulunmuştur. (Çizelge 6.24)
- Kazan besisi suyu pompası türbini maliyet hesabında, türbinden çıkan buharın maliyeti 2,185 \$/h ve türbinde yapılan işin maliyeti ise 37,235 \$/h olarak bulunmuştur. (Çizelge 6.25)

Sistem içersinde ekserji tahribi yüksek olan ekipmanlarda yapılacak iyileştirmelerle sağlanacak küçük çaplı bir verim artışı dahi birim elektrik enerjisi başına harcanan yakıt miktarını, enerji maliyetlerini ve çevreye salınan zararlı emisyonları azaltacaktır.

Sonuç olarak, enerjinin yoğun olarak kullanıldığı veya değişime uğratıldığı sistemlerde enerji ve ekserji analizlerinin birlikte yapılarak sistemin gerçek performansının belirlenmesi oldukça önemlidir. Bununla birlikte, hesaplamalar neticesinde elde edilen veriler kullanılarak termoeekonomik analiz yönteminin uygulanması ile her bir ünite ekipmanının giriş ve çıkış akımlarındaki ekserji maliyetlerinin hesaplanması sistemde yapılmak istenilen iyileştirmelerin işletmeye olan maliyetleri açısından bir değerlendirme yapılmasında önemli rol oynamaktadır.







## KAYNAKLAR

- Adibhatla, S. and Kaushik, S.C.**, 2014: Energy and Exergy Analysis of a Super Critical Thermal Power Plant at Various Load Conditions Under Constant and Pure Sliding Pressure Operation, *Applied Thermal Engineering* 73 (2014) 51-65, India
- Bayrak, A. and Güngör, A.**, 2011: Efficiency Assessment of a Cogeneration System, *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 6(28), 6439-6449
- Bejan, A., Tsatsaronis, G. and Moran, M.**, 1996: *Thermal Design and Optimization*, First Edition, A Wiley-Interscience Publication, New York
- Bergmann, E. and Schmidt, K.R.**, 1967: Second Law Analysis for Process Costing and Process Design of Steam Power Plants, *Mitt.d.G.B.*,108:151-160
- Cziesla, F., Bewerunge, J. . and Senzel, A.**, 2009: Lünen-State-of-the-Art Ultra Supercritical Steam Power Plant Under Construction, *Siemens Power-Gen Europe 2009*, Cologne, Germany
- Çengel, Y.A. and Boles, M.A.**, 2007: *Thermodynamics:An Engineering Approach* Fifth Edition, Mc Graw-Hill,Inc
- Dinçer, İ. and Çengel, A.**, 2001: Energy, Entropy and Exergy Concepts and Their Roles in Thermal Engineering, *Entropy* 2001, 3, 116-149
- Ege, A. and Şahin, M.H.**, 2014: Determination of Uncertainties in Energy and Exergy Analysis of a Power Plant, *Energy Conversion and Management* 85 (2014) 399-406 , Ankara-Türkiye
- Elsafi A.M.**, 2015: Exergy and Exergoeconomic Analysis of Sustainable Direct Steam Generation Solar Power Plant, *Energy Conversion and Management* 103 (2015) 338-347, Saudi Arabia
- Evans R.B. and Tribus M.**, 1962: *A Contribution to Theory of Thermodynamics*, UCLA, Dept. Of Engr: Report No:62/63, Los Angles, CA
- Filiz, Ç, Uysal, C., Kılıç, E., Kurt, H.**, 2014; Bir Buhar Kazanının Enerji ve Ekserji Analizi Yoluyla Performansının Değerlendirilmesi, Karabük Üniversitesi, Karabük
- Gaggioli, R.A., and Wepfer, W.J.**, 1980; Exergy Economics. 1. Cost Accounting Applications. 2. Benefit-Cost of Conservation, *Energy-Int.J*(5) 823-838
- Gama S.A.A, and Nebra, A.S.**, 1999; Cost Attribution Methodologies in Cogeneration Systems”, *Energy Conversion & Management*, 40: 1587-1597.

- Hasti, S., Aroonwilas A and Veawab A.,** 2013: Exergy Analysis of Ultra Supercritical Power Plant, Energy Procedia 37 (2013) 2544-2551, Canada
- Heper, Y.,** 2001: Buhar Santralleri Teorisi ve Uygulamaları, ODTÜ, Ankara
- Kaushik, S.C. A, Reddy S.V and Tyagib S.K.,** 2010:Energy and Exergy Analysis of Thermal Power Plants, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 1857–1872, India
- Kaya, M,** 2008: Buharlı Güç Çevrim Veriminin Ekserji Analiziyle Belirlenmesi, CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, Cilt:1, Sayı:9
- Keenan, J.H.,** 1937: Steam Chart for Second-Law Analysis: A Study of Thermodynamic Availability in the Steam Power Plant Trans, ASME 54:195-203
- Knoche, K.F., and Funk J.E.,** 1979: Entropy Production, Efficiency, and Economics in The Thermochemical Generation of Synthetic Fuels, Int. J. Hyfrogen Energy, 2:377-393
- Lazzaretto A.,Tsatsaronis G.,** 2002: SPECO: A Systematic and General Methodology for Calculating Efficiencies and Costs in Thermal Systems, Energy 31, 1257-1289, Italy
- Makhanlall , D.,Zhang , F.,Xu , R. and Jiang , P.,** 2015: Exergy-topological Analysis and Optimization of a Binary Power Plant Utilizing Medium-grade Geothermal Energy , Applied Thermal Engineering 88(2015) 459-463, Beijing-China
- Medelin , A.A., Papayanpoulos , E.M., and Milares , C.M.,** 2014: Diagnosis and Redesign of Power Plants Using Combined Pinch and Exergy Analysis , Energy 72(2014) 643-651, Mexico
- Mert, M.S.,** (2010): Bir Güç Santralinin Ekerjik ve Termoekonomik Analizi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Mert, O.S and Özçelik Z.,** 2014: Bir Doğalgaz Kombine Çevrim Santralinde Ekserji Uygulaması, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bornova – İzmir
- Özil, E., Şişbot, S., Özpnar, A. ve Olgun, B.,** 2013: Elektrik Enerjisi Teknolojileri ve Enerji Verimliliği, Cilt-1 227-235,Cilt-3 312
- Özgener, L., ve Hepbaşı, A.,** 1999: HVAC Sistemlerinde Ekserji Analizinin Gerekliği ve Uygulamaları, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir
- Peng, S.;Wang, Z.; Hong,H.; Xu,D. and Jin, H.,** 2014: Exergy Evaluation of a Typical 330MW Solar Hybrid Coal-fired Power Plant in China, Energy Conversion and Management 85 (2014) 848-855, China
- Pambudi, R.A.; Itoi, R.; Jalilinasrabad, S. and Jealani K.,** 2014: Exergy Analysis and Optimization of Dieng Single-Flash Geothermal Power Plant, Energy Conversion and Management 78 (2014) 405-411, Japan

- Rashad, A. and Mahiy A.**, 2009: Energy and Exergy Analysis of a Steam Power Plant, 13th International Conference on “Aerospace Sciences& Aviation Technology”, Cairo, Egypt
- Reistad, G.M. and Gaggioli, R.A.**, 1980: “Available Energy Costing, in: Thermodynamics: Second Law Analysis, A.C.S Symposium Series 122:143-159
- Singh, O.K. and Kaushik S.C.**, 2013: Energy and Exergy Analysis and Optimization of Kalina Cycle Coupled With a Coal Fired Steam Power Plant, Applied Thermal Engineering 51(2013) 787-800, India
- Soltani, A.; Yari, M.; Mahmoudi, S.; Morosuk, T. and Rosen M.A.**, 2013: Advanced Exergy Analysis Applied to an Externally-fired Combined-Cycle Power Plant Integrated with a Biomass Gasification Unit, Energy 59(2013) 775-780, Iran
- Szargut, J.; Morris D.R., and Steward, F.R.**, 1976: Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metalurgical Processes, Hemisphere Publishing Corp., 100-107, USA
- Tekel, E.**, 2006: Termik Santrallerin Enerji ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli
- Termik Santral Verileri 1**, 2011: Coal Fired Power Plant Operation and Maintenance Manual of Steam Turbine
- Termik Santral Verileri 2**, 2011: Coal Fired Power Plant Operation and Maintenance Manual of Boiler
- Termik Santral Verileri 3**, 2011: Steam Turbine Heat Balance Diagram
- Tsatsaronis G.**, 1993: Thermoeconomic Aanalysis and Optimization of Energy Systems, Prog. Energy Combust. Sci. 1993, Vol. 19, 227-257, USA
- Ünver, Ü. and Kılıç, M.**, 2005: Bir Kombine Çevrim Güç Santralinin Termodinamik Analizi, Mühendis ve Makine, Cilt: 46, Sayı:545
- Vandani, M.K.; Bidi, M.; and Ahmadi, F.**, 2015: Exergy Analysis and Evolutinoary Optimization of Boiler Blowdown Heat Recovery in Steam Power Plants, Energy Conversion and Management 106 (2015) 1-9, Iran
- Valero, A.; Lozano M.A., and Munoz, M.**, 1986: A General Theory of Exergy Saving, Computer- Aided Engineering of Energy Systems, Proc. ASME Winter Annual Meeting, Dec 7-12, Anaheim
- Zeitz, R.A.**, 1997: CIBO Energy Efficiency Handbook, Council of Intustrial Boiler Owners (CIBO)



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Ekrem ŞAHİN

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Çanakkale/07.12.1985

**Adres:** Çanakkale, Türkiye

**E-Posta:** esahin017@gmail.com

**Lisans:** Kocaeli Üniversitesi/Elektrik Mühendisliği

**Yüksek Lisans:** Yalova Üniversitesi/Enerji Sistemleri Mühendisliği

## TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

**Sahin E., Sert M. ve Mert M.S., 2015:** 3. Anadolu Enerji Sempozyumu, Kömür Yakıtlı Bir Güç Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi, 2015, Muğla, Türkiye