

**T.C.  
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**LİNYİT KAYNAKLI BİR TERMİK SANTRALİN  
TERMODİNAMİK AÇIDAN İNCELENMESİ**

**Sercan KARADUMAN**

**Danışman  
Prof. Dr. Reşat SELBAŞ**

**ISPARTA - 2022**



© 2022 [Sercan KARADUMAN]

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Santrallere Bakış ve Termik Santral Türleri .....	4
1.1.1. Kömür ile çalışan termik santraller .....	6
1.1.2. Fuel-oil ile çalışan termik santraller .....	6
1.1.3. Doğalgazla çalışan termik santraller .....	6
1.2. Türkiye’de Termik Santraller .....	7
1.2.1. Türkiye’de kömür ile çalışan termik santraller .....	7
1.2.1.1. Yerli kömür kullanan santraller .....	7
1.2.1.2. İthal kömür kullanan santraller .....	9
1.3. Termik Santrallerin Çalışma Prensibi .....	10
1.4. Sistemin Tanıtılması (Bir Termik Santral) .....	11
1.4.1. Santral bilgileri .....	11
1.4.2. Santral çalışma sistemi .....	12
1.4.3. Sisteme girenler .....	15
1.4.3.1. Hava .....	16
1.4.3.2. Su .....	16
1.4.3.3. Kömür .....	17
1.4.4. Genel ekipmanlar .....	18
1.4.4.1. Kazan .....	18
1.4.4.2. Türbin .....	20
1.4.4.3. Alçak basınç ve yüksek basınç ısıtıcıları .....	21
1.4.4.4. Kondenser (Yoğuşturucu) .....	22
1.4.4.5. Soğutma kuleleri .....	23
1.4.4.6. Jeneratör .....	24
1.4.4.7. Elektrofiltre .....	25
1.4.5. Atıklar .....	26
1.5. Çalışmanın Amacı .....	27
1.6. Çalışmanın İçeriği .....	27
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	34
3.1. Termodinamik ve Enerji .....	34
3.2. Termodinamiğin Birinci Yasası .....	35
3.3. Sürekli Akışlı Açık Sistemler .....	35
3.3.1. Sürekli akışlı açık sistemlerde kütle dengesi .....	36
3.3.2. Sürekli akışlı açık sistemlerde enerji dengesi .....	36
3.4. Termodinamiğin İkinci Yasası .....	38
3.4.1. Kelvin-Planck ve Clausius ifadeleri .....	38
3.4.2. Entropi .....	39
3.4.2.1. Sürekli akışlı açık sistemlerde entropi dengesi .....	40
3.4.2.2. Saf maddeler için entropi değişimi .....	41

3.4.2.3. Sıvı ve katıların entropi dengesi.....	41
3.4.2.4. Mükemmel gazların entropi değişimleri .....	41
3.4.2.5. Entropi değişiminin nedenleri ve sonuçları.....	42
3.5. Sürekli Akışlı Açık Sistemlerde İkinci Yasa Analizi.....	42
3.6. Yanma ve Yakıt ile İlgili Analizler .....	43
3.7. Geleneksel Ekserji Bileşenleri .....	48
3.7.1. Kinetik ekserji .....	49
3.7.2. Potansiyel ekserji .....	49
3.7.3. Fiziksel ekserji .....	49
3.7.4. Kimyasal ekserji.....	50
3.8. Ekserji Yıkımı ve Kaybı.....	50
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	51
4.1. Santral Çalışma Sistemi .....	51
4.2. Santral Ölçülen Değerler .....	53
4.3. Hesaplamalar .....	54
4.3.2. Santraldeki noktaların ekserji dengeleri.....	65
4.3.2.1. Santraldeki noktaların fiziksel ekserjileri .....	65
4.3.2.2. Santraldeki noktaların kimyasal ekserjileri.....	72
4.3.2.3 Santral ekipmanlarının ekserji kaybı hesapları .....	77
4.3.3. Enerji, ekserji kaybı ve verimlerinin bulunması .....	80
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	84
KAYNAKLAR .....	86
ÖZGEÇMİŞ .....	90

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### LİNYİT KAYNAKLI BİR TERMİK SANTRALİN TERMODİNAMİK AÇIDAN İNCELENMESİ

Sercan KARADUMAN

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Reşat SELBAŞ

Dünya enerji üretim kaynaklarına bakıldığında daha çok fosil kaynaklı yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların ömürlerinin kısa olması ve çevreye zararlı olmaları sebebiyle enerji üretiminde daha verimli tüketilmelidir.

Ülke olarak yerli enerji konusundaki çalışmalar giderek artmakta ve bu çalışmalarını desteklemek amaçlı sürekli destek paketleri açıklanmaktadır. Yerli enerji konusunda da ülkemizdeki payı en büyük olan linyit kömürüdür (EPIAŞ, 2020 faaliyet raporu). Linyit rezervlerinin önemli bir kısmı termik santrallerde elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Bu kaynakların, daha verimli sistemlere sahip santrallerde kullanımı üretilen enerjinin güvenilirliği ve çevreye olan zararının azaltılması açısından önemlidir. Yüksek verimi sağlayabilmek için sistemin termodinamik analizinin yapılması, kayıpların belirlenmesi ve işletme şartlarının en verimli şekilde sağlanması gereklidir.

Bu çalışmamızda Soma bölgesinde çalışan bir termik santralin termodinamik enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Çevrimin genel akış diyagramı oluşturulup, sistemdeki kazan, türbin, besleme suyu ısıtıcıları gibi ekipmanların giriş ve çıkışlarındaki sıcaklık, basınç ve debiler okunarak ekipmanların mevcut çalışma durumları belirlenmiştir. Bu veriler akış diyagramı üzerine işlenmiş ve çevrimin termodinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Çevrim ekipmanlarındaki kayıplar hesaplanıp tüm çevrim, enerji ve ekserji verimliliği yönlerinden incelenmiştir. Bulunan sonuçlara göre santralin ölçüm yapılan noktalarındaki verim kayıp noktalarında iyileştirme önerilerinde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Termik santral termodinamiği, Enerji analizi, Ekserji analizi, Santral verimi

2022, 90 sayfa

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **THERMODYNAMIC INVESTIGATION OF A LIGNITE MADE THERMAL POWER PLANT**

**Sercan KARADUMAN**

**Isparta University of Applied Sciences  
The Institute of Graduate Education  
Department of Energy Systems Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Reşat SELBAŞ**

Fossil fuels are used more as the world creates energy. Fossil-sourced resources have a short lifespan and planning for the future can be consumed more.

As a country, training activities are carried out within the scope of local training activities. The biggest regulation on domestic energy is coal (EPİAŞ, 2020 annual report). Some of the lignite reserves are used in thermal power plants. In power plants that have better systems than these systems, it is important that the energy of the system and its maintenance are important. Performing thermodynamic analysis, processing and operation of damages in the most efficient way for high delivery.

In this study, thermodynamic energy and exergy analysis of a thermal power plant operating in the Soma region were made. The General Flow Diagram of the Cycle was created and the current working conditions of the equipment were determined by reading the inlets and inlets and flow rates of the equipment such as the boiler, feed water heaters in the system. The course of this course was considered and thermodynamic evaluation of the phenomenon was not carried out. Calculate all the cycle equipment, all the negative aspects and exergy. Suggestions were made about being optimistic about the positioning of the found good brat power plant

**Key Words:** Thermal power plant thermodynamics, Energy analysis, Exergy analysis, Power plant efficiency

**2022, 90 pages**

## TEŞEKKÜR

Tezimin yürütülmesinde desteğini ve emeğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danıőmanım sayın Prof. Dr. Reşat SELBAŞ'a, yazım aőamasında teknik bilgiler konusunda yardımcı olan sayın Doğ. Dr. Erkan DİK MEN'e, ęalıőma süresince bana desteklerinden dolayı sayın Doğ. Dr. Fatih YILMAZ'a teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her zaman olduğu gibi bu süreçte de yanımda olan değerli aileme sevgi ve saygılarımı sunarım.

**Sercan KARADUMAN**  
ISPARTA, 2022



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Yıllık kişi başı elektrik tüketimi .....	1
Şekil 1.2. Fosil kaynaklı yakıtların enerji üretimindeki payı (%) .....	2
Şekil 1.3. Türkiye kömür kaynak dağılımı.....	2
Şekil 1.4. Rezervlerin kalan ömürleri (yıl).....	3
Şekil 1.5. Elektrik üretimindeki kaynak dağılımı .....	3
Şekil 1.6. Termik santral enerji dönüşümü .....	4
Şekil 1.7. İdeal Rankine çevrimi .....	5
Şekil 1.8. İdeal Rankine çevrimi T-S Diyagramı .....	5
Şekil 1.9. 2010 ve 2020 yılları için birincil enerji kaynaklarına göre türkiye kurulu gücü .....	6
Şekil 1.10. Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi .....	7
Şekil 1.11. Yerli ve ithal kaynaklı kurulu gücün türkiye kurulu gücü içindeki payı ...	9
Şekil 1.12. Kömür stok sahası.....	17
Şekil 1.13. Kömür stok makinası .....	17
Şekil 1.14. Kamyon kömür yükleme .....	18
Şekil 1.15. Kazan boru donanımı .....	19
Şekil 1.16. Kazan içi yanma.....	20
Şekil 1.17. Buhar türbini kanatları .....	21
Şekil 1.18. Alçak basınç ısıtıcıları .....	22
Şekil 1.19. Yüksek basınç ısıtıcıları .....	22
Şekil 1.20. Kondenser genel görünüş.....	23
Şekil 1.21. Soğutma kuleleri .....	24
Şekil 1.22. Jeneratör yapısı .....	25
Şekil 1.23. Jeneratörün görünüşü .....	25
Şekil 1.24. Ayıtlı Kül Barajı .....	26
Şekil 3.1. Kelvin-Planck ifadesine göre çalışan buharlı güç santrali.....	39
Şekil 3.2. Clausius ifadesi .....	39
Şekil 3.3. Ekserji bileşenleri.....	48
Şekil 4.1. Santral çalışma prensibi .....	52
Şekil 4.2. Kazan enerji dengesi .....	54
Şekil 4.3. YBT enerji dengesi .....	57
Şekil 4.4. OBT enerji dengesi .....	58
Şekil 4.5. ABT enerji dengesi .....	58
Şekil 4.6. Kondenser karışım diyagramı .....	59
Şekil 4.7. ABI 1 karışım diyagramı .....	60
Şekil 4.8. ABI 2 karışım diyagramı .....	61
Şekil 4.9. ABI 3 karışım diyagramı .....	61
Şekil 4.10. ABI 4 karışım diyagramı .....	62
Şekil 4.11. YBI 1 karışım diyagramı .....	63
Şekil 4.12. YBI 2 karışım diyagramı .....	63
Şekil 4.13. KBT karışım diyagramı .....	64
Şekil 4.14. KTP karışım diyagramı.....	64
Şekil 4.15. KBP karışım diyagramı.....	65
Şekil 4.16. Ekipmanlara ait giren çıkan enerjiler .....	81
Şekil 4.17. Kayıp enerji ve oranları .....	82
Şekil 4.18. Ekipmanlara ait giren çıkan ekserjiler .....	83
Şekil 4.19. Kayıp ekserji ve oranları.....	83

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1. Kazan karakteristiği .....	15
Çizelge 1.2. Turbin-Jeneratör karakteristikleri .....	15
Çizelge 3.1. Yakıtların analizleri .....	43
Çizelge 3.2. Yakıtların giren ve çıkan bileşenlerine ait katsayılar.....	44
Çizelge 4.1 Ekipman giriş-çıkış noktaları.....	51
Çizelge 4.2. Santral ölçülen değerler .....	53
Çizelge 4.3. Kazan nokta değerleri .....	54
Çizelge 4.4. Baca gazının 298 K ve 480 K'deki entalpi değerleri.....	55
Çizelge 4.5. YBT nokta değerleri .....	57
Çizelge 4.6. OBT nokta değerleri .....	57
Çizelge 4.7. ABT nokta değerleri .....	58
Çizelge 4.8. Kondenser nokta değerleri .....	59
Çizelge 4.9. ABI 1 nokta değerleri .....	60
Çizelge 4.10. ABI 2 nokta değerleri.....	61
Çizelge 4.11. ABI 3 nokta değerleri.....	61
Çizelge 4.12. ABI 4 nokta değerleri.....	62
Çizelge 4.13. YBI 1 nokta değerleri.....	62
Çizelge 4.14. YBI 2 nokta değerleri.....	63
Çizelge 4.15. KBT nokta değerleri .....	64
Çizelge 4.16. Baca gazı içerisindeki bileşenlerin özellikleri .....	66
Çizelge 4.17. Bazı gazların standart kimyasal ekserjileri .....	73
Çizelge 4.18. Noktalara ait enerji ve ekserji değerleri .....	77
Çizelge 4.19. Noktalardaki enerji, ekserji kayıpları ve verimleri .....	81
Çizelge 4.20. Kayıp enerji ve oranları .....	82
Çizelge 4.21. Kayıp ekserji ve oranları.....	83

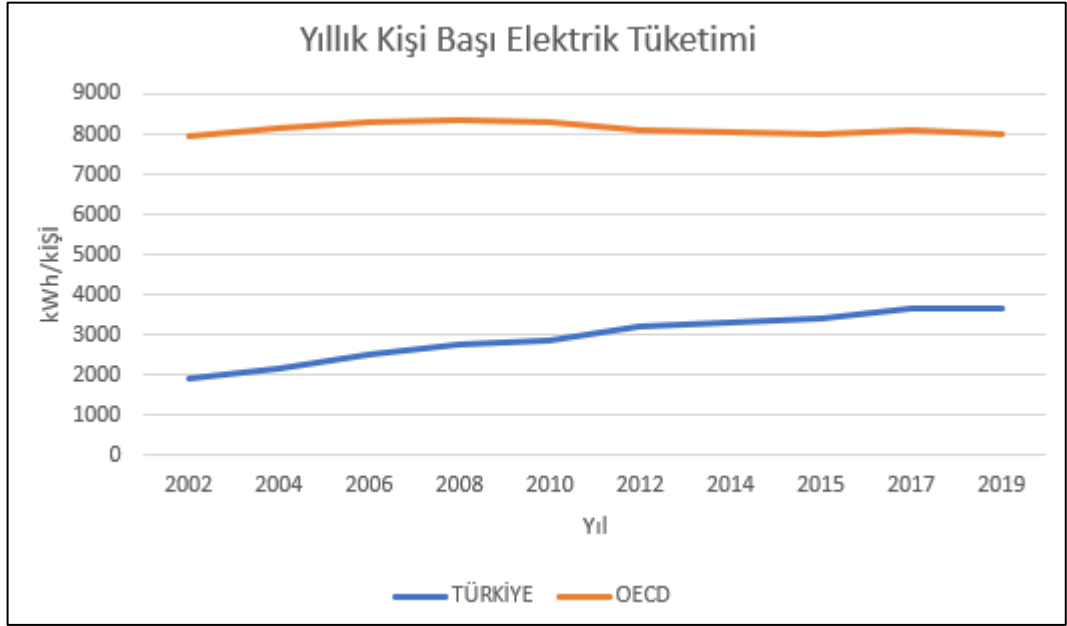
## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Akış yönüne dik kesit alanı, (m <sup>2</sup> )
ABI	Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı
ABT	Alçak basınç türbini
BFP	Kazan besleme suyu pompası
BFPT	Kazan besleme suyu pompası tahrik türbini
CCCW	Kapalı çevrim soğutma suyu
ENH	Enerji nakil hattı
ESP	Elektrostatik filtre
FD FAN	İkincil hava fanı
FGD	Baca gazı desülfürizasyonu
GCB	Jeneratör devre kesicisi
GGH	Gaz- gaz ısıtıcı
GIS	Gaz izoleli şalt
ID FAN	Cebri çekme fanı
IEA	Uluslararası enerji ajansı
KBP	Kazan besleme pompası
KE	Kinetik enerji
KTP	Kondenser tahliye pompası
OBT	Orta basınç türbini
OCCW	Açık çevrim soğutma suyu
PAF	Birincil hava fanı
PE	Potansiyel enerji
RH	Tekrar kızdırıcı
SCR	Seçici katalitik indirgeme
SH	Son kızdırıcı
TEİAŞ	Türkiye elektrik iletim anonim şirketi
TEP	Ton eşdeğer petrol
YBI	Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı
YBT	Yüksek basınç türbini
YG	Yüksek gerilim
$\dot{E}_x$	Birim zamandaki toplam ekserji, (kW, MW)
ex	Birim kütle için ekserji, (kJ/kg)
$\dot{E}_{xD}$	Birim zamandaki toplam ekserji tahribi, (kW, MW)
$\dot{E}_{xF}$	Birim zamandaki toplam yakıt ekserjisi, (kW, MW)
$\dot{E}_{XL}$	Birim zamandaki toplam ısı aktarımıyla kaybedilen ekserji, (kW, MW)
$\dot{E}_{XP}$	Birim zamandaki toplam ürünlerin ekserjisi, (kW, MW)
$\dot{E}$	Birim zamandaki toplam enerji, (kW, MW)
e	Birim kütle için enerji, (kJ/kg)
$G_{pot}$	Birim zamandaki toplam geliştirme potansiyeli, (kW, MW)
g	Yerçekimi ivmesi, (m <sup>2</sup> /s)
h	Entalpi, (kJ/kg)
h <sub>0</sub>	Çevre şartlarındaki (ölü hal) entalpi, (kJ/kg)
$h_u$	Yakıtın alt ısı değeri, (kJ/kg)
$\dot{I}$	Tersinmezlik, (kW)
$\dot{m}$	Kütleli Debi, (kg/s)
P	Basınç, (bar)
P <sub>0</sub>	Çevre şartlarındaki (ölü hal) basınç, (bar)
$\dot{Q}$	Birim zamandaki ısı geçişi, (kW)

$Q_{\text{kayıp}}$	Çevreye olan ısı aktarımı, (kW)
$S$	Entropi, (kJ/kg.K)
$s_0$	Çevre şartlarındaki (ölü hal) entropi, (kJ/kg.K)
$S_{\text{üretim}}$	Entropi üretimi, (kJ/kg.K)
$T$	Sıcaklık, (K, °C)
$T_0$	Çevre şartlarındaki (ölü hal) sıcaklık, (K, °C)
$T_y$	Sistemin yüzey sıcaklığı, (K, °C)
$U$	İç Enerji, (kJ)
$V$	Akış yönündeki ortalama hız, (m/s)
$\dot{v}$	Hacimsel debi, (m <sup>3</sup> /s)
$\dot{w}$	Birim zamandaki iş, (kW)
$W_{\text{tr}}$	Tersinir iş, (kW)
$W_y$	Yararlı iş, (kW)
$y_i$	Mol fraksiyonu
$z$	Yerden yükseklik, (m)
$\rho$	Yoğunluk, (kg/m <sup>3</sup> )
$\eta$	Enerji verimi
$\varepsilon$	Ekserji verimi

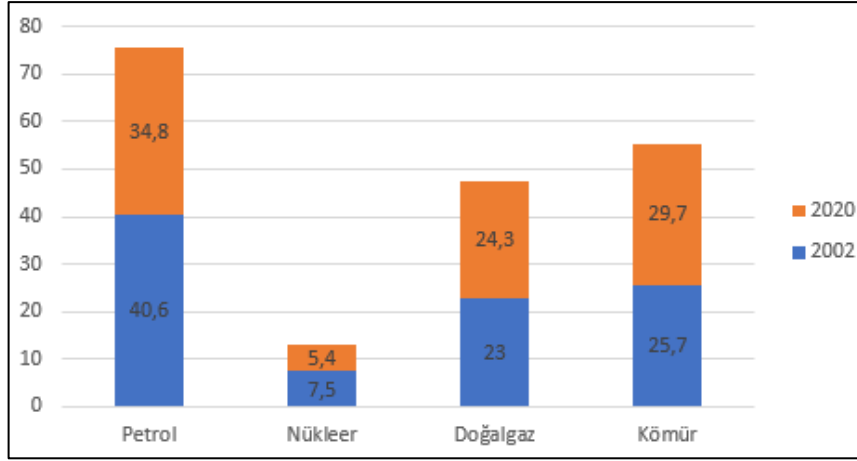
## 1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızlı artışı ve sanayileşmenin de artmasıyla enerjiye olan talep de giderek artmaktadır. İhtiyacının çoğunluğu fosil kökenli kaynaklardan karşılanmaktadır. Şekil 1.1’de yıllara göre kişi başı elektrik tüketimi görülmektedir (ETKP, 2015) (BP, 2020).



Şekil 1.1. Yıllık kişi başı elektrik tüketimi

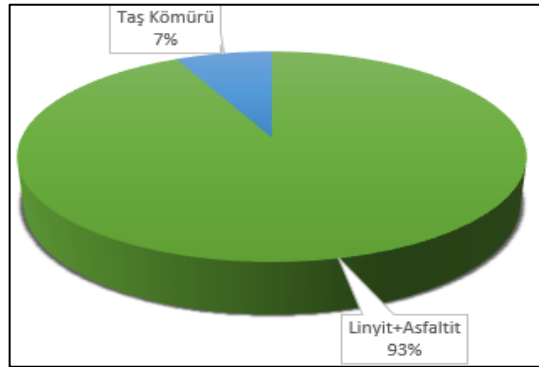
Enerji üretim alanında en önemli paya sahip olan fosil kaynaklı yakıtlardır. Son yıllardaki fosil kaynaklı yakıtların enerji üretimindeki payı incelendiğinde kömürün payı artmıştır. Son 18 yılda petrolün payı %40.6’dan %34.8’e, nükleerın payı %7.5’ten %5.4’e düşerken, doğalgazın payı %23’ten %24.3’e, kömürün payı ise %25.7’den %29.7 düzeyine yükselmiştir (Şekil 1.2) (BP, 2020).



Şekil 1.2. Fosil kaynaklı yakıtların enerji üretimindeki payı (%) (BP, 2020)

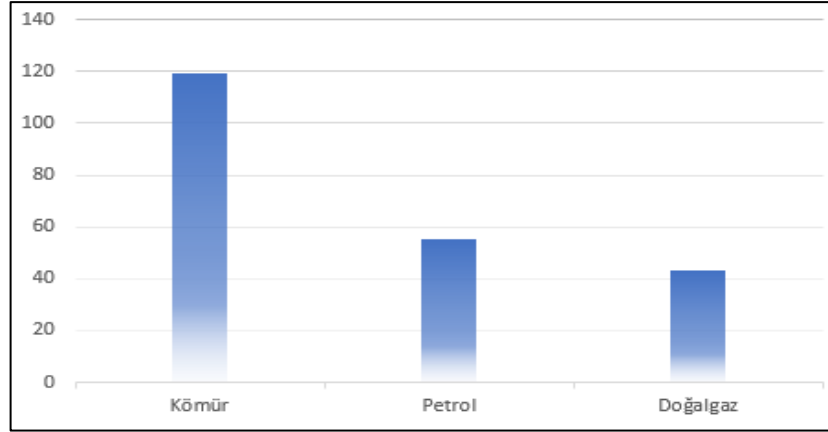
Dünyada fosil kaynaklı yakıtlar içerisinde %29,7'lik paya sahip kömürün işletilebilir rezervi toplamda 1.07 trilyon ton büyüklüğündedir (BP, 2020). Bu kaynağın 749 milyar tonu bitümlü ve antrasit kömür, 321 milyar tonu alt bitümlü kömür ve linyit grubundadır. Kömür kaynak miktarının ise bu rakamın en az iki katı olduğu bilinmektedir

Ülkemizin asfaltit, taşkömürü ve linyit olarak toplam kömür kaynağı yaklaşık 20.84 milyar ton'dur (MTA, 2019; TKİ, 2020) (Şekil 1.3). Kömür kaynaklarının henüz üçte birinin fizibilite ve etüt çalışmaları tamamlandığından çok az bir bölümü rezerv olarak adlandırılmaktadır.



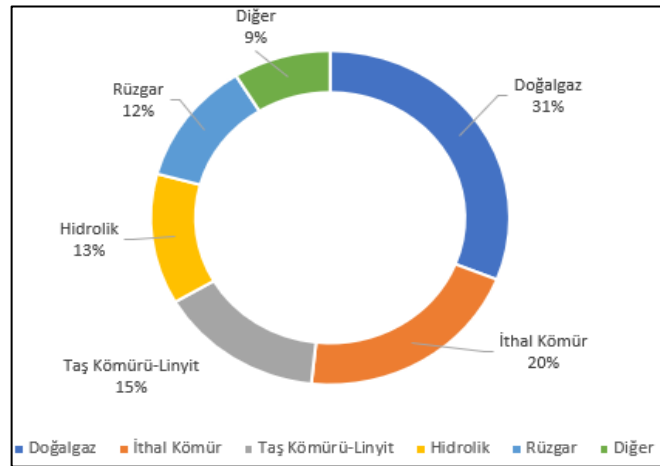
Şekil 1.3. Türkiye kömür kaynak dağılımı (MTA, 2019; TKİ, 2020)

Kömür kaynaklarının sınırlı olması ve ülkelere göre değişiklik göstermekle birlikte yaklaşık 119 yıl, petrolün 55 yıl doğalgazın 43 yıl ömrünün olduğu düşünüldüğünde eldeki sınırlı kaynağı en verimli şekilde kullanmak gereklidir (Şekil 1.4) (Selçuk, 2010).



Şekil 1.4. Rezervlerin kalan ömürleri (yıl)

Elektrik üretim miktarı kaynak bazında incelendiğinde, ilk sırada 8 972 131 MWh (%31.03) ile doğalgaz yer almaktadır. Ardından 5 969 489 MWh (%20.65) ile ithal kömür, 4 312 963 MWh (% 14.92) ile taş kömür-linyit, 3 656 857 MWh (%12.65) ile hidrolik, 3 460 295 MWh (%11.97) ile rüzgâr ve 2 541 645 MWh (%8.79) ile diğer kaynaklar gelmektedir. Üretime %8.79 katkıda bulunan diğer kaynaklara bakıldığında, 935 802 MWh (%3.24) ile jeotermal, 787 354 MWh (%2.72) ile güneş, 545 704 MWh (%1.89) ile biyokütle, 171 935 MWh (%0.59) ile asfaltit, 74 177 MWh (%0.26) ile kojenerasyon ve 26 668 MWh (%0.09) ile fuel oil yer almaktadır (Şekil 1.5) (EPIAŞ, 2021).



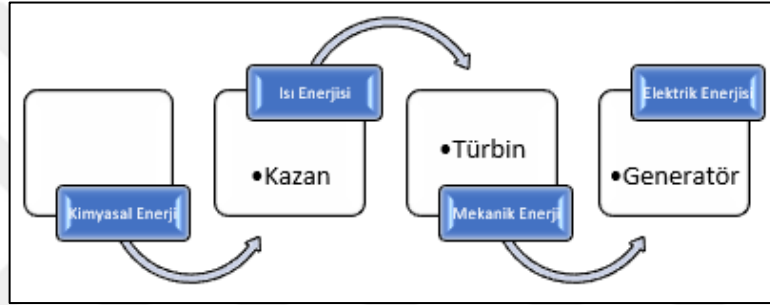
Şekil 1.5. Elektrik üretimindeki kaynak dağılımı (EPIAŞ, 2021)

Türkiye'nin enerji üretiminde dışarı bağımlılığı üretim rakamlarına ve üretim kaynaklarına bakıldığında da %66.69 civarındadır. Bu oranın ilerleyen yıllarda artacağı öngörüsüyle milli ve yenilenebilir kaynaklara teşvik etmek kaçınılmazdır. Bunun yanında enerjinin verimliliği de özellikle Türkiye gibi enerjide dışa bağımlı

lkeler için çok önemlidir. Türkiye’de 2001 yılından bu yana enerji üretiminde yerlileme çalışmaları balamıtır (Alioğlu, 2010). Bugün de bu yerlilemeler devam etmektedir. Bu çalışmaların başında da yerli kömüre dayalı santral sayısını artırmak ve çalışan santralleri hem çevreye duyarlı hale getirmek hem de yakıt maliyetini düşürmektir.

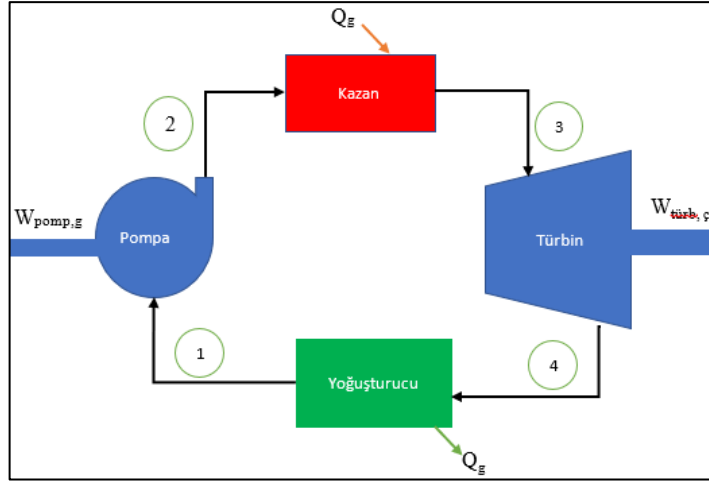
### 1.1. Santrallere Bakı ve Termik Santral Türleri

Termik santraller kimyasal enerjiyi sırasıyla ısı enerjisine, mekanik enerjiye son olarak da elektrik enerjisine eviren sistemlerdir (ekil 1.6).

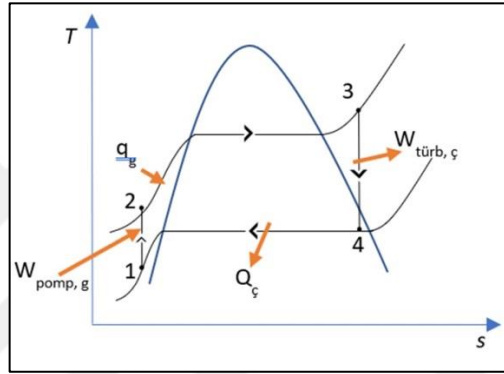


Şekil 1.6. Termik santral enerji dönüşümü

Termik santrallerde, kondenserden pompa vasıtasıyla besleme suyu ısıtıcılara gönderilerek akışkan ısıtılır. Sonrasında çok yüksek basınçta kazana gönderilir. Kazanda yakıtın yanmasından sonra açığa çıkan ısıyla ısıtılıp kızgın buhar olarak türbine gönderilerek elde edilen ısı enerjisi mekanik enerjiye ve generatör aracılığıyla da daha sonra elektrik enerjisine dönüştürüldüğü tesislerdir. evrim olarak genelde rankine çevrimi kullanılır ve ideal rankine çevrimi aşağıda gösterilmiştir (Coşkun vd., 2013) (ekil 1.7 ve ekil 1.8).

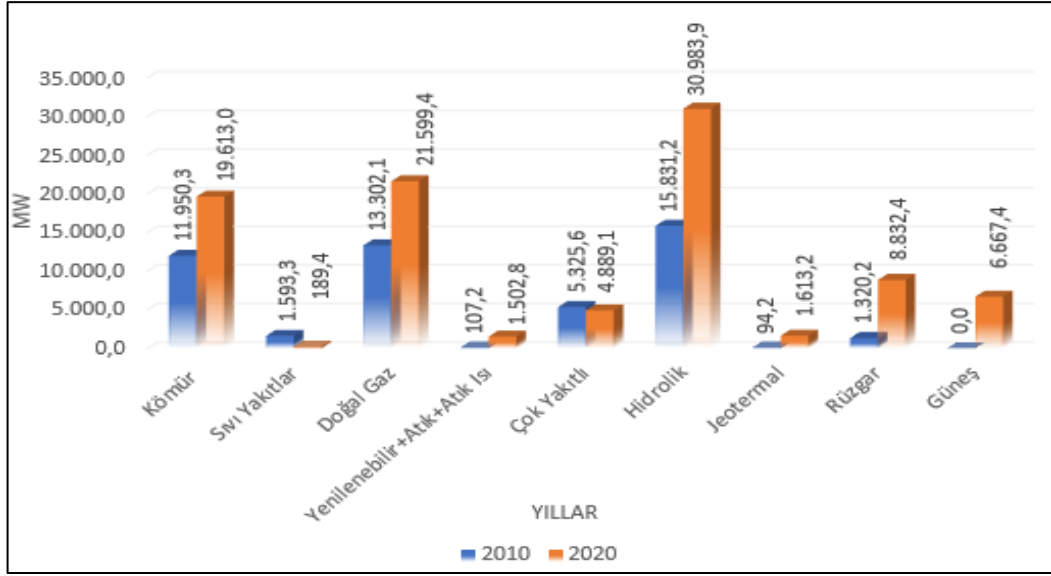


Şekil 1.7. İdeal Rankine çevrimi



Şekil 1.8. İdeal Rankine çevrimi T-S Diyagramı

Ülkemizde ve dünyada elektrik ihtiyacının büyük çoğunluğu birincil enerji kaynakları diye adlandırılan petrol, doğalgaz, kömür, vb. yani termik santraller vasıtasıyla üretilmektedir. Aşağıdaki şekilde yıllar içerisindeki değişimi görebilirsiniz (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. 2010 ve 2020 yılları için birincil enerji kaynaklarına göre türkiye kurulu gücü (TEİAŞ, 2020)

### 1.1.1. Kömür ile çalışan termik santraller

Yakıt olarak kömür kullanılan, kazanda kızdırıcı paketlerde suyu ısıtarak basınçlı buhara çeviren ve bu buharın türbinde kanatlara çarparak kanatları çevirmesiyle generatörde elektrik üreten sistemlerdir. Yani kömürdeki kimyasal enerjinin elektrik enerjisine çevrildiği sistemlerdir.

### 1.1.2. Fuel-oil ile çalışan termik santraller

Kömürle çalışan termik santrallerin ilk devreye alınmasında kullanıldığı gibi küçük işletmelerin acil durumlarda elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için dizelle çalışan santraller kullanılır. Günümüzde acil durumlarda iş yerleri ve fabrikalarda elektrik kesintisi sonucu tesisi çalıştırmak için kullanılır.

### 1.1.3. Doğalgazla çalışan termik santraller

Doğalgazın yakılmasıyla gaz türbininden elektrik üretilmesiyle çalışan sistemlerdir. Genelde gaz türbinin arkasında ya da yanında buhar türbini de bulunur. Bu buhar türbiniyle de çıkan egzoz gazlarının ısıttığı kazandaki buhar kullanılarak elektrik elde edilir. Bu şekilde verimlilik artırılır.

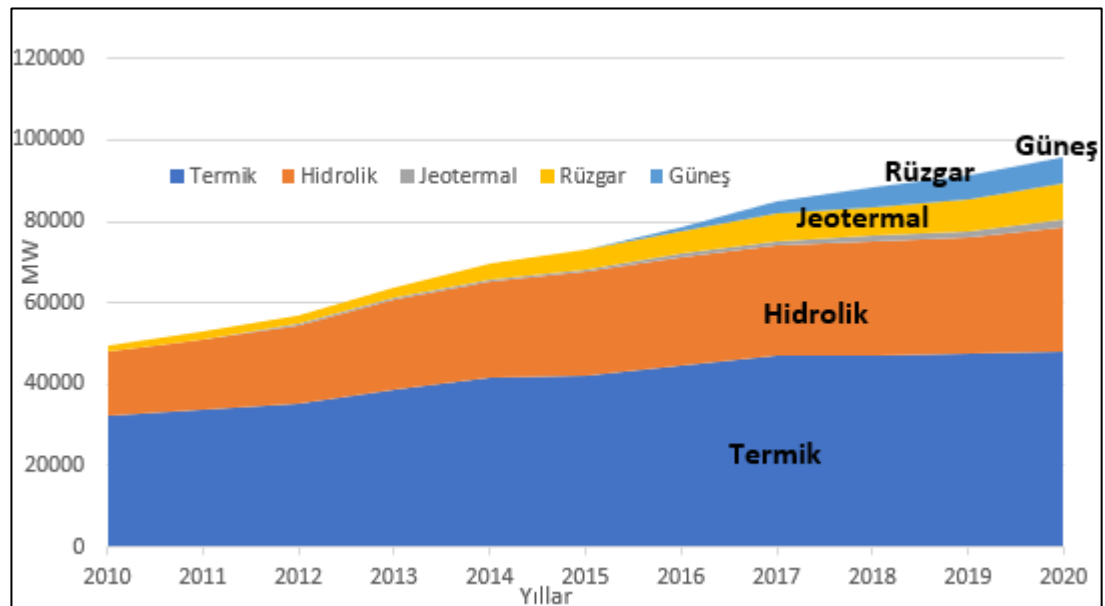
## 1.2. Türkiye’de Termik Santraller

### 1.2.1. Türkiye’de kömür ile çalışan termik santraller

Türkiye’de ilk olarak 1902 yılında Tarsus’da açılan hidroelektrik santralinden sonra ilk kömürle çalışan santral 1914 yılında kurulan ve 1983 yılına kadar faaliyet gösteren Silahtarağa Termik Santralidir. Bu santral İstanbul’a elektrik sağlamak amaçlı kurulmuştur. Kurulduktan sonra termik santrallerde yakıt olarak öncelikli kömür tercih edilmiştir. İthal kömürle çalışan santraller ise 2000’li yıllardan sonra ülkemizde kurulmaya başlamıştır (Tamzok, 2017).

#### 1.2.1.1. Yerli kömür kullanan santraller

Ülkemizde 1950’li yıllarda hidro elektrik santraller için barajların kurulmasıyla 1960 yıllara kadar kömürlü santrallerin enerji üretiminde payı büyüktür. 1967’li yıllardan sonra petrol benzer ürünlerinin elektrik üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Petrol ürünlerinin de elektrik üretiminde kullanılmasıyla kömürün payı giderek azalmıştır. Sonrasında petrol kriziyle kömürün önemi tekrar artmış ve 1986 yılında kömür santrallerinin oranı %50’leri bulmuştur (Şekil 1.10) (Tamzok, 2017).



Şekil 1.10. Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi

Sonrasında çevresel sorunlar, hava kirliliği ve petrol kriziyle birlikte petrol arama çalışmaları hızlanmış ve bu çalışmalar sırasında büyük çaplı doğalgaz rezervleri keşfedilmiştir. Doğalgazın bulunmasıyla enerji üretiminde kullanmak için gaz türbin teknolojileri gelişmiştir. Gaz türbinlerinin geliştirilmesiyle kömür karşısında doğalgazlı enerji üretim alternatifi doğmuştur. 1980'li yıllardan sonra doğalgazdan elektrik üretimi artarken yerli kömür kullanımı azalmıştır. 2000'li yıllardan sonraysa ithal kömürlü santrallerin sayısı artarak 2015 yılından sonra yerli kömür kullanımını geçmiştir.

Ülkemizde santrallerde kullanılan yerli kömürler evlerde kullanılamayacak kalitedeki düşük kalorili linyit kömürleridir. Taşkömürü kullanımı ise linyit kadar değildir. Taşkömürü daha çok Zonguldak bölgesinde olmakla birlikte 1948 yılında devreye alınan ve 1980'lerin sonuna kadar çalışmaya devam eden Çatalağzı A Santralinde kullanılmıştır. 1989 yılında 314 Mw'lık Çatalağzı-B Santrali taşkömüründen elektrik üretimine başlamış ve üretimine devam etmektedir.

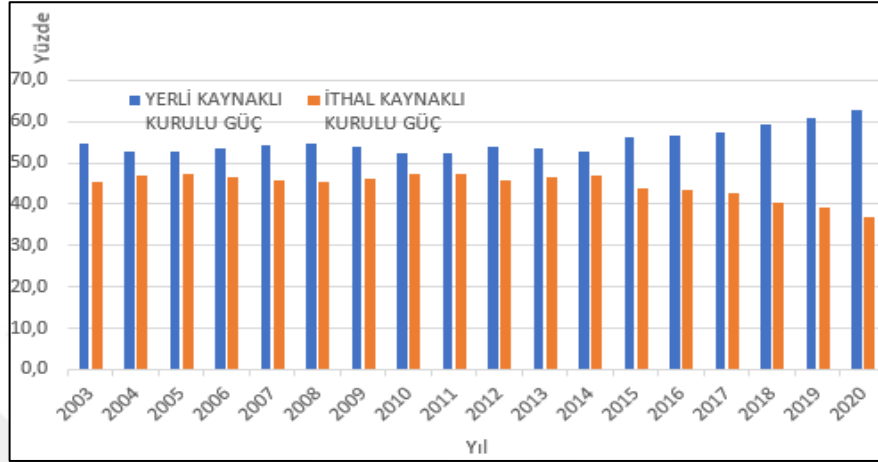
Linyit kömürü kullanan termik santraller 1973 yıllarına kadar küçük kapasiteli olarak kurulmuşlardır. 1956 yılında devreye alınan 65 Mw kapasiteli Tunçbilek-A Termik Santrali ile 1957-1958 yılları arasında her biri 22 Mw'lık güce sahip 2 üniteli Soma-A Termik Santralleri devreye alınmıştır.

1970'li yıllarından sonra ise linyit kaynaklı daha büyük kapasiteli santraller devreye alınmaya başlamıştır. 300 Mw ünite kapasitesi olan Seyitömer Termik Santralinde 2 ünite devreye alınmıştır. Sonrasında da giderek sayılar artmıştır.

Çayırhan, Yatağan, Soma-B, Yeniköy, Kemerköy, Kangal, Orhaneli, Tunçbilek-B Afşin-A ve Elbistan-A santralleri bu santrallerden bazılarıdır.

Serbest piyasadaki düzenlemelerle 2000'li yıllardan sonra ithal kömürlü santraller devreye alınarak ve doğalgaz santrallerinin de artmasıyla yerli kömür kaynaklı santrallerin önemi yine azalmıştır. 2005 yılından sonra Afşin-B (1440 Mw) ve Çan (320 Mw) Termik santralleri devlet teşvikleriyle devreye alınmıştır.

2021 yılı itibariyle ise kapasite mekanizmasından toplam kurulu gücü 25.401 MW olan 46 adet santral yararlanma hakkına sahip olmuştur. 46 adet santralin 22 adedi kömür yakıtlı termik santral olup 15 adedi yerli, kalanı ithal/yerli kaynaklara dayalıdır (Şekil 1.11) (TSKB, 2021).



Şekil 1.11. Yerli ve ithal kaynaklı kurulu gücün türkiye kurulu gücü içindeki payı (TEİAŞ, 2020)

Şubat 2022 itibariyle yerli kömür ile çalışan toplam 19 adet (8.472 MWe) işletmede olmak üzere toplam 25 (11.784 MWe) adet lisanslı termik santral bulunmaktadır (EPDK, 2022).

### 1.2.1.2. İthal kömür kullanan santraller

Yerli kömüre olan yatırımlar ve mevcut santrallerde iyileştirmeler de devam etmekte birlikte son zamanlarda özellikle 2000'li yıllardan sonra ithal kömürlü santrallerin de sayısı artarak devam etmiştir. 2022 yılı itibari ile ithal kömüre bağlı santrallerin kurulu gücü 12.806 MW'lere ulaşmıştır (EPDK, 2022).

Elektrik üretiminde kaynağa yakınlık, birim enerji için maliyet, emre amadelik, kullanım ömrü gibi faktörler düşünülerek yatırımlar planlanmaktadır. Doğalgaz ve İthal kömürün maliyeti her geçen gün arttığından bu kaynakların sayısı artsa da yerli kömürle üretim yapan santrallerin sayısı bunlardan daha fazla artacağı öngörülmektedir.

### 1.3. Termik Santrallerin Çalışma Prensibi

Santrallerin çalışma prensibi buharlı çevrimdir. Çevrimin başlangıç noktası kondenserden çıkan sudur. Kondenserden sonra su kondense tahliye pompası vasıtasıyla sıkıştırılarak alçak basınç ısıtıcılarına gönderilir (ABI). Isıtıcılarda türbinden gelen ara buhar ile ısıtılarak kademe kademe sıcaklığı artırılır. Su alçak basınç ısıtıcısından sonra degazöre gönderilir. Degazör suyun içerisindeki havanın ayrılması için kullanılır. Su sonrasında kazan besleme tankına oradan da kazan besleme pompasına gider. Kazan besleme pompası yüksek basınca kadar suyu sıkıştırıp yüksek basınç ısıtıcılarına gönderir. Isıtıcılardan da türbinden alınan ara buharla ısıtılan su ısıtıcılardan sonra kazana yüksek basınçta girer.

Kazan içinde boru demetlerinin ve brülörlerin olduğu kısımdır. Brülörlerden püskürtülen kömür kazanda yanarak aşağı düşer. Aşağı düşen kömür cüruf çıkarıcı sistemle kazandan dışarı çıkartılır.

Yanma sonucunda boru demetlerindeki su ısınır ve kızgın buhar fazına geçer. Kızgın buhar kazandan yüksek basınç türbinine geçer. Yüksek basınç türbininde enerjisini türbine veren sıcaklığını ve basıncını kaybetmiş kızgın buhar tekrar ısıtılmak üzere kazana gelir. Tekrar ısıtılan buhar orta basınç türbininden geçerek alçak basınç türbinine girer.

Buhar türbine enerjisini verdikten sonra kondensere giderek doymuş sıvı fazına soğutulur. Kondenserden sonra tahliye pompasına geçen su bu şekilde çevrimini tamamlar.

Türbin kısmı yüksek-orta-alçak basınç türbinlerinden oluşmaktadır. Türbin grupları aynı mil üzerinde olup bağlantıları kaplinlidir. Aynı mil üzerinde bir de generatör bulunur. Kızgın buhar türbinden geçerken türbinde kanatlara çarparak türbin miline hareket verir. Milin dönmesiyle generatör mekanik işi elektrik enerjisine çevirir. Generatörden sonra trafoda şebeke voltajına yükseltilecek elektrik şalt sahası denilen dağıtım sahasına gider.

Santralde kullanılan kömür genelde yakınlarda bulunan maden sahalarından konveyör sistemiyle eğer kömür madeni uzaktaysa kamyonlar vasıtasıyla santral sahasına getirilir.

Kazandan çıkan yanma sonucu oluşan baca gazı ise elektrofiltreden geçirilerek bacaya gönderilir. Bacada kireç sütüyle zararlı kimyasallardan arındırılarak ve soğutulularak bacadan çevreye bırakılır.

Temel olarak benzer mantık yapısına ve akış şeması sahip olsalar da santralden santrale farklılıklar olabilmektedir. Örneğin tasarıma göre yakma tipi değişik olabilir (akışkan yataklı), kömür tedariki ve cüruf atılması değişik yöntemlerle olabilir ya da kızdırıcı paketi ve ısıtıcı sayıları değişebilir.

#### **1.4. Sistemin Tanıtılması (Bir Termik Santral)**

##### **1.4.1. Santral bilgileri**

Santralimizin 1981 yılında kuruluma başlanmış ve 1992 yılına kadar ünite ünite kurulumu devam etmiş 6x165MW üretim kapasitesine sahip bir termik santraldir. Her bir ünite 1 buhar kazanı, 1 buhar türbini, 1 jeneratör, 1 kondenser, 1 soğutma kulesi setinden oluşmaktadır (MTA, 2020).

Ocak 2021 itibarıyla ELİ'nin (Ege Linyit İşletmeleri) rezervleri toplam 861 milyon ton civarındadır. Yakılan kömürün tamamı havzasındaki düşük kalorili linyit kömüründen sağlanmaktadır. 1-4 ünitelerde yakılan kömür tasarım durumunda 2400 kcal/kg, %32 kül ve %21 nem bulundurur. 5. ve 6. ünitelerde yakılan kömür kalorisi ise 1550 kcal/kg, %52 kül ve %18.8 nem bulundurur. Santral tam kapasite çalışırsa yaklaşık yılda 8 000 000 ton kömür yanmaktadır. Yakılan kömürden yaklaşık yılda 3 600 000 ton kül oluşmaktadır. Oluşan külün bir kısmı çimento için kullanılmak üzere çimento fabrikalarına geri kalan çoğunluğu da hidrolik sistemle kül barajına gönderilmektedir (Beyhan, 2015).

Kazan 80 m yüksekliğinde ve 12x12m kare şeklindedir. Santralde her bir ünitenin kendi kazanı vardır. 1-4 ünitelerin her birinde 200 000 m, 5-6 ünitelerin her birinde

240 000 m boru bulunmaktadır. Toplamda tüm ünitelerde 1 280 000 m boru bulunmaktadır. Kazanın en altında cüruf çıkarıcı adı verilen sistem mevcuttur. Cüruf çıkarıcının görevi yanma sonucu oluşan cürufun dışarıya atılmasını sağlamaktır.

Santralin yıllık üretim kapasitesi tasarım değerlerine göre tam kapasite çalışırsa 8 672 400 000 kWh'tır. Elektriğin üretilmesindeki harcanan iç tüketim yüzdesi yaklaşık olarak %12-15'tir (Beyhan, 2015). Santral saatteki 3750 ton su ihtiyacını 120 963 000 metreküplük Sevişler Barajı'ndan karşılanmaktadır.

#### **1.4.2. Santral çalışma sistemi**

TKİ'ye bağlı ELİ tarafından santralin kömürü temin edilmektedir. Madenden gelen kömür santrale ait stok sahasına serilmekte ve santralin 1 aylık kömür ihtiyacını karşılayacak şekilde stok kapasitesine sahiptir. Kömür stok sahasına inmeden önce kırıcı eleklerden geçirilerek 0-30 mm arasına düşürülmekte ve içindeki kömür dışı malzemeler elenmektedir. Stok sahasındaki 2400 kcal/kg kömür 1-2-3-4. ünitelere ait bunkerlere, 1550 kcal/kg kömür 5-6. Gruplara ait bunkerlere bant ile taşınır (Beyhan, 2015).

Her kazanda 5 asil 1 yedek olacak şekilde 6 adet 37 ton/saat öğütme kapasiteli değirmenler bulunmaktadır. Bu değirmenleri besleyen 1-4 ünitelerde 4 kömür bunkerleri bulunmaktadır. Bunkerler her biri 537 m<sup>3</sup> olarak 4 ayrı köşeye yerleştirilmiştir. 5-6. Ünitelerde ise değirmenler 61 ton/saat kapasitelidir. Bu değirmenleri besleyen ise 6 adet bunker bulunup bu bunkerlerin her biri 450 m<sup>3</sup> kapasitelidir. Değirmenler 1-4 ünitelerde fan tipi, ön çekiçlidir. 5-6 ünitelerde ise çekiç bulunmayıp sadece fan vardır. Yanma sonucu oluşan küller elektrofiltreden geçerek bacaya gider. Elektrofiltre verimleri %99'dur.

Cüruflar ve elektrofiltrede tutulan küller su ile karıştırılarak kül pompaları ile kül barajına gönderilir. Santral için gerekli olan su ihtiyacı 13 km mesafedeki Sevişler Barajından karşılanmaktadır. Barajdan alınan su; su tasfiye bölümünde arıtılarak sisteme verilmektedir.

Kazanda yanma sonucu su 13.9 Mpa basınç ve 540°C sıcaklığında kızgın buhar haline gelmektedir. 1 kazanda 525 ton saatte buhar üretilmektedir. Elde edilen buhar türbine verilerek türbin rotorunu çevirmesi sağlanır ve aynı mile bağlı generatörden elektrik üretilir. Generatörden elektrik 15 000 volt olarak üretilir. Üretilen elektrik ana transformatörde 380 000 volta çıkartılarak şalt sahasına beslenmektedir. Şalt sahasından da enterkonnekte sistem denilen ulusal elektrik sistemine verilmektedir.

Kazan basınçlı sistemi buharlaştırıcı, kızdırıcı, ekonomizer, tekrar kızdırıcı, yardımcılar ve bağlantı ekipmanlarından oluşur. Kazanı basınç anında korumak için emniyet valfleri vardır. Kızdırıcı, tekrar kızdırıcı ve dom sisteminin emniyetleri vardır.

Kazan basınçlı fuel-oil yakıcılarla ateşlenir. Elektrikli kıvılcım üniteli propan yakıcı fuel-oili ateşlemek için kullanılır. Basınçlı kanallardan baca gazı kanal arkasında yerleştirilmiş iki adet luvo (dönerli hava ısıtıcısı) sistemine gönderilir. Baca gazındaki tozlar elektrofiltrelerde tutulduktan sonra baca gazları iki adet cebri çekme fanı yardımıyla bacaya basılır. Baca gazının bir kısmı değirmenlerde kömür kurutmak için kullanılır. Bu gaz değirmen öncesi kazandan alınarak değirmene gelmeden önce kömürle birleşir ve değirmende öğütülen kömürle birlikte tekrar kazana gönderilir. Kazanda aynı zamanda cebri çekme fanlarının basma tarafından baca gazlarını yanma odasına geri gönderen iki adet baca gazı resirkülasyon fanı da bulunmaktadır.

Yüksek basınç ısıtıcıları, türbinden alınan ara buharlarla kazana girmeden suyun sıcaklığını kademe kademe artırarak sistem verimini artırmaktadır. Isıtıcıların içindeki borulardan kazan besleme suyu geçer. Yüksek basınç ısıtıcıları gerekli buharı yüksek ve orta basınç türbininin ara kademelerinden buhar şeklinde alır.

Ekonomizer kazanın en üst bölümündeki boru gruplarının adı olup yanma sonucunda çıkan baca gazının çıktığı kısımda bulunmaktadır. Bu şekilde baca gazı ısını ekonomizerden geçen suya verir ve suyun sıcaklığını artırır. Böylece verim artırılmış olur. Ekonomizerden sonra su-buhar karışımı doma dökülür.

Dom sistemi su ile buharın ayrıldığı yerdir. Su devamında ekran borularına gider. Ekran boruları diye adlandırılan yer kazan yanma odasının kazan duvarlarındaki boruların olduğu bölgedir. Ekran borulardan geçen su buharlaşır ve domu tekrar döner. Domun iç kısmı silindirik biçimindedir. Dom su ile buharın ayrışmasını sağlar.

Domda ayrılan su ekran borularına geri döner ve tekrar ısıtılır. Buhar ise buhar ayırıcı ve kurutuculardan geçerek yoluna devam eder. Kurumuş buhar sonrasında kızdırıcı borulardan geçer.

Taze buhar kızdırıcı paketlerden sonra türbine gider. Türbinde ilk olarak yüksek basınç türbinine girerek genişler. Daha sonra tekrar kızdırılmak için kazana giderek tekrar kazanda ısıtılıp oradan orta basınç türbinine gönderilir. Orta basınç türbininden sonra alçak basınç türbinine geçen buhar sonrasında kondensere geçer. Türbinin kademeli olmasının sebebi basınç düşüşünü artırarak çevrim verimini artırmaktır.

Kazan yardımcı elemanları ateşleme tabancaları, yağ yakıcıları, kömür yakıcıları, kurum üfleme, kazan gözlem kapaklarıdır.

Kazanda oluşan cüruf, kazan altındaki cüruf çıkarma sistemiyle kazan dışına atılır. Bu sistem kızaklı ve zincirli bir sistemdir.

Kazan besleme pompaları besleme suyunu kazan besleme tankına, buradan da kazana gönderen pompalardır. Su yaklaşık 160°C sıcaklıkta alçak ve yüksek basınç ısıtıcılarından geçirilerek, 235°C sıcaklığa kadar çıkartılarak kazana gönderilir. Enerji arzının sürekli olduğu bu dönemde tesisin sürekli ve verimli çalışması çok önemlidir. Kazanda saatte yaklaşık 500 ton buhar üretilmektedir.

Soğutma kulesi sistemi ise kondensedeki türbinden gelmiş buharın ısınıp üzerine alarak ısınıp tekrar soğutma kulesine gelir. Bu kapalı bir çevrimdir.

Yukarıda bahsedilenler dışında 6 ünite için aşağıdaki yardımcı tesisler bulunur.

- Ham su depolama ve Su tasfiye tesisleri
- Kömür alma, hazırlama ve stoklama tesisleri

- Akaryakıt (Fuel oil-Mazot) stoklama ve pompa tesisleri
- Malzeme Ambarı
- İdari bina

Santral dışında şu tesisler vardır;

- Yırca barajı
- Ayıtlı barajı
- Sevişler barajı
- Atölye
- Garaj

Kazan, türbin ve jeneratör karakteristikleri Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Kazan karakteristiği (Beyhan, 2015)

Kazan Tip	Tekrar Kızdırıcılı, Kule Tip
Kızgın Buhar Basıncı	13925 kPa
Buhar Kapasitesi	525 ton/saat
Tekrar Kızdırılmış Buhar Basıncı	2928.3 kPa
Kızgın Buhar Sıcaklığı	540°C
Tekrar Kızdırılmış Buhar Sıcaklığı	540°C

Çizelge 1.2. Turbin-Jeneratör karakteristikleri (Beyhan, 2015)

Türbin Tip	Üç kademeli, Yoğuşturucu
Türbin Gücü	165 MW
Buhar Basıncı	13337 kPa
Buhar Sıcaklığı	535°C
Jeneratör Nominal Gücü	194.12 MVA
Jeneratör Tip	Hidrojen soğutmalı, statik ikazlı
Jeneratör Güç Faktörü	0.85
Jeneratör Devri	3000 d/dk
Jeneratör Çıkış Gerilimi	15 KV

### 1.4.3. Sisteme girenler

Santralde elektrik üretimi için sisteme girenler;

- Hava
- Su
- Kömür

#### **1.4.3.1. Hava**

Yanmanın olabilmesi için hava şarttır. Hava aynı zamanda değirmenlerden kazana kömür beslenmesi için de gereklidir. Hava ihtiyacını karşılayabilmek için iki adet taze hava fanı bulunmaktadır. Taze hava, ön hava ısıtıcısında 10 dereceye kadar ısıtılır. Hava buradan luvoya geçerek ısısını daha da yükseltir. Luvo iki bölmeden oluşmaktadır. Bunun bir yarısından baca gazı geçerken diğer yarısından taze hava geçer. Baca gazı ısısını luvoda bulunan petekler yardımıyla taze havaya vererek ön ısıtma yapmış olur. Taze hava luvodan sonra kömür yakıcıları, yardımcı yakıt yakıcıları (fuel-oil yakıcı), değirmen gaz kanalı, son yanma ızgarası gibi yerlere geçer.

Yanma sonucu oluşan gaz baca gazı fanı ile çekilerek elektrofiltreye verilir. Elektrofiltrede gaz içersindeki yanma sonucu oluşan atıkları (kül vs) tutulur, hava ise bacadan atmosfere verilir.

#### **1.4.3.2. Su**

Termik santralde kullanılan su saf su ve yumuşak su olarak 2 tiptir.

İyon değıştirici reçinelerden geçirilerek elde edilen suya saf su denmektedir. Bu reçineler anyon ve katyon tutucu olmak üzere iki tiptir. Mix-bed kolonları ise katyon ve anyon değıştirici reçinelerin bir arada bulunduğu kolondur. Bu kolonda anyon ve katyon değıştirici reçinelerin bulunduğu kolonlardan kaçan iyonlar tutulur. Belli bir süre sonra kirlenen ve suyu arıtamayacak hale gelen reçineler kimyasallarla yıkanır. Bu işlemin adı rejenerasyon'dur. Anyon değıştirici reçinelerin rejenerasyonunda %4 derişiminde sodyum hidroksit, katyon değıştirici reçinelerin rejenerasyonunda %2-4 derişiminde sülfürik asit çözeltisi kullanılır.

Yumuşak su ise ham su içersindeki yabancı minerallerin çökertilerek ve bazı kimyasal ayrıştırılarak oluşan genel olarak kalsiyum bakımından fakir geçici sertliğı alınmış sudur. Soğutma suyu ve saf su üretiminde kullanılır.

### 1.4.3.3. Kömür

Maden ocaklarından farklı kalorilerde ve kalınlıktaki kömür bantlar ve kamyonlar yardımıyla santrale gelmektedir. Gelen kömür stok sahasında stoklanır (Şekil 1.12). Stok sahasına inmeden önce kırıcı ve eleklerden geçirilerek içerisindeki taş ve metal alınarak kömürün tane iriliği istenen değerlere getirilir.

Kömür stok sahasında stoklama işlemi stoker (stacker) makinası ile yapılmaktadır (Şekil 1.13). Stokerler hem gelen kömürün sahaya serilmesinde hem de sahadan alınmasında görev yapar. Kömür sahaya serilirken kazanın ihtiyacı olan kalori değerinde değişiklikleri minimum tutacak ve nem, kükürt, tane boyutu gibi etkenlerde stabilite sağlanacak şekilde serim yapılır. Bunun bir diğer adı da paçallamadır.



Şekil 1.12. Kömür stok sahası



Şekil 1.13. Kömür stok makinası

Açık maden ocağında kömür yükleme işlemi aşağıdaki Şekil 1.14’de görülmektedir.



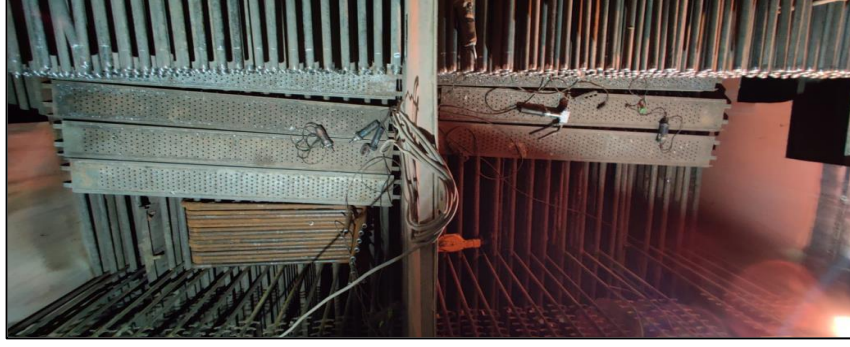
Şekil 1.14. Kamyon kömür yükleme

Stok sahasından kömür bantlarla değirmeni besleyen kömür bunkerlerine gönderilir. Bunkerlerden de değirmenlere verilir. Değirmenlerde kömür 1 mm’nin altına düşürülür. Değirmen öncesinde kazandan gelen sıcak gaz ile birleşen kömür aynı zamanda da kurutulmuş olur. Değirmenden sonra değirmenin seperatör bölgesinde kalın tanecikler tekrar değirmene dönerken ince taneler kazana gönderilir. Kazana verilen kömür burada yanma işlemine tabi tutulur.

#### **1.4.4. Genel ekipmanlar**

##### **1.4.4.1. Kazan**

Kömürün yakıldığı ve yanma sonrası kimyasal enerjinin ısı enerjisine dönüşerek borular vasıtasıyla akışkana aktarıldığı yerdir. Santrale ait kazan borularının fotoğrafı aşağıda da mevcuttur (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Kazan boru donanımı

Birçok kazan tipi olmasına rağmen günümüzde en yaygın kullanılan aşağıdaki 2 kazan tipinden bahsedebiliriz.

- Akışkan yataklı kazanlar
- Pulverize kömürlü kazanlar

Yukarıda sistemini anlattığımız ve çalışmamızı yaptığımız kazan tipi pulverize kömürlü kazanlardır.

Kazandaki Diğer Ekipmanlar;

- Fanlar (Taze Hava Fanları, Baca Gazı Fanları, Soğuk Gaz Fanları)
- Değirmenler (Pulverize kazanlar için)
- Hava ön ısıtıcıları
- Kurum üflemler
- Cüruf ızgarası

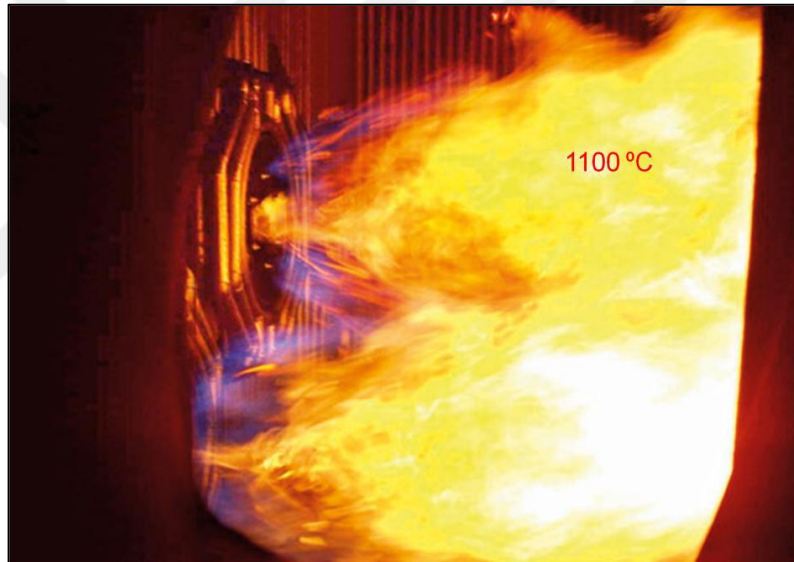
Kömürün hava ile reaksiyona girmesiyle oluşan tepkimeye yanma denir. Pulverize kazanlarda yanmanın verimli olabilmesi için için kömür değirmenlerde öğütülerek yüzey alanı artırılır. Kömür yakıcıları, yanma odasının duvarında bulunmaktadır. Yakıcı ağızları her kazanın +13m ve +17m kotlarında bulunmaktadır. Yakıcı ağızlarında kömür havayla birleşerek kazana püskürtülür.

Yağ yakıcılarına yardımcı yakıcılar denmektedir ve genelde fuel-oil ya da motorin kullanılır. Kazan ilk ateşlenirken önce propanla ateşlenir ve sonrasında yağ yakıcılar devreye alınır. Kazanda şartlar oluşuncaya kadar yağ yakıcılar devrede kalır. Şartları

oluştuktan sonra değirmenler devreye alınarak yağ yakıcılar sırayla devreden çıkartılır. Aynı zamanda değirmenlerde arıza olması ya da kalori dengesizliği olduğunda kazan yükünü korumak için de kullanılır.

İşletme şartlarında yanma odası sıcaklığı 800-1100°C değerlerine getirilerek, ortalama 1000°C de çalışılır. Son yanma ızgaraları kazanın en alt kısmında bulunur ve yanma odasından düşen yanmamış kömürlerin yanmasına olanak sağlar. Kazana giren kömür çok kısa sürede yanıp kazandan atıldığından bu sürede en verimli yanmayı yapmak önemlidir.

Kazan içi yanma odası Şekil 1.16'da görülmektedir.



Şekil 1.16. Kazan içi yanma (Şakir, 2016)

#### 1.4.4.2. Türbin

Buhardaki ısı enerjisinin mekanik enerjiye çevrildiği yerdir. Türbin-Generatör sistemi aynı mile bağlı bir mekanik sistemdir (Şekil 1.17). Kullanılan akışkanın özelliklerine göre türbinin yapısı değişir. Türbinde yüksek basınçlı kızgın buhar kanatçıklara çarparak türbin milini hareketlendirir. Aynı mile bağlı olan generatör yardımıyla da elektriğe dönüştürülür.



Şekil 1.17. Buhar türbini kanatları

Buhar türbini dış kasa ve iç kasa olmak üzere iki ayrı gövdeden oluşur. İç gövdenin içerisinde diyaframlarla beraber sabit kanatlar bulunmaktadır. Rotor iç gövdeye montajı yapıp üzerinde hareketli kanatlar bulunan ekipmandır. Her rotorun önünde ve arkasında radyal yatak bulunmakta olup her türbin setinde bir adet aksiyal yatak bulunmaktadır. Buhar ilerledikçe türbin hacimsel ve kütleli olarak büyüdüğünden yüksek basınçtan alçak basınca doğru türbin tonajı da büyür. Buhar enerjisini kanatlar vasıtasıyla rotora vererek türbinden ayrılıp kondensere dökülür.

Türbin parçaları;

- İç kasa
- Dış kasa
- Kanatlar (Hareketli ve sabit kanatlar)
- Rotor

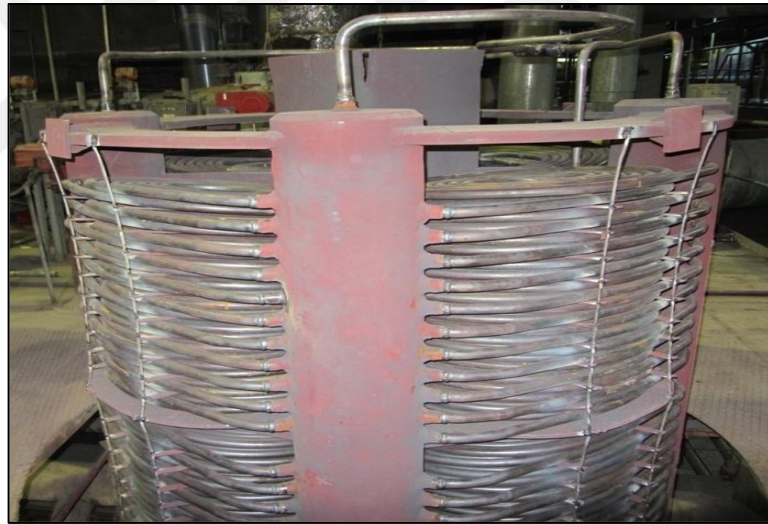
#### 1.4.4.3. Alçak basınç ve yüksek basınç ısıtıcıları

Sistemin verimini artırmak için ara ısıtıcılar kullanılmaktadır. Her bir üniteye 4 adet alçak basınç ve 2 adet yüksek basınç ısıtıcısı bulunmaktadır. Alçak basınç ısıtıcılarının 1, 2, 3 numaralılarında 380 m<sup>2</sup>, 4. ısıtıcıda 410 m<sup>2</sup> yüzey alanı bulunmaktadır (Şekil 1.18). Yüksek basınç ısıtıcılarında ise 520 m<sup>2</sup> yüzey alanı

bulunmaktadır (Şekil 1.19). Ara ısıtıcılarda ısıtma yapmak için buhar türbinin ara kademelerinden alınmaktadır.



Şekil 1.18. Alçak basınç ısıtıcıları



Şekil 1.19. Yüksek basınç ısıtıcıları

#### 1.4.4.4. Kondenser (Yoğuşturucu)

Türbinde görevini tamamlamış enerjisini türbine vermiş buhar kondense kısmında soğuyup su fazına geçtikten sonra ısıtılmak üzere tekrar kazana gönderilir. Kondensede 15000 adet boru, 12000 metrekare yüzey alanı bulunmaktadır. Kondensedeki suyu soğutabilmek için yakınlardaki göl, deniz veya ırmıklardan alınan su kullanılır. Su kaynağına uzak olan santrallerde ise soğutma kulesi yardımıyla soğutma yapılmaktadır. Soğutma kulesinde kondenseden gelen su

yağmurlama gibi yapılarak dağınık bir şekilde püskürtülür. Sıcaklığı düşürülen su kondensede tekrar gönderilir. Bu işlem kapalı çevrim olup kuleden buharlaşan su miktarı kadar su sisteme ilave edilir. Kondense dış görünüşü aşağıdaki fotoğrafta görülmektedir (Şekil 1.20).



Şekil 1.20. Kondenser genel görünüş

#### 1.4.4.5. Soğutma kuleleri

Santralde fanlı (cebri sirkülasyonlu) soğutma kuleleri ile soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kondensedeki suyun sıcaklığını düşürmek için kullanılan su, soğutma kulelerinde soğutulmaktadır. Soğutma kulesinde soğutulan su tekrar kondensere gönderilir. Kapalı bir çevrimdir. Her ünite için 1 adet olacak şekilde toplamda 6 adet cebri çekmeli soğutma kulesi vardır. Her kule de 11 adet cebri fanı vardır. Soğutma kulesi 23500 m<sup>3</sup>/saat kapasiteye sahiptir. Saatte 352.66 m<sup>3</sup> buharlaşmaktadır. Hava sıcaklığına göre soğutma kulesinin giriş çıkış sıcaklıkları değişmektedir. Ortalama kondenseden geliş sıcaklığı 40°C, kondenseye dönüş sıcaklığı 30°C'dir (Beyhan, 2015). Soğutma kuleleri Şekil 1.21'de görülmektedir.

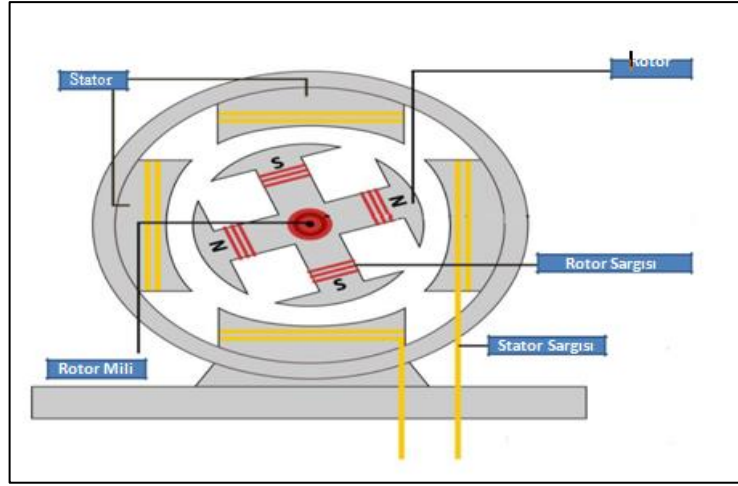


Şekil 1.21. Soğutma kuleleri

#### 1.4.4.6. Jeneratör

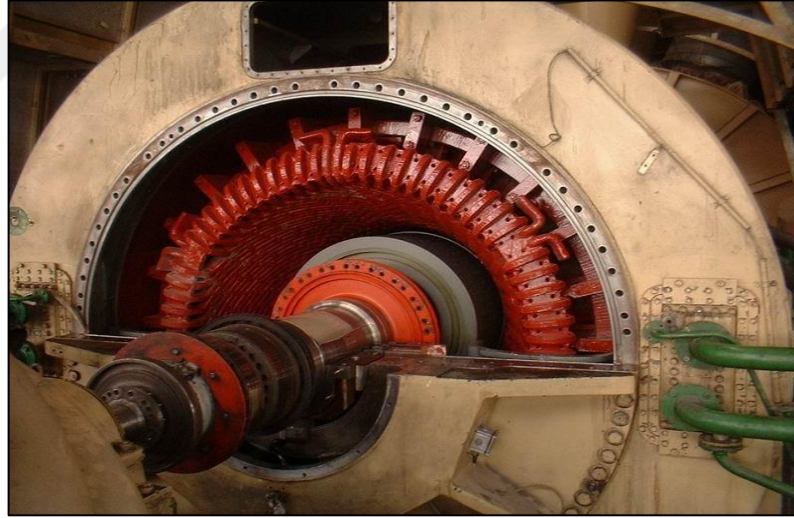
Türbin miline bağlı olarak aynı milden tahrik almaktadır. Türbine giren yüksek basınç ve sıcaklıktaki buhar türbin kanatlarını çevirirken aynı zamanda jeneratör milini de çevirmiş olur. Jeneratör sistemi Şekil 1.22’de gösterilmiştir. Jeneratörün kısımları;

- Rotor
- Stator
- Yatak
- Gaz soğutucuları
- Jeneratör ve ikazlayıcı için ısı kontrol
- Sızdırmazlık elemanları
- Temel plakaları
- Stator suyla soğutma
- Hidrojenli soğutma
- İkaz



Şekil 1.22. Jeneratör yapısı

Jeneratör rotor ve stator olarak ana iki kısımdan meydana gelir (Şekil 1.23). Rotorun dönmesi ile rotordaki manyetik alan da döner. Bu şekilde stator sargılarındaki voltaj indüklenir (Başaran, 2012). Başta jeneratörün de indüklenmesi için bir ikaz sistemi bulunmaktadır.



Şekil 1.23. Jeneratörün görünüşü

Jeneratör sonrası transformatörde gerilim yükseltilir. Gerilimi yükseltileen elektrik şalt sahasına verilir. Şalt sahasında elektrik dağıtım işlemi gerçekleştirilir.

#### 1.4.4.7. Elektrofiltre

Tesiste yakılan kömür yanma sonrasında %45-50 arasında kül oluşturmaktadır. Yanma sonucunda oluşan uçucu küllerin çevreye zarar vermeden tutulması

gerekmektedir. Bu işlem elektrofiltrede yapılmaktadır. Santralde her üniteye 2 adet elektrofiltre vardır. Elektrofiltrelerde plakalar bulunmaktadır ve zıt elektrik yüklerinin birbirini çekmesi mantığıyla çalışmaktadır. %99 verim ile çalışır. Sistemdeki kül yoğunluğuna göre gerilim ayarlanabilmektedir ve gerilim ayarı çok önemlidir. Bacaya giden gazın içerisindeki yanma sonucu oluşan küller elektrofiltre içinden geçerken yüksek akımla elektrofiltrenin elektrotları (-) yüklenir (+) yüklü toplama elektrodu negatif yüklü iyonları çekerek üzerine yapıştırır. Çekiç denilen silme sistemi ile de toplanan küller alttaki bunkere düşürülür. Toplama ve yükleme elektrotları elektrofiltre içinde sırasıyla paralel olarak düşey şekilde yerleştirilmiştir.

#### 1.4.5. Atıklar

Kazanda yanma sonucu oluşan cüruf ve kül karışımı kül- cüruf havuzunda toplanır. Sistemde kazandan ve elektrofiltre altından kül-cüruf alınır. Gelen malzemeler su ile karıştırılarak kül barajına gönderilir (Şekil 1.24).

Elektrofiltre ile uçucu külleri tutulan baca gazı ise baca yardımıyla atmosfere gönderilir.



Şekil 1.24. Ayıtlı Kül Barajı

Atık Kller;

- Luvodan önce bunkerlerden
- Luvodan
- Elektrofiltre (Esp) bunkerlerinden sistemden alınmaktadır.

Yanma sonrasında oluşan cüruf kazanın en alt noktasından bulunan cüruf teknesinden çıkartılarak kl havuzuna oradan kl barajına gönderilir.

### **1.5. Çalışmanın Amacı**

Hızlı nüfus artışı ve sanayileşmeyle olan enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılan fosil kökenli kaynaklar, paralelinde birçok çevresel problemi de beraberinde getirmektedir (Erduranlı, 1997). Enerji üretimiyle birlikte fosil kökenli kaynakların bir süre sonra tükeneceği düşünüldüğünde, çevreye daha duyarlı ve kaynak sınırı sorunu olmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek aynı zamanda da mevcut üretim yöntemlerinde daha verimli üretim konularında çalışma yapmak gerektiği görülmektedir. Bundan dolayı düşük kaynak tüketimiyle daha çok üretim yapmak ve çalışan sistemleri daha verimli hale getirmek kaçınılmaz olmuştur. Hayatımızın vazgeçilmezi haline gelmiş olan enerjinin kesintisiz, zamanında, düşük maliyetle ve yeterli temini konusu giderek önem kazanmaktadır (Yüksel ve omaklı, 2002).

Üretimde verimliliği artırmak adına yaptığımız çalışmada, santralde kullanılan ana ekipmanların termodinamik yöntemle enerji ve ekserji analizi yapılarak verim kaybı olan ekipmanların bulunup verimi artırmaya yönelik neler yapılması gerektiği konusunda fikirler sunulmaktadır (Dinçer, 2002, 2013). Bu sayede hem daha verimli bir üretim hem de tükenmekte olan fosil kaynaklarının ömrünü biraz daha uzatmak amaçlanmıştır.

### **1.6. Çalışmanın İçeriği**

Çalışmanın ikinci kısmında kaynak zetleri, üçüncü kısmında termodinamik analiz, dördüncü kısımda çalışma yaptığımız santralin tanıtımı yapılmış ve çevrimin genel

akış şeması çıkarılmıştır. Belirli noktalardan değerler alınarak tasarım ve işletme değerleri için her bir ana ekipmanda ayrı ayrı enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Altıncı bölümde analiz sonuçları değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Termik santraller enerji üretiminin en önemli paydasıdır. Bundan dolayı termik santrallerin verimliliklerini artırmaya yönelik çalışmalar artmıştır. Yapılan çalışmaların başında ekserji ve enerji analizi gelmektedir. Yapılan çalışmalara ait bazı örnekler aşağıda gösterilmiştir. Yapılan bu çalışmalarla termik santral incelenerek verim kaybının olduğu ve verim artırılacak bölgeler belirlenmektedir.

Kosman (2010), çalışmasında süperkritik buhar çevrimli türbinlerin tasarımındaki oluşan buhar türbinlerinin soğutma problemi çözümüne çalışmış, soğutma buharı ile ana buharın karışmasının performans üzerine etkisini enerji ve ekserji analizi yöntemi ile incelemiştir.

Yılmazoğlu ve Amirabedin (2011), çalışmalarında; bir gaz türbinli kombine güç çevrimi santralının enerji ve ekserji analizlerini gerçek değerleri baz alarak yapmışlardır. Santralin net ekserji verimleri ve toplam ekserji kaybı sırasıyla %50.11 ve 228.05 MW olarak hesaplanmıştır. Ekserji analizi, en büyük ekserji kaybının 124.07 MW ile santralin toplam ekserji kaybının %54.41'ini oluşturan yanma odasında olduğunu göstermiştir.

Regulagadda vd. (2010), 32 MW gücündeki kömür tüketen bir termik santralin enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Santral veriminin en yüksek olacağı değer için farklı sıcaklık, basınç ve kütleli debilerde çalışmalar yapmıştır. Santralin genel enerji verimi %30.12 ekserji verimi de %25.38 ölçülmüştür.

Taşkınoğlu (2011), yaptığı çalışmada santral verimini incelemiş ve elektriksel olarak verimi artırmak için öneriler sunmuştur. Çalışmanın sonucunda yapılan öneriler ile sistemde yapılan değişikliklerle yapılabilecek enerji tasarruflarının üretim maliyetine olan etkisini göstermiştir. Bu amaçla Seyitömer Termik Santrali'nde yapılan çalışmalarla diğer santrallerde yapılan çalışmalar karşılaştırmış ve Seyitömer Termik Santrali'nde verimlilik çalışmaları yapılarak enerji üretimindeki maliyet hesaplanmaya çalışmıştır.

Ehsan ve Yılmazoğlu (2011), çalışmalarında; 10 farklı tipteki Türkiye linyitinin teker teker yakıt olacağı 240 MWe gücünde bir kömür yakıtlı termal güç santralinin termodinamik çevrimini tasarlayarak bu sisteme ekserji analizini yapmışlardır. Bu çalışmada, çevredeki sıcaklık değerlerinin ekserji verimine etkisi ve her bir linyit çeşidi için CO<sub>2</sub> emisyonları hesaplanmıştır. 229.10 MW ve %83.29 değerini ile en büyük ekserji tahribinin kazanda olduğu görülmüş ve evre sıcaklığı ile yakıt tketicimi ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının doğru orantılı olduğu belirtilmiştir.

Guo vd. (2012), ıslıl değerini düşük kömürlerin kok beslemesi olarak kullanıldığı asetilen retimprosesi üzerine yapmış oldukları termodinamik analizlerde kalsiyum karbit üretim ünitesinin %57.52 ile en fazla ekserji kaybının meydana geldiği ünite olduğu, karbit fırınında karbon tketiciminin azaltılarak ve atık gazlardan faydalanmak suretiyle tüm sistemin enerji tketiciminin azalacağı sonucuna varmıştır. Kalsiyum karbit üretim ünitesindeki ekserji kaybı karbon yakma reaksiyonunun tersinmez olduğunu göstermiştir.

Liu vd. (2010), çalışmalarında metanol ve elektrik enerjisinin birlikte üretildiği metanol üretim prosesini üzerinde enerji ve ekserji analizleri uygulamış ve sistemin toplam ekserji verimini %47 olarak belirlemişlerdir. En önemli enerji tasarruf faktörü ıslı değerini rişim prosesini olup kömürün toplam ekserjisinde %35 tasarruf potansiyeli hesaplanmıştır. Bir diğer enerji tasarruf faktörü ise %22 ekserji tasarrufu ile yanma prosesini olmuştur.

Karellas vd. (2013), bir imento fabrikası için yaptıkları enerji ve ekserji analizleri ile atık ıslı geri kazanımında kullanılan su-buhar rankine çevrimi ile organik rankine çevrimini karşılaştırmış ve su-buhar rankine çevrimi ile çalışan sistemin, organik rankine çevrimi ile çalışan sisteme göre %23.58 ekserji verimi ile daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Organik rankine çevrimine göre çalışan sistemin ekserji verimi ise %17.56 olarak hesaplanmıştır.

omaklı vd. (2004), termal sistemlerin verimlerini ekserji analizi kullanarak incelemişler ve çeşitli süreçlerdeki ekserji kayıplarını ele almışlardır. Yaptıkları çalışmalarında, bir termal sistemin gerçek performansının, ekserji kaybı ve sistemden elde edilebilecek maksimum iş hesaplanarak bulunabileceğini savunmuşlardır.

Rihko-Struckmann vd. (2010), elektrik enerjisinin kimyasal enerji olarak depolandığı metanol üretim posesi üzerine yaptıkları ekserji analizi çalışmasında, sırasıyla metanol ve hidrojen kimyasal enerji deposu olarak düşünülmüştür. Enerji ve ekserji analizleri sonucunda sistemdeki ekserji kaybının büyük kısmının elektrik enerjisinin kimyasal enerjiye ve kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüşümü esnasında olduğu ortaya çıkmıştır. Hidrojenin enerji deposu olarak kullanıldığı sistemler ise metanol kullanılan sistemlere göre daha yüksek ekserjik verim göstermiştir. Ancak hidrojen depolamalı sistemlerin metanol depolamalı sistemlere göre daha kompleks ve yüksek maliyetli olduğu belirtilmiştir.

Rahim ve Gündüz (2013), çalışmasında; tasarlanan bir ısı-güç (kojenerasyon) çevrim sistemine termodinamiğin birinci ve ikinci yasasını (ekserji analizi) uygulayarak, santraldeki kayıpları belirlemeye çalışmıştır.

Bilginsoy (2012), Çayırhan Termik Santrali için ekserji ve enerji analizi yapmıştır. Ünitelerin için yapılan çalışmada en fazla enerji kaybı %45.80 ile kondenserde olduğu görülmüş, kazandaki enerji kaybı ise %8.43 hesaplanmıştır. Ekserji kaybı en yüksek %58.05 ile kazanda sonrasında %5.68 ile türbinde hesaplanmıştır. Enerji kaybının kazanda en fazla olmasının nedeni yanma sırasındaki sıcaklık farkının etkisi ile oluşan ısı transferinden kaynaklandığı belirlenmiştir.

Zhang vd. (2013), bir trijenerasyon güç santralinin ısı verimliliğini, ekserji verimliliğini ve güç üretimini sistemin ısı kaynak olarak yararlandığı 250°C ile 400°C arasındaki değişken baca gazı sıcaklığı değerlerinde analiz etmiştir. Çalışma sonucunda, ısı kaynağı sıcaklığının 200°C ile 375°C arasında değiştiği değerlerde daha yüksek ekserji verimi, ısı verim ve güç üretimi elde edilirken; ısı kaynağının 350°C'nin üzerinde olduğunda daha düşük değerler elde edilmiştir.

Sevin (2014), termodinamiğin birinci kanununa göre bir termik santralde verim analizi ile ilgili çalışmış ve beş yıllık zaman diliminde santral performansında meydana gelen değişiklikleri incelemiştir. Çayırhan Termik Santralinin performansı Termik Verim, Türbin Verimi, Kazan Verimi ve Boru Verimi olmak üzere dört şekilde incelemiştir. Sistemde 5 yıl boyunca uzama ve aşınmaya bağlı durumu ortaya

koymuştur. Yapılan çalışmanın sonucunda ileriki yıllarda duruşları azaltarak üretimi artırmak için fikirler sunulmuştur.

Çelik (2015), çalışmasına destek amacıyla bir yazılım geliştirmiştir. Bu yazılım ile termik santrallerde enerji ve ekserji analizi yapmaktadır. Yazılımı desteklemek amaçlı Çatalağzı Termik Santrali'nin akış diyagramını çıkarmıştır. Akış diyagramı üzerinden geliştirdiği program ile analizini yapmıştır. Çevre sıcaklığı 5-10-15-20-25-30-35 santigrat derecedeki değerlerini sırasıyla %35.2, %34.7, %34.4, %34.0, %33.7, %33.2, %32.8 olarak bulmuştur. Sıcaklıkla ekserji verimi de azalmıştır.

Dinçol (2016), yılında Soma Termik Santralinde (6x165 MW) incelemeler yapmıştır. Seçtiği bir üniteden termodinamik yardımıyla kütle, enerji ve ekserji analizleri yapmıştır. Yapılan analiz sonuçlarını ve sistemin nerelerde verimsiz çalıştığını çıkartarak önerilerde bulunmuştur.

Erzan (2018), yaptığı çalışmada Kangal Termik Santralinin enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Yaptığı analizlerde kazan, türbin, pompalar gibi ana ekipmanların ısıl ve ikinci yasa verimlerini bulmuştur. Santralin ısıl verimi %32.8, ikinci yasa verimi %53.4 olarak bulunmuştur. Kömürün kazanda yanması sonucu oluşan %85.5'lik kısmı çevrinde buharlaştırılan suya aktarıldığı görülmüştür. Kazanda meydana gelen ekserji kaybının santraldeki toplam ekserji kaybına oranının %91.7 olduğu görülmüştür. Çalışmanın sonucunda iyileştirmeler yapılarak santral veriminin artırılabilceği belirtilmiştir.

Çetin ve Özen (2017), yaptıkları çalışmada farklı yük şartlarında kömür yakıtlı termik güç santrallerinin termodinamik analizini yapmışlardır. Çalışmasında 5 farklı termik güç santralinin parametrelerinin (basınç, sıcaklık) farklı yük şartlarında santralin enerji ve ekserji verimine etkileri araştırılmıştır. Bütün sistemler için en büyük ekserji bozunumu kazanda gerçekleşmektedir. %100 yükleme şartlarındaki ultra-süperkritik kazandaki ekserji bozunumu 1402.66 MW'tır (%91.90). Sistemlerin yükleme şartları düşürüldükçe kazandaki ekserji bozunumu da artmaktadır. Ultra-süperkritik santral ile Soma Termik Santralin enerji ve ekserji verimleri karşılaştırıldığında, %100 yükleme durumunda enerji verimi %9.24 ve ekserji verimi %8.06 artmıştır. Ayrıca, %100 yükleme şartları altında CO<sub>2</sub> emisyonunda yılda

3 384 916 ton azalma olmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda, farklı yükler altında taze buharın sistemin enerji ve ekserji verimleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu gösterilmiştir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Termodinamik ve Enerji

Termodinamik kavramını Lord Kelvin (İngiliz bilim insanı) 1849 yılında yaptığı bir çalışmada ilk kez kullanmıştır. Kelime anlamı olarak Latince’de therme (ısı) ve dynamis (güç) kelimelerinden oluşmuştur ve ısının işe dönüştürülmesi olarak ifade edilmektedir. Termodinamik, fiziğin enerji ve enerjinin biçim değiştirmesi ile uğraşan bilim dalı olarak tanımlayabiliriz. Termodinamiğin buna benzer birçok tanımı olmakla birlikte termodinamikte esas olan enerji olduğu için termodinamiği enerjinin bilimi olarak tanımlayabiliriz. Artık bu tanım soğutma ve maddenin özellikleri arasındaki ilişkileri de içeren, enerji ve enerji dönüşümlerinin tüm yönlerini kapsayan güç üretimi anlamı taşımaktadır (Dinçer ve Çengel, 2001).

Herhangi bir değişim analiz edilmeden önce, değişimdeki enerji ve kütlenin değişimlerinin bilinmesi gerekir. Termodinamikte analiz yapılmadan önce analiz için bir sistem tanımlanmalıdır. Termodinamik sistem, belli bir kütle ya da uzayda incelenmek için herhangi bir bölgesini belirtir. Termodinamik sistemin sınırı dışında kalan bölgeye çevre denir. Sistemi çevreden ayıran hayali ya da gerçek yüzey de sistem sınırı ya da kontrol yüzeyi olarak isimlendirilir. Sistemin sınırı sabit ya da hareketli olabilir (Hepbaşlı, 2008).

Kontrol hacmi, sistemin sınırından kütle geçişinin olduğu sabit bir kütledir. Kontrol hacmi genelde türbin, kompresör, lüle gibi içerisinden kütle akışının olduğu bir ekipmanı içerir. Ekipmanların içerisindeki akışkan incelendiğinde, ekipmanın fiziksel sınırı sistemin sınırı olarak düşünülür. Enerji ve kütle kontrol hacmi sınırından geçebilir. Açık sistemlerde, çevreyle sistem arasında kütle geçişi olurken enerji geçişi de olmaktadır (Çengel ve Boles, 2012).

Sistemde bir değişiklik olması durumunda sistemin bir prosese maruz kaldığı söylenir. Eğer ki bu sistemin durumu sürekli değişiyor ve farklı değişikliklerden geçip ilk haline tekrar dönüyorsa buna bir çevrim ya da çevrimsel proses denir. Bir prosesin gerçekleşmesinden sonra çevrede ve sistemde kalıcı bir etki bırakılmadan

geriye dönüşüm yapılabiliriyorsa buna tersinir proses denir ancak gerçekte tersinir bir proses olmayıp tüm prosesler tersinmez olarak kabul edilmektedir (Kotas, 1995).

Manyetik, elektrik ve yüzey gerilimi enerjileri ihmal edilirse sistemin toplam enerjisi; kinetik enerjisi, potansiyel enerjisi ve iç enerjilerinin toplamıdır ve aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilir (Akdağ, 2009).

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (\text{kJ}) \quad (3.1)$$

### 3.2. Termodinamiğin Birinci Yasası

Termodinamiğin birinci yasasının temelleri 1840 yılında Mayer, ısı ile işin benzerliğini görmüş ve sonrasında Joule deneylerle pekiştirmiştir. Schmidt ise bunu illeterek; “Isı bir enerji tipidir, mekanik bir işten elde edilebilir ya da bir mekanik işe dönüştürülebilir.” biçiminde ifade etmiştir (Heper, 2001).

Termodinamiğin birinci yasası der ki: Enerji yoktan var, vardan yok edilemez fakat şekil değiştirebilir. Enerji 3 farklı şekilde aktarılabilir. Enerji akışı çevre ile sistem arasındaki sıcaklık farkı sebebi ile gerçekleşiyor ise, ısı geçişiyle aktarılıyordur. Eğer ki sıcaklık farkı yoksa enerji etkileşimi iş ile yapılır. Sistemden ya da sisteme kütle akışının olması ilave enerji geçişi demektir; çünkü kütleyle birlikte enerji de taşınır (Heper, 2001).

$$E_g - E_ç = (Q_g - Q_ç) + (W_g - W_ç) + (E_{\text{kütle,g}} - E_{\text{kütle,ç}}) = \Delta E_{\text{sistem}} \quad (3.2)$$

Sistemden çevreye yapılan ısı geçişi, kütle geçişi ve sisteme yapılan iş negatif, çevreden sisteme olan ısı geçişi, kütle geçişi ve sistemin çevreye yaptığı iş pozitif işaretli olarak değerlendirilir (Çengel ve Boles, 2012).

### 3.3. Sürekli Akışlı Açık Sistemler

Bu çalışmada santralin bölümleri sürekli akışlı açık sistem kabul edilerek incelenmiştir. Sürekli akış olan açık sistemlerde, akışkan sürekli kontrol hacminden akış halindedir. Kontrol hacmindeki özellikler zamanla değişmez. Böylece kontrol

hacmi kütlesi ( $m$ ), hacmi ( $v$ ) ve toplam enerji ( $E$ ), sürekli akışlı açık sistemlerde sabittir. Çıkan ve giren enerjiler de eşit olmak zorundalar.

### 3.3.1. Sürekli akışlı açık sistemlerde kütle dengesi

Açık ve Sürekli akış olan sistemlerde, kontrol hacmindeki kütle zamanla değişmez. Bu durum, kontrol hacmine giren ile çıkan toplam kütlelerin eşit olması gerektiği anlamına gelmektedir. Giriş ve çıkıştaki kütle debisi sabittir.

Sürekli akış olan açık bir sistemin kütle korunumu aşağıdaki gibidir.

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (\text{kg/s}) \quad (3.3)$$

Kompresör, türbin, pompa gibi uygulamaların birçoğunda; sadece tek akış, bu nedenle de tek çıkış ve tek giriş bulunmaktadır. Sürekli akışlı olan Tek çıkış ve girişli açık bir sistemin kütle korunum denklemi genel ifadeyle aşağıda verildiği gibidir.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (\text{kg/s}) \quad (3.4)$$

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad (3.5)$$

$$(1 / v_1^2) V_1 A_1 = (1 / v_2^2) V_2 A_2 \quad (3.6)$$

Bu bağıntılarda,  $\rho$  yoğunluğu ( $\text{m/s}$ ),  $v$  özgül hacmi ( $\text{kg/m}^3$ ),  $V$  akış yönündeki ortalama akış hızını ve  $A$  akış yönüne dik kesit alanını ( $\text{m}^2$ ) ifade etmektedir.

### 3.3.2. Sürekli akışlı açık sistemlerde enerji dengesi

Açık ve sürekli akış olan sistemlerde, kontrol hacmindeki toplam enerjide değişme meydana gelmez. ( $\Delta E_{KH} = 0$ ) Bundan dolayı; kontrol hacminden iş, ısı ve kütle olarak çıkan enerji ile giren enerji eşit olmalıdır.

$$\text{Geçen toplam Enerji} = \text{Çıkan toplam enerji} - \text{Giren toplam enerji} \quad (3.7)$$

Sürekli akış olan açık sistemlerde enerjinin korunumu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\dot{E}_g - \dot{E}_\zeta = dE_{\text{sistem}} / dt = 0 \quad (3.8)$$

$$\sum E_g = \sum E_\zeta \quad (3.9)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \theta_\zeta - \sum \dot{m}_g \theta_g \quad (\text{kW}) \quad (3.10)$$

Akışkanın birim kütle enerjisi,  $\theta = h + ke + pe$  olduğu düşünülürse denklem aşağıdaki gibidir;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \left( h_\zeta + \frac{1}{2} V_\zeta^2 + gz_\zeta \right) - \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{1}{2} V_g^2 + gz_g \right) \quad (\text{kW}) \quad (3.11)$$

Giriş ve çıkış durumu sırası ile 1 ve 2 alt indisi ile gösterilir, kütleli debinin değişmediği düşünülür ve kinetik ile potansiyel enerjilerin değişmediği varsayılırsa, bir girişli ve bir çıkışlı sürekli akışlı sistemlerde enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}[h_2 - h_1] \quad (\text{kW}) \quad (3.12)$$

ya da

$$\dot{E} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (3.13)$$

Bir iş olmadığı varsayıldığında birim kütle için birinci yasa şu şekilde gösterilir:

$$q = h_2 - h_1 = \Delta h \quad (\text{kJ/kg}) \quad (3.14)$$

$\Delta h = h_\zeta - h_g$  ifadesi akışkanın entalpi değişimini göstermektedir. Çıkış ve giriş hali için değerler termodinamik özellikler tablosundan yararlanılarak kolaylıkla bulunur. Mükemmel gazlarda ise entalpi değişimi  $\Delta h = C_{p, \text{ort}} (T_2 - T_1)$  formülü ile hesaplanır.

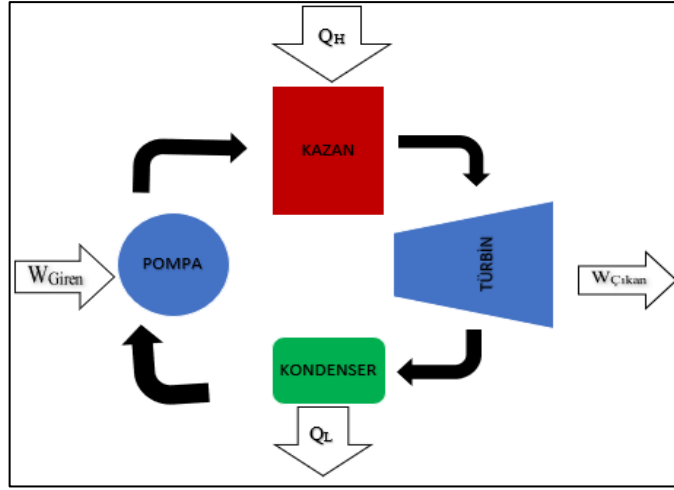
### 3.4. Termodinamiğin İkinci Yasası

Araştırmamızda termodinamiğin birinci yasası ya da enerji korunumu ilkesinin hal değişimlerinde gözlemlenmesi bir zorunluluktur. Termodinamiğin birinci yasasına uygun olmayan hal değişimlerine bugüne kadar rastlanmamıştır. Sadece birinci yasanın sağlanması hal değişiminin olması için yeterli değildir. Birinci yasa hal değişiminin yönü üzerinde herhangi bir sınırlama koymamaktadır. Hal değişimleri ile ilgili bu açıklık ikinci yasayla kapatılmıştır. Hal değişiminin olabilmesi için termodinamiğin yasalarına uygun olması gereklidir.

Termodinamiğin ikinci yasasına göre enerjinin niceliği kadar niteliğinin de önemli olduğudur. Yani enerjinin kalitesiyle ilgilenir. Ve bu kaliteyi açıklamak için entropi dediğimiz kavramı ortaya koyar. Birinci yasaya göre enerjinin niteliği değil niceliği ve bir biçimden başka biçime dönüşmesi önemlidir. İkinci yasa ise hal değişimi esnasında nasıl değiştiğini hesaplamak için yöntemler sunar. Bu noktada karşımıza ikinci yasaya dayanılarak türetilen ekserji kavramı çıkmaktadır (Karakoç vd., 2012).

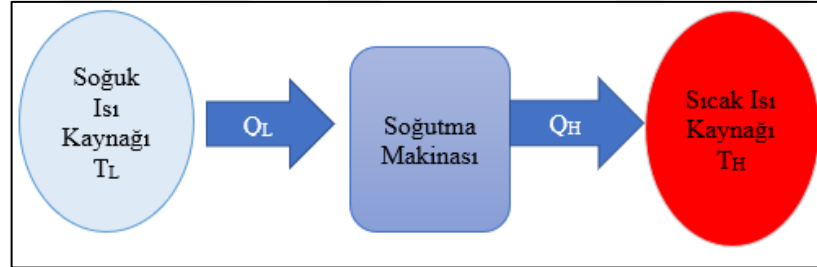
#### 3.4.1. Kelvin-Planck ve Clausius ifadeleri

Isı makinasının çevrimini tamamlayabilmesi için ideal koşullarda gerçekleşmiş olsa bile düşük sıcaklıkta bir ısıl depoya bir miktar enerji vermesi gerekmektedir. Isı makinalarının ısı verimleri üzerindeki bu kısıtlama, termodinamiğin ikinci yasasının Kelvin-Planck tarafından yapılan açıklamasından dolayıdır. İkinci yasayı Kelvin-Planck; “Termodinamik çevrim gerçekleştirerek çalışan bir makinanın yalnızca bir kaynaktan ısı alıp net iş üretmesi olanaksızdır.” şeklinde ifade etmiştir. Bu açıklamadan anlaşılan hiçbir ısı makinesinin ısı veriminin %100 olamayacağı gibi buharlı güç santralının devamlı çalışabilmesi için akışkanın hem kazanla (yanmayla yüksek sıcaklıktan ısı çekilmesi), hem de çevreyle (yoğuşturucuda düşük sıcaklıktaki ısı kaynağına ısı atılması) ısı alışverişinde bulunması gerektiği anlaşılabilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kelvin-Planck ifadesine göre çalışan buharlı güç santrali

Termodinamiğin ikinci yasasının Clausius tarafından şu şekilde ifade edilmiştir: “Düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklıktaki cisme ısı aktarmanın dışında hiçbir enerji değişimi meydana gelmeyen bir makina tasarlamak imkansızdır” (Şekil 3.2). Açıklamadan da anlaşılacağı üzere ısının zorlanma olmadan yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa kendiliğinden aktarılacağı ancak tersinin gerçekleşebilmesi için dışarıdan bir iş etkileşimi sonucu enerji tüketilmesi gerektiğidir.



Şekil 3.2. Clausius ifadesi

### 3.4.2. Entropi

İkinci yasaya göre entropi; bir sistemdeki mikroskobik düzeydeki rastgelelik ve düzensizliğin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Tersinmezliğin ölçüsü de denebilir. İki yönlü çalışan bir sistemin tekrar eski haline dönmesiyle kaybettiği enerjiye Tersinmezlik denir. Entropi, Clausius eşitsizliğiyle aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (3.15)$$

Bu eşitsizlikte  $\delta Q$  sistem sınırı ile çevre arasındaki diferansiyel ısı transferini,  $T$  sistem sınırındaki sıcaklığı ifade etmektedir.

Entropi, yukarıda bahsedildiği gibi, tersinmezliklerle ilgili olup tersinmez proseslerde elde edilmektedir. Kapalı sistemde entropi değişimi aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$\Delta S_{\text{sistem}} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{\text{üretim}} \quad (3.16)$$

Entropinin artışı ilkesine dayanılarak, ideal ve imkansız olan tersinir sistemlerde entropi üretilmezken, gerçek tüm sistemlerde entropi üretimi artı yönlüdür. Entropi üretimi, ekserji tahribi olarak nitelendirildiğinden mühendislikte sistemlerin verimlerinin ölçülmesinde.

#### 3.4.2.1. Sürekli akışlı açık sistemlerde entropi dengesi

Hal değişimi esnasında kontrol hacmi içinde entropi değişim miktarı, ısı geçişi ile kontrol hacmi sınırında gerçekleşen entropi geçişi miktarı ve kontrol hacmi içinde kütle akışı ile entropi geçişi net miktarı ile tersinmezliklerin kontrol hacmi içindeki entropi üretim miktarına eşittir. Genel entropi dengesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\sum \frac{\dot{Q}}{T_k} + \sum \dot{m}_g s_g - \sum \dot{m}_ç s_ç + \dot{S}_{\text{üretim}} = dS_{KH} / dt \quad (3.17)$$

Bu bağıntı sürekli akışlı açık sistemlere uyarlanırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_ç s_ç - \sum \dot{m}_g s_g - \sum \frac{\dot{Q}}{T_k} \quad (3.18)$$

Sürekli ve tek akışlı açık sistemler için ise,

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m} (s_ç - s_g) - \sum \frac{\dot{Q}}{T_k} \quad (3.19)$$

şeklinde ifade edilebilir.

### 3.4.2.2. Saf maddeler için entropi değişimi

Verilen bir haldeki entropi değeri, diğer özellikler için izlenen yolla belirlenir. Sıkıştırılmış sıvı ve kızgın buhar bölgelerinde entropi, verilen durum için direkt tablodan okunur ve aşağıdaki şekilde gösterilir;

$$S = S_f + X S_{fg} \text{ (kJ/kgK)} \quad (3.20)$$

Buradaki  $x$  kuruluk derecesidir.  $S_f$  ve  $S_{fg}$  termodinamik tablodaki değerdir. Sıkıştırılmış sıvı için özelliklerin değeri verilmemişse aynı sıcaklıktaki doymuş sıvının entropi değerine denk kabul edilir.

$$S_{@P,T} \cong S_{f@T} \quad (3.21)$$

Faz değişimi sırasında saf maddenin entropisindeki değişim, ilk ve son haldeki entropi değerlerinin farkıdır.

$$\Delta S = m(s_2 - s_1) \text{ (kJ/K)} \quad (3.22)$$

ya da

$$\Delta S = s_2 - s_1 \text{ (kJ/kg.K)} \quad (3.23)$$

### 3.4.2.3. Sıvı ve katıların entropi dengesi

Katılar ve sıvılar sıkıştırılmayan maddelerdir ve  $C_p = C_v = C$  eşit kabul edilebilir. Faz değiştirirken entropideki değişim özgül ısı  $C$ 'nin sıcaklık ile değişimi ihmal edilebilirse denklem aşağıdaki şekilde de yazılabilir;

$$s_2 - s_1 = C_{ort} \ln \frac{t_2}{t_1} \text{ (kJ/kgK)} \quad (3.24)$$

### 3.4.2.4. Mükemmel gazların entropi değişimleri

Faz değişimi sırasındaki entropi değişimi özgül ısının değişmediği kabulüyle aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$s_2 - s_1 = C_{v,ort} \ln \frac{T_2}{T_1} R \ln \frac{v_2}{v_1} = C_{v,ort} \ln \frac{T_2}{T_1} R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{kJ/kg.K}) \quad (3.25)$$

### 3.4.2.5. Entropi değişiminin nedenleri ve sonuçları

Sistemde entropi değişimi oluşturabilecek üç neden bulunur:

- Sistemden çevreye olan ısı geçişi entropi değerini azaltır. Sisteme çevresinden olan ısı geçişi ise sistemin entropi değerini artırır,
- Kütle, entropi ve enerji içerir. Kütle akışı sisteme girdiğinde sistemin enerji ve entropisinin artmasını sağlar, sistemden çevreye olan kütle akışı ise enerji ve entropide azalmasına neden olur.
- Tersinmezlik daima sistemin entropisinde artışa sebep olur. Hal değiştirirken ısı geçişi olmuyorsa ya da sistem sınırı içerisinde tersinmezlik yok ise, kütle değişmediği sürece entropi de değişmez.
- Hal değişimleri belirli bir yönde gerçekleşir. Yön entropinin artış kabulüne uygun olan yöndür. Hal değişimi esnasında  $\Delta S_{toplama} \geq 0$  olmak zorundadır. Buna karşı hal değişimi gerçekleşemez.
- Entropi sadece tersinir hal değişimi durumunda korunur, tersinmez (gerçek) hal değişimlerinde her zaman entropi artar. Bundan dolayı çevrenin entropisi de sürekli olarak artar.

### 3.5. Sürekli Akışlı Açık Sistemlerde İkinci Yasa Analizi

Sürekli akış olan açık sistem için termodinamiğin ikinci yasası aşağıdaki gibidir:

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = (\dot{Q}_g - \dot{Q}_ç) + (\dot{W}_g - \dot{W}_ç) + (\dot{E}_{kütle,g} - \dot{E}_{kütle,ç}) = \Delta E_{sistem} \quad (3.26)$$

Burada birinci yasa kullanılarak ısı geçişi yok edilirse,

$$\dot{W} = \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right) - \sum \dot{m}_ç \left( h_ç + \frac{v_ç^2}{2} + gz_ç - T_0 s_ç \right) \quad (\text{kw}) \quad (3.27)$$

ifadesi elde edilir. Sürekli akış olan açık sistemin bir giriş ve bir çıkışı varsa yukarıdaki denklemi şu şekilde sadeleştirilir;

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m} [(h_g - h_c) - T_0 (s_g - s_c) + \frac{V_g^2 - V_c^2}{2} + g (z_g - z_c)] \quad (\text{kW}) \quad (3.28)$$

Bu bağıntıda potansiyel enerjideki ve kinetik enerjideki değişim ihmal edilirse tersinir iş aşağıdaki şekillerde ifade edilir.

$$\dot{W} = \dot{m} [(h_g - h_c) - T_0 (s_g - s_c)] \quad (\text{kW}) \quad (3.29)$$

veya

$$\dot{W}_{tr} = (h_g - h_c) - T_0 (s_g - s_c) = T_0 \Delta s \quad (\text{kJ/kg}) \quad (3.30)$$

Açık sistemlerdeki tersinmezlik ( $\dot{I}$ ) aşağıdaki bağıntıda ifade edildiği gibi tersinir iş ile yararlı iş ( $\dot{W}_y$ ) arasındaki fark şeklinde ifade edilir (Utlu ve Kıncay, 2013).

$$\dot{I} = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_y = T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{E}_{XD} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (3.31)$$

### 3.6. Yanma ve Yakıt ile İlgili Analizler

Buhar kazanları buhar üretebilmek için ısıya ihtiyaç duyar. Bu ısının kaynağı fosil yakıtların yakılmasıyla oluşan kimyasal enerjidir. Çalışmamızı yaptığımız bölgede santralimizde düşük kalorili Soma kömürü kullanıldığı göz önünde bulundurulmuştur. Kullanılan kömürün kalorisi 2400 kcal/kg  $\pm 100$  olarak incelenmiş, şartlara göre kalori değişkenlik gösterebilmektedir. Çalışmamız sırasında yapılan ölçümler sonucunda yakıtın alt ısıl değeri 2419.77 kcal/kg olarak bulunmuştur. Yakıt analizleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

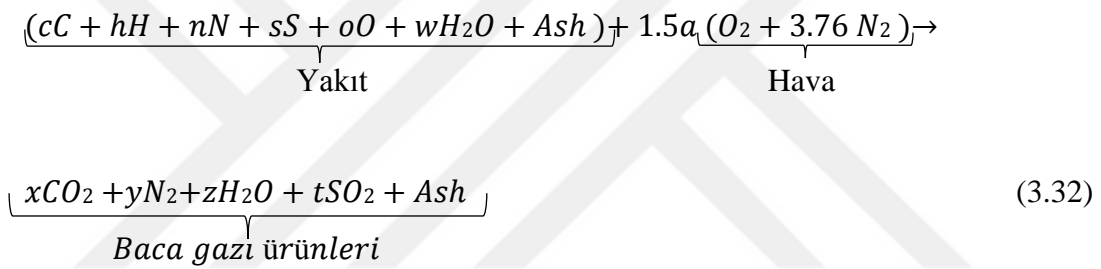
Çizelge 3.1. Yakıtların analizleri (Tuncali vd., 2002)

<b>BÖLGE</b>	<b>C</b> [%]	<b>H</b> [%]	<b>O</b> [%]	<b>S</b> [%]	<b>N</b> [%]	<b>W</b> [%]	<b>A</b> [%]	<b>Hu</b> [kJ/kg]
<b>Çan</b>	30.18	2.45	10.06	0.31	0.31	20.36	31.36	10604.66
<b>Kangal</b>	19.70	1.55	8.81	1.29	0.58	52.00	16.07	5876.3
<b>Soma</b>	38.64	2.74	16.40	0.01	0.59	18.64	22.98	11720
<b>Yatağan</b>	29.16	2.55	12.68	1.85	0.27	31.17	22.32	10253
<b>Yeniköy</b>	39.05	3.02	11.21	1.42	1.46	24.26	19.58	14625.82

Yanmanın olabilmesi için yanıcı ile yakıcı maddenin birleşmesi gerekmektedir. Yakıt içerisinde yanabilen karbon, hidrojen ve bunların bileşimi olan elementler vardır. Yanma sonrasında su buharı ve karbondioksit'e dönüşür. Yakıtlarla genelde bir miktar da kükürt vardır ve yanabilen bir madde olsa da korozif etkisi sebebiyle zararlıdır.

Yanmanın olabilmesi için kazana oksijen lazımdır. Oksijen kaynağı havadır. Hava; azot, su buharı, oksijen, karbondioksit, argon ve diğer maddelerin karışımıdır. Yanmanın olabilmesi için %79 azot ve %21 oksijen olmalıdır.

Elektrik üretiminde yapılan kabullere göre kömürün yanma reaksiyonu aşağıdaki gibidir.

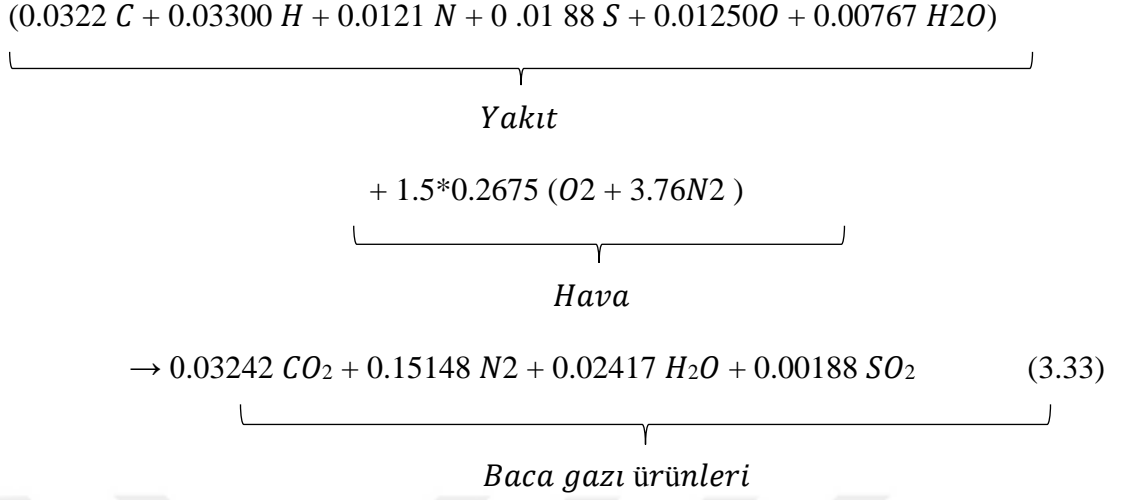


Bu katsayılar 100 kg yakıt için hesaplanmıştır. Çizelge 3.2'de her yakıtın katsayısı verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yakıtların giren ve çıkan bileşenlerine ait katsayılar (Arslan vd., 2005)

Yakıt Tipi	Seyitömer	Tunçbilek	Soma
a	2.980	3.674	2.675
c	3.750	4.283	3.242
h	3.600	3.900	3.300
n	0.093	0.136	0.121
o	1.231	0.756	1.250
s	0.050	0.072	0.188
t	0.050	0.072	0.188
y	16.855	20.787	15.148
z	2.572	3.067	2.417
x	3.750	4.283	3.242
w	0.772	1.117	0.767

Tabloya göre yanma formülümüz;



şeklindedir.

Bu denklemlerle, hava-yakıt karışımının, baca gazının, yakma havasının ve yakıtın mol ağırlıklarını bulabiliriz.

Yakıtın mol ağırlığı;

$$\frac{cC + hH + nN + sS + oO + wH_2O + \text{Ash}}{c + n + s + o + w + \text{Ash}} \quad (3.34)$$

$$\frac{3.42 \cdot 12.1 + 3.300 \cdot 1.008 + 0.121 \cdot 14.0065 + 0.0188 \cdot 32.064 + 1.2501 \cdot 5.9995 + 0.767 \cdot 18.015}{10.264}$$

$$= 8.19 \text{ kg/kmol}$$

Yakma havası mol ağırlığı;

$$\frac{1.5a(O_2 + 3.76N_2)}{19.09} \quad (3.35)$$

$$\frac{1.5 \cdot 2.675 \cdot [31.999 + 3.76 \cdot 28.01]}{19.99}$$

$$= 28.86 \text{ kg/kmol}$$

Hava-yakıt karışımının mol ağırlığı;

$$\frac{(\text{Yakıt mol ağırlığı} * \text{Yakıt bileşenleri}) + (\text{N}_2 * 19.09)}{\text{Yakıt mol ağırlığı} + 19.99} \quad (3.36)$$

$$\frac{10.264 * 8.19 + 28.86 * 19.09}{29.35} = 21.63 \text{ kg/mol}$$

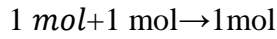
Baca gazı mol ağırlığı;

$$\frac{x\text{CO}_2 + y\text{N}_2 + z\text{H}_2\text{O} + t\text{SO}_2 + \text{Ash}}{\text{Baca gazı ürünleri (x + y + z + t)}} \quad (3.37)$$

$$\frac{3.242 * 44.01 + 15.148 * 28.01 + 2.417 * 18.01 + 0.188 * 64.06}{20.995} = 29.65 \text{ kg / kmol}$$

Kazanda yanma sırasında ihtiyaç olan havanın miktarının tespit edilebilmesi için gerekli olan minimum oksijen miktarının bilinmesi gereklidir.

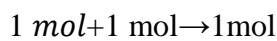
Karbon için gerekli oksijen miktarı için;



12.01 + 31.99 → 44.01 kg CO<sub>2</sub> açığa çıkar.

$$\frac{12.01 \text{ kg C için } 31.999 \text{ kg O}_2 \text{ gerekli olduğuna göre}}{1 \text{ kg C için } x \text{ kg O}_2 \text{ gerekir}} \\ x = 2.66 \text{ kg/O}_2$$

Kükürt için gerekli oksijen;

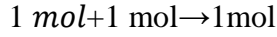


32.064 + 31.999 → 64.06 kg SO<sub>2</sub> bulunur.

$$\frac{32.064 \text{ kg S için } 31.999 \text{ kg O}_2 \text{ gerekli olduğuna göre}}{1 \text{ kg S için } x \text{ kg O}_2 \text{ gerekir}}$$

$$x = 0.998 \text{ kg/O}_2$$

Hidrojen için gerekli oksijen miktarı;



2.016 + 15.95 → 18.0155 kg H<sub>2</sub>O açığa çıkar.

$$\frac{2.016 \text{ kg H için } 15.995 \text{ kg O}_2 \text{ gerekli olduğuna göre}}{1 \text{ kg H için } x \text{ kg O}_2 \text{ gerekir}}$$

$$x = 7.936 \text{ kg/O}_2$$

Denkleme göre bulunun minimum oksijen miktarı;

$$\text{MOM} = \%C * 2.664 + \%H_2 * 7.936 + \%S * 0.998 - \%O_2 \quad (3.41)$$

$$\text{MOM} = (0.51 * 2.664) + (0.04 * 7.936) + (0.02 * 0.998) - 0.12$$

$$\text{MOM} = 1.08 \text{ kgO}_2/\text{kgY}$$

Minimum oksijen miktarını bulabilmek için oksijenin mol ağırlığı havanın mol ağırlığına oranlanır ve havadaki oksijenin kütleli debisi ile çarpılır. Havada oksijen oranı kütleli %21 olduğu kabul edilirse;

$$0.21 * \frac{31.999}{21.01} = 0.3199 \text{ MHM} = \frac{\text{MOM}}{0.3199} \quad (3.42)$$

$$\text{MOM} = \frac{\text{MOM}}{0.3199} = \frac{1.08}{0.3199} = 3.0760 \text{ kghava/kgyakıt buluruz.}$$

Gerekli havayı bulabilmek için minimum hava ile hava fazlalık katsayısı çarpılır. Sistemde katsayı hfk=1.5 olarak alınmıştır.

$$GHM=MHM*hf_k \quad (3.43)$$

$$GHM=MHM * hf_k = 3.0760*1.5=4.61499 \text{ kgHava/kgYakıt hesaplanır.}$$

Özetle 1 kg kömürün yanabilmesi için gerekli olan hava miktarı 4.61499 kg'dır. Aynı zamanda bu kömürün yanmasıyla 1+4.61499=5.61499 kg baca gazı oluşmaktadır. Hesaplamalara göre yanan kömür debisi 49.35 kg/s olduğundan gerekli havanın miktarı  $49.35*4.61499 = 227.7497 \text{ kg/s}$  ve çıkan baca gazının miktarı  $49.35*5.61499=277.0997 \text{ kg/s}$  olarak bulunur.

### 3.7. Geleneksel Ekserji Bileşenleri

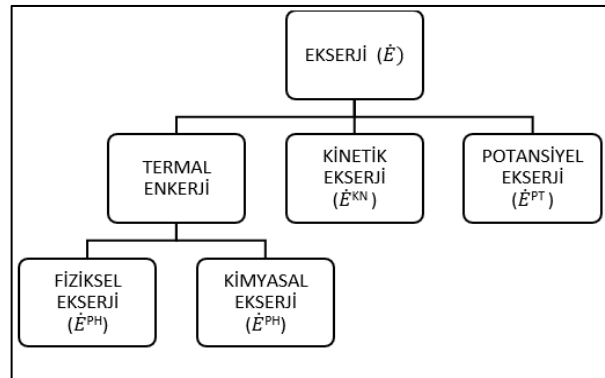
Nükleer, elektriksel, manyetik ve yüzey gerilmesinin olmadığı bir sistemin toplam ekserjisi E ile gösterilir. Ekserji, fiziksel ekserji  $E^{PH}$ , kimyasal ekserji  $E^{CH}$  kinetik ekserji  $E^{KN}$ , potansiyel ekserji  $E^{PT}$ , ve olarak kendi içinde 4'e ayrılmaktadır.

$$E = E^{KN} + E^{PT} + E^{PH} + E^{CH} \text{ (kW)} \quad (3.44)$$

Birim ekserji aşağıdaki biçimde ifade edilir (Bejan vd., 1996).

$$e_x = e^{KN} + e^{PT} + e^{PH} + e^{CH} \text{ (kW)} \quad (3.45)$$

Bir prosesin özellikleri çevreden farklı olduğunda iş oluşma potansiyeli vardır. Sistemle çevrenin koşulları eşitlendiğinde bu fırsat ortadan kalkar. Buna ölü hal denir. Enerji bileşenleri Şekil 3.3'te gösterilmiştir (Rosen ve Dinçer, 2004).



Şekil 3.3. Ekserji bileşenleri

### 3.7.1. Kinetik ekserji

Kinetik enerji tamamen işe dönüşebilir. Bundan dolayı sistemin kinetik enerjisinin ekserjisi çevrenin basınç ve sıcaklığından bağımsız kendi kinetik enerjisine denktir (Mert, 2010).

$$\dot{E}^{KN} = 1/2V^2 \text{ (kj/kg)} \quad (3.46)$$

### 3.7.2. Potansiyel ekserji

Mekanik enerjinin başka bir biçimi de potansiyel enerjidir ve tamamen işe dönüşebilir. Be şekilde sistemin potansiyel enerjisinin ekserjisi, çevre basınç ve sıcaklığına bağlı olmadan kendi potansiyel enerjisine eşittir (Mert, 2010).

$$\dot{E}^{KN} = gz \text{ (kj/kg)} \quad (3.47)$$

### 3.7.3. Fiziksel ekserji

Saf maddelerde fiziksel ekserji,

$$e^{PH} = (u - u_0) - P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) \text{ (kj/kg)} \quad (3.48)$$

Şeklinde gösterilir. Denklemden  $u_0$  ve  $s_0$  maddenin ısı kaynağı olduğu kabul edilen  $T_0$  sıcaklığı ve  $P_0$  basıncı özgül iç enerji ve entropi olarak tanımlanır.

Özetle Fiziksel ekserji;

$$e^{PH} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \text{ (kj/kg)} \quad (3.49)$$

Şeklinde gösterilir ve toplam fiziksel ekserji akısı;

$$\dot{E}^{PH} = \dot{m}e^{PH} \text{ (kj/kg)} \quad (3.50)$$

### 3.7.4. Kimyasal ekserji

Kimyasal ekserjilerde, basıncı  $P_0$  ve sıcaklığı  $T_0$  standart çevreye dayanır. Saf maddelerin kimyasal ekserji değerleri tablodan alınarak analizde kullanılır. Gaz karışımlarında 3.51 denklemini kullanılır (Bejan vd., 1996).

$$\bar{e}^{CH} = \sum X_k \bar{e}_k^{CH} \bar{R} \cdot T_0 \sum X_k \ln X_k \quad (\text{kJ/kg}) \quad (3.51)$$

### 3.8. Ekserji Yıkımı ve Kaybı

Bir ekipmanda birim zamanda kaybolan ekserji yıkım miktarını  $E_{ky}$ ;

$$E_{ky} = E_Q - E_{W,E} + \sum E_{mass,i} - \sum E_{mass,e} \quad (\text{kW}) \quad (3.52)$$

ya da

$$E_{ky} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q} - W + \sum m_i e_i - \sum m_e e_e \quad (\text{kW}) \quad (3.53)$$

şeklinde ifade edilir. Her bir ekipmanda yok olan ekserjilerin toplamı sistemin tamamında yok olan enerjiyi verir.

$$\sum_{n=1}^n E_{ky_x} = E_{ky_1} + E_{ky_2} + E_{ky_3} + \dots + E_{ky_n} \quad (3.54)$$

Herhangi bir ekipmanın ekserji yıkımı tüm sistemin ekserji yıkımına bölünerek ekipmanın toplam sisteme etkisi görülebilir.

$$Y_{ky} = \frac{E_{ky}}{\sum E_{ky}} \quad (3.55)$$

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde santralin bir ünitesinde buhar çevriminin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları incelenmiş ve sistemin durumu görülmüştür.

### 4.1. Santral Çalışma Sistemi

Hesaplamaların ve analizlerin yapılabilmesi için akış şeması çıkarılmıştır. Tesiste analizi yapılacak ekipmanlar belirlenmiş, ekipmanların giriş ve çıkış hatları numaralandırılmıştır.

Şekil üzerindeki noktaların açıklaması Çizelge 4.1 ile aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.1 Ekipman giriş-çıkış noktaları

1 Noktası	Kondenser çıkışı, tahliye pompası girişi
2 Noktası	Kondenser tahliye pompası çıkışı, 1. AB ısıtıcısı girişi
3 Noktası	1. AB ısıtıcısı çıkışı, 2. AB ısıtıcısı girişi
4 Noktası	2. AB ısıtıcısı çıkışı, 3. AB ısıtıcısı girişi
5 Noktası	3. AB ısıtıcısı çıkışı, 4. AB ısıtıcısı girişi
6 Noktası	4. AB ısıtıcısı çıkışı, kazan besleme tankı girişi
7 Noktası	Kazan besleme tankı çıkışı, kazan besleme pompası girişi
8 Noktası	Kazan besleme pompası çıkışı, 1. YB ısıtıcısı girişi
9 Noktası	1. YB ısıtıcısı çıkışı, 2. YB ısıtıcısı girişi
10 Noktası	2. YB ısıtıcısı çıkışı, kazan girişi
11 Noktası	Kazan çıkışı, türbin girişi
12 Noktası	YB türbin çıkışı, kazan tekrar girişi
13 Noktası	Tekrar kızdırıcı kazan çıkışı
14 Noktası	OB türbin çıkışı, AB türbin girişi
15 Noktası	AB türbin çıkışı, kondenser girişi
16 Noktası	YB türbin çıkışı, 2. YB ısıtıcısı girişi ara buharı
17 Noktası	OB türbin çıkışı, 1. YB ısıtıcısı girişi ara buharı
18 Noktası	OB türbin çıkışı, kazan besleme tankı girişi ara buharı
19 Noktası	OB türbin çıkışı, 4. AB ısıtıcısı girişi ara buharı
20 Noktası	AB türbin çıkışı, 3. AB ısıtıcısı girişi ara buharı
21 Noktası	AB türbin çıkışı, 2. AB ısıtıcısı girişi ara buharı
22 Noktası	AB türbin çıkışı, 1. AB ısıtıcısı girişi ara buharı
23 Noktası	Soğutma kulesi çıkışı, kondenser girişi
24 Noktası	Kondenser çıkışı, soğutma kulesi girişi
25 Noktası	Kondensere demineralize suyu girişi



## 4.2. Santral Ölçülen Değerler

Santralde bulunan her bir ekipman için giriş çıkış hatları belirlendikten sonra bu hatların sahip olduğu debi, sıcaklık, basınç değerleri tespit edilmiştir. Bu veriler kullanılarak hatların entalpi ve entropi değerleri bulunmuştur (Çizelge 4.2).

Kondenser ve kazan besleme tankı çıkışı doymuş sıvıdır. Besleme suyu ısıtıcılarından kondensere dönüşlerde de doymuş sıvı alınmıştır.

Çizelge 4.2. Santral ölçülen değerler

Noktalar	Sıcaklık	Basınç	Debi	Entalpi	Entropi
	(T) °C	kPa	(kg/s) kg/s	(h) kJ/kg	(s) kJ/(kg.K)
1	48	12.34 (x=0)	77.2	201	0.6778
2	48	2000	77.2	202.7	0.6769
3	51	2000	79.9	213.524	0.71664
4	68	2000	83	284.69	0.93054
5	102	2000	89.9	428.9	1.328
6	124	2000	95.2	520.81	1.54938
7	160	617.7(x=0)	100.4	675.7	1.943
8	160	17900	100.4	675.7	1.943
9	182	17500	106.5	771.906	2.15852
10	222	17500	116.6	952.834	2.53612
11	540	13700	116.6	3433	6.533
12	340	2900	106.5	3091	6.704
13	540	2800	106.5	3547	7.347
14	200	160	89.9	2872	7.612
15	50	12.34	77.2	2558	7.972
16	340	2900	10.1	3091	6.704
17	400	1240	6.1	3260	7.357
18	300	580	5.2	3061	7.372
19	200	160	5.3	2872	7.612
20	145	100	6.9	2756	7.565
21	125	50	3.1	2721	7.796
22	86	30	2.7	2646	7.828
23	29	(x=0)	6111.1	121.558	0.42288
24	38	-	6111.1	146	0.5
25	24	(x=0)	0	100.6	0.3529
WT	124 MW				

### 4.3. Hesaplamalar

Bu çalışmada; ünitenin her bir ekipmanı ayrı bir proses olarak düşünülmüş ve hesaplamalar her bir proses için ayrı ayrı yapılmıştır. Türbin kısmında yüksek-orta-  
alçak basınç türbinleri ayrı ayrı düşünülmüştür.

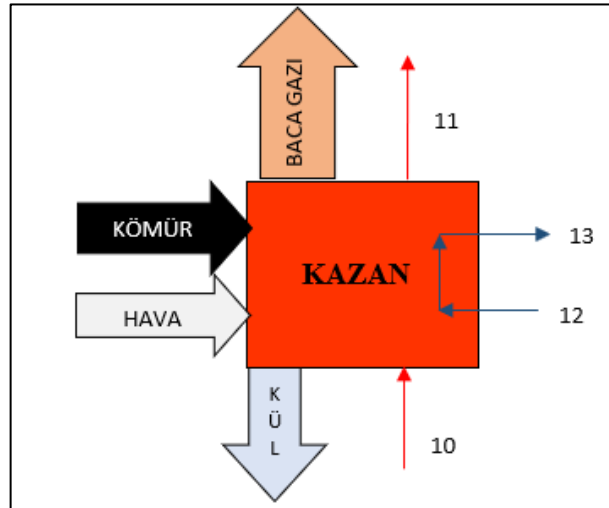
#### 4.3.1. Ekipman enerji dengeleri

Kazan;

Kazan nokta değerleri (Çizelge 4.3) ve şeması (Şekil 4.2) aşağıda gösterilmiştir.  
Buna göre, kazan için enerji dengesi denklemi hesaplanırsa;

Çizelge 4.3. Kazan nokta değerleri

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Basınç [kPa]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
10	222	17500	116.6	952.834	2.53612
11	540	13700	116.6	3433	6.533
12	340	2900	106.5	3091	6.704
13	540	2800	106.5	3547	7.347



Şekil 4.2. Kazan enerji dengesi

$$\dot{Q}_{\text{Kazan}} = \dot{m}_{11}h_{11} + \dot{m}_{13}h_{13} - \dot{m}_{10}h_{10} - \dot{m}_{12}h_{12} - E_{\text{yakıt}} + E_{\text{bg}} - E_{\text{hava}} \quad (4.1)$$

Bu formülde yakıt enerjisi;

$$E_{\text{yakıt}} = m_{\text{yakıt}} * AID_{\text{yakıt}} = 49.35 * 2400 * 4.186 = 495789.84 \text{ kJ/kg} \quad (4.2)$$

ile hesaplanır.

Baca gazı enerjisi;

Baca gazındaki karışımların molar oranları;

$$X_i = \frac{n_i}{n_{\text{toplam}}} \text{ formülüne göre hesaplırsa,} \quad (4.3)$$

$$X_{\text{CO}_2} = \frac{0.03242}{0.20995} = 0.1544$$

$$X_{\text{N}_2} = \frac{0.15148}{0.20995} = 0.7215$$

$$X_{\text{SO}_2} = \frac{0.00188}{0.20995} = 0.0895$$

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{0.02417}{0.20995} = 0.1151$$

Çizelge 4.4. Baca gazının 298 K ve 480 K'deki entalpi değerleri

Madde	$\bar{h}_{480\text{K}}$ (kJ/kmol)	$\bar{h}_0$ (kJ/kmol)	$X_i$
CO <sub>2</sub>	16.791	9.364	0.1519
N <sub>2</sub>	13.988	8.669	0.7368
SO <sub>2</sub>	19.004	11.797	0.0026
H <sub>2</sub> O	16.126	9.904	0.1087

Baca gazında enerji analizi yapabilmek için önce baca gazının 480 K ve 298 K'deki entalpi değerleri bulunur (Çizelge 4.4). Sonrasında aşağıdaki denklemlerde yerine konularak baca gazının enerjisi bulunur.

298 K Çevre sıcaklığındaki baca gazı entalpi değeri;

$$\bar{h}_0 = x_{CO_2} * \bar{h}_{0CO_2} + x_{N_2} * \bar{h}_{0N_2} + x_{SO_2} * \bar{h}_{0SO_2} + x_{H_2O} * \bar{h}_{0H_2O} \quad (4.4)$$

$$\bar{h}_0 = (0.1544 * 9.364) + (0.7215 * 8.669) + (0.0895 * 11.797) + (0.1151 * 9.904)$$

$$\bar{h}_0 = 9,896.267 \text{ kJ/kmol bulunur.}$$

480K sıcaklığındaki baca gazı entalpi değeri;

$$\bar{h}_{480K} = x_{CO_2} * \bar{h}_{480KCO_2} + x_{N_2} * \bar{h}_{480KN_2} + x_{SO_2} * \bar{h}_{480KSO_2} + x_{H_2O} * \bar{h}_{480KH_2O} \quad (4.5)$$

$$\bar{h}_{480K} = (0.1544 * 16,791) + (0.7215 * 13,988) + (0.0895 * 19,004) + (0.1151 * 16,126)$$

$$\bar{h}_{480K} = 16,241.833 \text{ kJ/kmol}$$

$$E_{BG} = (h_{BG,480K} - h_{BG,298K}) = 16,241.833 - 9,896.267 = 6,345.566 \text{ kJ/kmolK} \quad (4.6)$$

$$E_{BG} = \frac{6,345.566 \text{ kJ/kmol}}{29.44 \text{ kg/kmol}} = 215.542 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{BG} = \dot{m}_{BG} * (h_{BG,480K} - h_{BG,298K}) = 277.0997 * 215.542 = 59,726.62 \text{ kJ/s hesaplanır.}$$

Havanın enerjisi;

$$E_{Hava} = \dot{m}_{hava} * (h_{hava,480K} - h_{hava,298K}) = 227497 * (482.49 - 298.18) =$$

$$41976.54 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.7)$$

Bulunan bu sonuçlar denklemde yerine konulursa kazanda enerji dengesi hesaplanır.

$$\dot{Q}_{Kazan} = \dot{m}_{11}h_{11} + \dot{m}_{13}h_{13} - \dot{m}_{10}h_{10} - \dot{m}_{12}h_{12} - E_{yakıt} + E_{bg} - E_{hava} \quad (4.8)$$

$$= (400287.80) + (377755.50) - (111100.44) - (329191.50) - (495789.84) + (59726.62) -$$

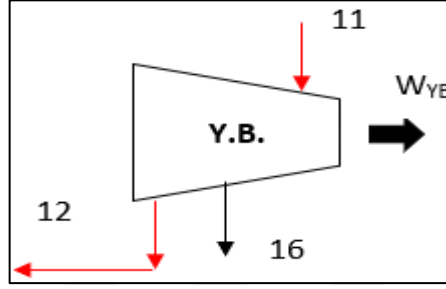
$$(41976.54) = -140288.4 \text{ kW şeklinde elde edilir.}$$

Çalışmamızda her bir türbin tek bir proses şeklinde değerlendirilmiştir. Denge denklemleri ayrı ayrı yazılıp çözüm kısmında türbin kayıpları toplanarak bulunmuştur.

YBT nokta değerleri (Çizelge 4.5) ve şeması (Şekil 4.3) aşağıda gösterilmiştir. Yüksek basınç türbini;

Çizelge 4.5. YBT nokta değerleri

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Basınç [kPa]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
11	540	13700	116.6	3433	6.533
12	340	2900	106.5	3091	6.704
16	340	2900	10.1	3091	6.704



Şekil 4.3. YBT enerji dengesi

Kayıp yüksek basınç türbini için enerji dengesi denklemi yöntemiyle hesaplanırsa;

$$\dot{Q}_{YB} - W_{YB} = \dot{m}_{12}h_{12} + \dot{m}_{16}h_{16} - \dot{m}_{11}h_{11} \quad (4.9)$$

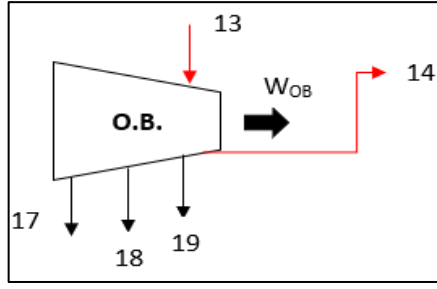
$$\dot{Q}_{YB} - W_{YB} = 329191.50 + 31219.10 + 400287.80$$

$\dot{Q}_{YB} - W_{YB} = -39877.20$  kW olarak bulunur.

OBT nokta değerleri (Çizelge 4.6) ve şeması (Şekil 4.4) aşağıda gösterilmiştir. Orta basınç türbini için kayıp;

Çizelge 4.6. OBT nokta değerleri

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Basınç [kPa]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
13	540	2800	106.5	3547	7.347
14	200	160	89.9	2872	7.612
17	400	1240	6.1	3260	7.357
18	300	580	5.2	3061	7.372
19	200	160	5.3	2872	7.612



Şekil 4.4. OBT enerji dengesi

Kayıp orta basınç türbini için enerji dengesi denklemi yöntemiyle hesaplanırsa;

$$\dot{Q}_{OB}-W_{OB}=\dot{m}_{17}h_{17}+\dot{m}_{18}h_{18}+\dot{m}_{19}h_{19}+\dot{m}_{14}h_{14}-\dot{m}_{13}h_{13} \quad (4.10)$$

$$\dot{Q}_{OB}-W_{OB}=19886.00+15917.20+15221.60+258192.80-377755.50$$

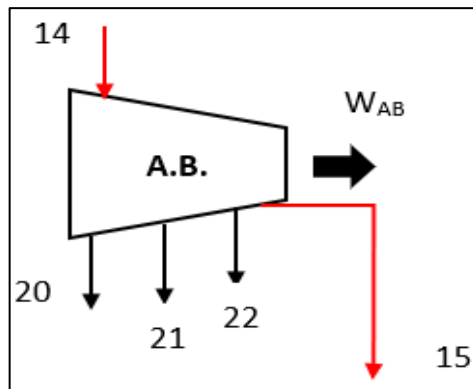
$\dot{Q}_{OB}-W_{OB}=68537.90$  KW bulunur.

ABT nokta değerleri (Çizelge 4.7) ve şeması (Şekil 4.5) aşağıda gösterilmiştir.

Alçak basınç türbini için kayıp;

Çizelge 4.7. ABT nokta değerleri

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Basınç [kPa]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
<b>14</b>	200	160	89.9	2872	7.612
<b>15</b>	50	12.34	77.2	2558	7.972
<b>20</b>	145	100	6.9	2756	7.565
<b>21</b>	125	50	3.1	2721	7.796
<b>22</b>	86	30	2.7	2646	7.828



Şekil 4.5. ABT enerji dengesi

Kayıp alçak basınç türbini için enerji dengesi denklemi yöntemiyle hesaplanırsa;

$$\dot{Q}_{AB}-W_{AB}=\dot{m}_{20}h_{20}+\dot{m}_{21}h_{21}+\dot{m}_{22}h_{22}+\dot{m}_{15}h_{15}-\dot{m}_{14}h_{14} \quad (4.11)$$

$$\dot{Q}_{AB}-W_{AB}=19016.40+8435.10+7144.20+197477.60-258192.80$$

$$\dot{Q}_{AB}-W_{AB}=-26119.50 \text{ KW bulunur.}$$

Türbin grubu için toplam kayıp;

$$\dot{Q}_{\text{Türbin}}-\dot{W}_T=\dot{Q}_{YB}+\dot{Q}_{OB}+\dot{Q}_{AB}-(W_{YB}+W_{OB}+W_{AB}) \quad (4.12)$$

$$\dot{Q}_{\text{Türbin}}=\dot{Q}_{YB}+\dot{Q}_{OB}+\dot{Q}_{AB}-(W_{YB}+W_{OB}+W_{AB})+\dot{W}_T$$

$$\dot{Q}_{\text{Türbin}}=-39877.20-68537.90-26119.50+124000$$

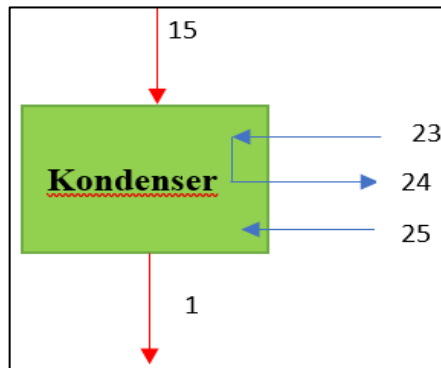
$$\dot{Q}_{\text{Türbin}}=-10553 \text{ KW olarak bulunur.}$$

Kondenser nokta değerleri (Çizelge 4.8) ve şeması (Şekil 4.6) aşağıda gösterilmiştir.

Kondenser;

Çizelge 4.8. Kondenser nokta değerleri

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Basınç [kPa]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
1	48	12.34 (x=0)	77.2	201	0.6778
15	50	12.34	77.2	2558	7.972
23	29	(x=0)	6111.1	121.558	0.42288
24	38	-	6111.1	146	0.5
25	24	(x=0)	0	100.6	0.3529



Şekil 4.6. Kondenser karışım diyagramı

Kondenser (Yoğuşturucu) için;

$$\dot{Q}_{\text{con}} = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_{24} h_{24} - \dot{m}_{15} h_{15} - \dot{m}_{23} h_{23} - \dot{m}_{25} h_{25} \quad (4.13)$$

$$\dot{Q}_{\text{con}} = 15517.20 + 892220.6 - 197477.60 - 742853.09 - 2.53$$

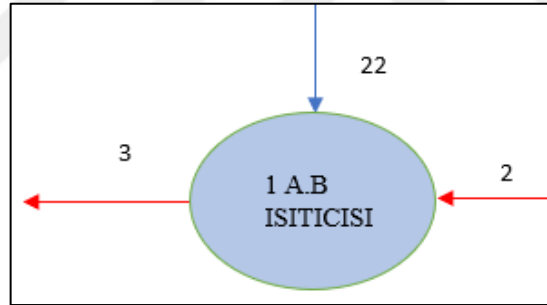
$$\dot{Q}_{\text{con}} = -32595.42 \text{ KW olarak bulunur.}$$

ABI 1 nokta değerleri (Çizelge 4.9) ve şeması (Şekil 4.7) aşağıda gösterilmiştir.

Alçak basınç ısıtıcısı 1;

Çizelge 4.9. ABI 1 nokta değerleri

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Basınç [kPa]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
2	48	2000	77.2	202.7	0.6769
3	51	2000	79.9	213.524	0.71664
22	86	30	2.7	2646	7.828



Şekil 4.7. ABI 1 karışım diyagramı

$$\dot{Q}_{1A.B} = \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_{22} h_{22} - \dot{m}_2 h_2 \quad (4.14)$$

$$\dot{Q}_{1A.B} = 17060.57 - 7144.20 - 15648.44$$

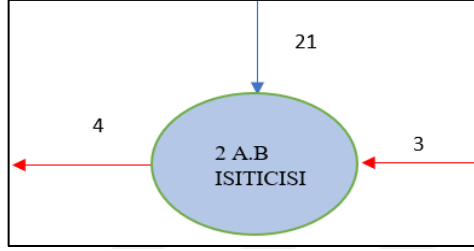
$$\dot{Q}_{1A.B} = -5732.07 \text{ KW olarak bulunur}$$

ABI 2 nokta değerleri (Çizelge 4.10) ve şeması (Şekil 4.8) aşağıda gösterilmiştir.

Alçak basınç ısıtıcısı 2;

Çizelge 4.10. ABI 2 nokta değerleri

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Basınç [kPa]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
3	51	2000	79.9	213.524	0.71664
4	68	2000	83	284.69	0.93054
21	125	50	3.1	2721	7.796



Şekil 4.8. ABI 2 karışım diyagramı

$$\dot{Q}_{2A.B} = \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_{21} h_{21} - \dot{m}_3 h_3 \quad (4.15)$$

$$\dot{Q}_{2A.B} = 23629.27 - 8435.10 - 17060.57$$

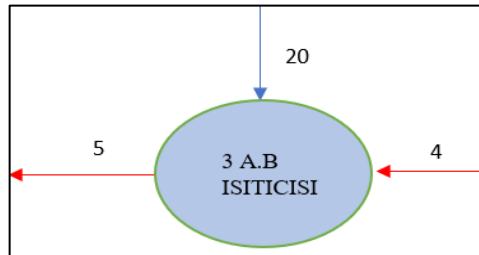
$$\dot{Q}_{2A.B} = -1866.40 \text{ KW olarak bulunur.}$$

ABI 3 nokta değerleri (Çizelge 4.11) ve şeması (Şekil 4.9) aşağıda gösterilmiştir.

Alçak basınç ısıtıcısı 3;

Çizelge 4.11. ABI 3 nokta değerleri

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Basınç [kPa]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
4	68	2000	83	284.69	0.93054
5	102	2000	89.9	428.9	1.328
20	145	100	6.9	2756	7.565



Şekil 4.9. ABI 3 karışım diyagramı

$$\dot{Q}_{3A,B} = \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_{20} h_{20} \quad (4.16)$$

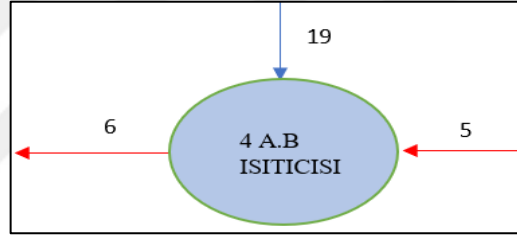
$$\dot{Q}_{3A,B} = 38558.11 - 23629.27 - 19016.40$$

$$\dot{Q}_{3A,B} = -4087.56 \text{ KW olarak bulunur.}$$

ABI 4 nokta değerleri (Çizelge 4.12) ve şeması (Şekil 4.10) aşağıda gösterilmiştir.  
Alçak basınç ısıtıcısı 4;

Çizelge 4.12. ABI 4 nokta değerleri

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Basınç [kPa]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
5	102	2000	89.9	428.9	1.328
6	124	2000	95.2	520.81	1.54938
19	200	160	5.3	2872	7.612



Şekil 4.10. ABI 4 karışım diyagramı

$$\dot{Q}_{4A,B} = \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_{19} h_{19} \quad (4.17)$$

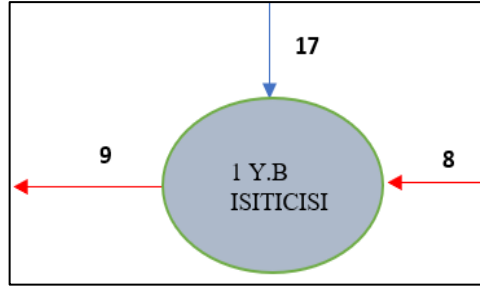
$$\dot{Q}_{4A,B} = 49581.11 - 38558.11 - 15221.60$$

$$\dot{Q}_{4A,B} = -4198.60 \text{ KW olarak bulunur.}$$

YBI 1 nokta değerleri (Çizelge 4.13) ve şeması (Şekil 4.11) aşağıda gösterilmiştir.  
Yüksek basınç ısıtıcısı 1;

Çizelge 4.13. YBI 1 nokta değerleri

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Basınç [kPa]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
8	160	17900	100.4	675.7	1.943
9	182	17500	106.5	771.906	2.15852
17	400	1240	6.1	3260	7.357



Şekil 4.11. YBI 1 karışım diyagramı

$$\dot{Q}_{1Y.B} = \dot{m}_9 h_9 - \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_{17} h_{17} \quad (4.18)$$

$$\dot{Q}_{1Y.B} = 82207.99 - 67840.28 - 19886.00$$

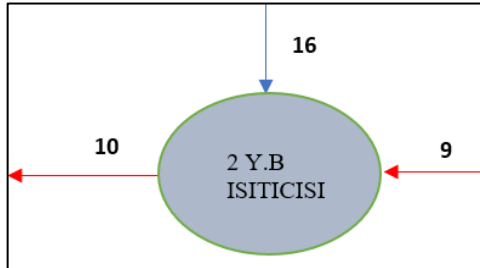
$\dot{Q}_{1Y.B} = -5518.29 \text{ KW}$  olarak bulunur.

YBI 2 nokta değerleri (Çizelge 4.14) ve şeması (Şekil 4.12) aşağıda gösterilmiştir.

Yüksek basınç ısıtıcısı 2;

Çizelge 4.14. YBI 2 nokta değerleri

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Basınç [kPa]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
9	182	17500	106.5	771.906	2.15852
10	222	17500	116.6	952.834	2.53612
16	340	2900	10.1	3091	6.704



Şekil 4.12. YBI 2 karışım diyagramı

$$\dot{Q}_{2Y.B} = \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_9 h_9 - \dot{m}_{16} h_{16} \quad (4.19)$$

$$\dot{Q}_{2Y.B} = 111100.44 - 82207.99 - 31219.10$$

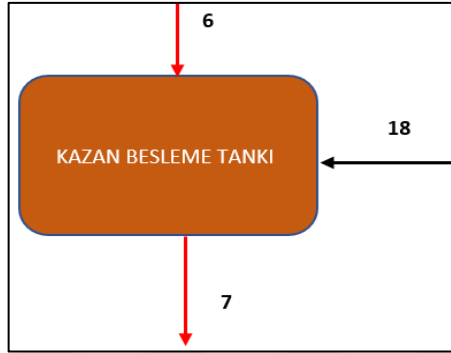
$\dot{Q}_{2Y.B} = -2326.64 \text{ KW}$  olarak bulunur.

KBT nokta değerleri (Çizelge 4.15) ve şeması (Şekil 4.13) aşağıda gösterilmiştir.

Kazan besleme tankı;

Çizelge 4.15. KBT nokta değerleri

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Basınç [kPa]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
6	124	2000	95.2	520.81	1.54938
7	160	617.7 (x=0)	100.4	675.7	1.943
18	300	580	5.2	3061	7.372



Şekil 4.13. KBT karışım diyagramı

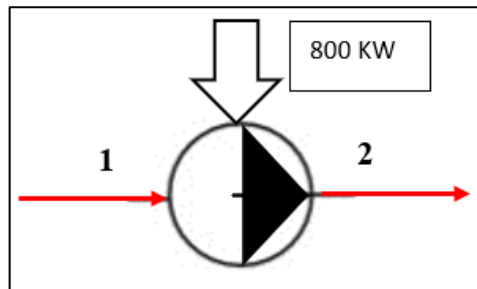
$$\dot{Q}_{KBT} = \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_{18} h_{18} \quad (4.20)$$

$$\dot{Q}_{KBT} = 67840.28 - 49581.11 - 15917.20$$

$$\dot{Q}_{KBT} = -2341.97 \text{ KW olarak bulunur.}$$

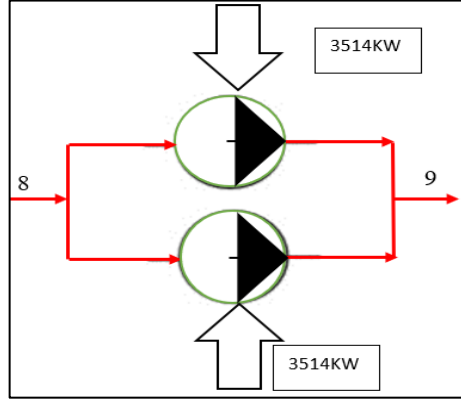
Kondenser tahliye pompası;

Kondenser tahliye pompası ve kazan besleme pompasında ısıyla kaybolan enerji ihmal edilebilecek kadar az olduğundan ihmal edilebilir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. KTP karışım diyagramı

Kazan besleme pompası (Şekil 4.15);



Şekil 4.15. KBP karışım diyagramı

$$\dot{Q}_{KTP} = 0 \text{ Kw} \quad (4.21)$$

$$\dot{Q}_{KBP} = 0 \text{ Kw} \quad (4.22)$$

Olarak bulunur.

### 4.3.2. Santraldeki noktaların ekserji dengeleri

Hesaplamaları yaparken başta noktalardaki fiziksel ve kimyasal ekserjileri hesaplanacaktır.

#### 4.3.2.1. Santraldeki noktaların fiziksel ekserjileri

Hesaplamalarda kullanılacak tüm noktaların değerleri Çizelge 4.2’de görülmektedir. Fiziksel ekserji değerleri bulunurken denklem 3.48 ve 3.49’da yer alan formüller kullanılacaktır.

Yakma havasının fiziksel ekserji değeri çevre şartlarında olduğundan dolayı sıfır kabul edilir.

$$e_B^{ph} = 0, \dot{E}_B^{ph} = 0 \quad (4.23)$$

Yakıtın fiziksel ekserji değeri çevre şartlarında olduğundan dolayı sıfır kabul edilir.

$$e_A^{ph}=0, \dot{E}_A^{ph}=0 \quad (4.24)$$

Baca gazı çıkış fiziksel ekserji değeri;

Fiziksel ekserjisi bulunurken içerisindeki bileşenlerin teker teker entropi ve entalpi değerleri bulunur. Sonrasında bulunan değerler kısmi basınçlarla çarpılır ve baca gazının entropi ve entalpi değerleri bulunur. Aşağıda baca gazını oluşturan gazların molar oranları verilmiştir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Baca gazı içerisindeki bileşenlerin özellikleri

Madde	$\bar{h}_f$ (kJ/kmol)	$\bar{h}_{480K}$ (kJ/kmol)	$\bar{h}_0$ (kJ/kmol)	$\bar{S}_{480K}$ (kJ/kmol)	$\bar{S}_0$ (kJ/kmol)	$x_i$
CO <sub>2</sub>	-393521	17678	9364	234.814	213.684	0.1519
N <sub>2</sub>	0	14581	8669	206.630	191.502	0.7368
SO <sub>2</sub>	-296833	19795	11797	271.082	284.074	0.0026
H <sub>2</sub> O	-241856	16825	9904	206.413	188.824	0.1087

298 K ortam şartlarında baca gazı entalpi ve entropi değerleri;

$$\bar{h}_0 = x_{CO_2} \cdot \bar{h}_{0CO_2} + x_{N_2} \cdot \bar{h}_{0KN_2} + x_{SO_2} \cdot \bar{h}_{0KSO_2} + x_{H_2O} \cdot \bar{h}_{0KH_2O} \quad (4.25)$$

$$\bar{h}_0 = (0.1544 \cdot 9364) + (0.7215 \cdot 8669) + (0.0895 \cdot 11797) + (0.1151 \cdot 9904)$$

$$\bar{h}_0 = 9,896.267 \text{ kJ/kmol hesaplanır.}$$

$$\bar{s}_{0i} = \bar{s}_i - R \ln \frac{x_i p}{p_0} \quad (4.26)$$

$$\left( \frac{p}{p_0} = 1 \text{ bar} \right)$$

$$\bar{s}_{CO_2} = \bar{s}_{298K,CO_2} - R \ln x_{CO_2} = 213.684 - 8.314 \cdot \ln 0.1519 \quad (4.27)$$

$$\bar{s}_{CO_2} = 229.353 \text{ kJ/kmolK hesaplanır.}$$

$$\bar{s}_{N_2} = \bar{s}_{298K,N_2} - R \ln x_{N_2} = 191.502 - 8.314 \cdot \ln 0.7368 \quad (4.28)$$

$$\bar{s}_{N_2} = 194.0414 \text{ kJ/kmolK hesaplanır.}$$

$$\bar{s}_{SO_2} = \bar{s}_{298K, SO_2} - R \ln x_{SO_2} = 333.5609 - 8.314 * \ln 0.0895 \quad (4.29)$$

$$\bar{s}_{SO_2} = 372.724 \text{ kJ/kmolK hesaplanır.}$$

$$\bar{s}_{H_2O} = \bar{s}_{298K, H_2O} - R \ln x_{H_2O} = 188.720 - 8.314 * \ln 0.1151 \quad (4.30)$$

$$\bar{s}_{H_2O} = 206.694 \text{ kJ/kmolK hesaplanır.}$$

$$\bar{s}_0 = x_{CO_2} \cdot \bar{s}_{0CO_2} + x_{N_2} \cdot \bar{s}_{0N_2} + x_{SO_2} \cdot \bar{s}_{0SO_2} + x_{H_2O} \cdot \bar{s}_{0H_2O} \quad (4.31)$$

$$\bar{s}_0 = (0.1544 * 229.217) + (0.7215 * 194.0414) + (0.0895 * 372.724) + (0.1151 * 206.694)$$

$$\bar{s}_0 = 202.662 \text{ kJ/kmolK hesaplanır.}$$

480 K'de için baca gazının entropi ve entalpi değerleri;

$$\bar{h}_{480K} = x_{CO_2} \cdot \bar{h}_{480K, CO_2} + x_{N_2} \cdot \bar{h}_{480K, N_2} + x_{SO_2} \cdot \bar{h}_{480K, SO_2} + x_{H_2O} \cdot \bar{h}_{480K, H_2O} \quad (4.32)$$

$$\bar{h}_{480K} = (0.1544 * 16791) + (0.7215 * 13988) + (0.0895 * 19004) + (0.1151 * 16126)$$

$$\bar{h}_{480K} = 14712.011 \text{ kJ/kmolK hesaplanır.}$$

$$\bar{s}_i = \bar{s}_{480K, i} - R \ln \frac{x_i \rho}{\rho_0} \quad \left( \frac{\rho}{\rho_0} = 1 \text{ bar} \right) \quad (4.33)$$

$$\bar{s}_{CO_2} = \bar{s}_{480K, CO_2} - R \ln x_{CO_2} = 233.003 - 8.314 * \ln 0.1544 \quad (4.34)$$

$$\bar{s}_{CO_2} = 248.536 \text{ kJ/kmolK hesaplanır.}$$

$$\bar{s}_{N_2} = \bar{s}_{480K, N_2} - R \ln x_{N_2} = 205.424 - 8.314 * \ln 0.7215 \quad (4.35)$$

$$\bar{s}_{N_2} = 208.137 \text{ kJ/kmolK hesaplanır.}$$

$$\bar{s}_{SO_2} = \bar{s}_{480K, SO_2} - R \ln x_{SO_2} = 304.605 - 8.314 * \ln 0.0895 \quad (4.36)$$

$$\bar{s}_{SO_2} = 343.768 \text{ kJ/kmolK hesaplanır.}$$

$$\bar{s}_{H_2O} = \bar{s}_{480K, H_2O} - R \ln x_{H_2O} = 204.982 - 8.314 * \ln 0.1151 \quad (4.37)$$

$$\bar{s}_{H_2O} = 222.9564 \text{ kJ/kmolK hesaplanır.}$$

$$\bar{s}_{480K} = x_{CO_2} \cdot \bar{s}_{480K_{CO_2}} + x_{N_2} \cdot \bar{s}_{480K_{N_2}} + x_{SO_2} \cdot \bar{s}_{480K_{SO_2}} + x_{H_2O} \cdot \bar{s}_{480K_{H_2O}} \quad (4.38)$$

$$\bar{s}_{480K} = 0.1544 \cdot 248.536 + 0.7215 \cdot 208.137 + 0.0895 \cdot 343.76 + 0.1151 \cdot 222.9564$$

$$\bar{s}_{480K} = 217.300 \text{ kJ/kmol}$$

$$E_{BG}^{PH} = EC = (\bar{h}_{480K} - \bar{h}_0) - T_0 \cdot (\bar{s}_{480K} - \bar{s}_0) \quad (4.39)$$

$$E_{BG}^{PH} = EC = (14712.011 - 8946.608) - 298 \cdot (217.300 - 202.662)$$

$$E_{BG}^{PH} = EC = 1403.279 \text{ kJ/kmol}$$

$$E_{BG}^{PH} = EC = \frac{1403.279 \text{ kJ/kmol}}{29.65 \text{ kJ/kmol}} = 47.3284 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{BG}^{PH} = EC = \dot{m}_{BG} \cdot E_{BG} = 277.0997 \text{ kg/s} \cdot 47.3281 \text{ kJ/kg} = 13114.574 \text{ kJ/s bulunur.}$$

1 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (kondenserden tahliye pompasına çıkışı);

$$e_1^{PH} = (h_1 - h_0) - T_0(s_1 - s_0) \quad (4.40)$$

$$e_1^{PH} = 3.58 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_1^{PH} = \dot{m}_1 \cdot e_1^{PH} = 276.36 \text{ kJ/s}$$

2 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (tahliye pompasından ABI 1'e çıkışı);

$$e_2^{PH} = (h_2 - h_0) - T_0(s_2 - s_0) \quad (4.41)$$

$$e_2^{PH} = 5.55 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_2^{PH} = \dot{m}_2 \cdot e_2^{PH} = 428.31 \text{ kJ/s}$$

3 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (ABI 1'den ABI 2'ye çıkışı);

$$e_3^{PH} = (h_3 - h_0) - T_0(s_3 - s_0) \quad (4.42)$$

$$e_3^{PH} = 4.53 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_3^{PH} = \dot{m}_3 \cdot e_3^{PH} = 361.91 \text{ kJ/s}$$

4 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (ABI 2'den ABI 3'e çıkışı);

$$e_4^{PH} = (h_4 - h_0) - T_0(s_4 - s_0) \quad (4.43)$$

$$e_4^{PH} = 11.95 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_4^{PH} = \dot{m}_4 \cdot e_4^{PH} = 992.12 \text{ kJ/s}$$

5 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (ABI 3'ten ABI 4'e çıkış);

$$e_5^{PH}=(h_5-h_0) - T_0(s_5-s_0) \quad (4.44)$$

$$e_5^{PH}=37.72 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_5^{PH}=\dot{m}_5 * e_5^{PH}= 3391.05 \text{ kJ/s}$$

6 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (ABI 4'ten KBT'ye çıkış);

$$e_6^{PH}=(h_6-h_0) - T_0(s_6-s_0) \quad (4.45)$$

$$e_6^{PH}= 63.66 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_6^{PH}=\dot{m}_6 * e_6^{PH}= 6060.33 \text{ kJ/s}$$

7 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (KBT'den KBP'ye çıkış);

$$e_7^{PH}=(h_7-h_0) - T_0(s_7-s_0) \quad (4.46)$$

$$e_7^{PH}= 101.25 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_7^{PH}=\dot{m}_7 * e_7^{PH}= 10165.52 \text{ kJ/s}$$

8 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (KBP'den YBI 1'e çıkış);

$$e_8^{PH}=(h_8-h_0) - T_0(s_8-s_0) \quad (4.47)$$

$$e_8^{PH}=101.25 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_8^{PH}=\dot{m}_8 * e_8^{PH}= 10165.52 \text{ kJ/s}$$

9 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (YBI 1'den YBI 2'ye çıkış);

$$e_9^{PH}=(h_9-h_0) - T_0(s_9-s_0) \quad (4.48)$$

$$e_9^{PH}= 133.23 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_9^{PH}=\dot{m}_9 * e_9^{PH}= 14189.13 \text{ kJ/s}$$

10 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (YBI 2'den Kazana çıkış);

$$e_{10}^{PH}=(h_{10}-h_0) - T_0(s_{10}-s_0) \quad (4.49)$$

$$e_{10}^{PH}=201.63 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{10}^{PH}=\dot{m}_{10} * \dot{e}_{10}^{PH}= 23510.58 \text{ kJ/s}$$

11 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (Kazandan YBT'ye çıkış);

$$e_{11}^{PH}=(h_{11}-h_0) - T_0(s_{11}-s_0) \quad (4.50)$$

$$e_{11}^{PH}=1490.74 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{11}^{PH}= \dot{m}_{11} * \dot{e}_{11}^{PH}= 173819.14 \text{ kJ/s}$$

12 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (YBT'den Kazana dönüş);

$$e_{12}^{PH}=(h_{12}-h_0) - T_0(s_{12}-s_0) \quad (4.51)$$

$$e_{12}^{PH}=1097.77 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{12}^{PH}= \dot{m}_{12} * \dot{e}_{12}^{PH}= 116912.74 \text{ kJ/s}$$

13 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (Kazandan OBT'ye çıkış);

$$e_{13}^{PH}=(h_{13}-h_0) - T_0(s_{13}-s_0) \quad (4.52)$$

$$e_{13}^{PH}=1362.15 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{13}^{PH}=\dot{m}_{13} * \dot{e}_{13}^{PH}= 145069.85 \text{ kJ/s}$$

14 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (OBT'den ABT'ye çıkış);

$$e_{14}^{PH}=(h_{14}-h_0) - T_0(s_{14}-s_0) \quad (4.53)$$

$$e_{14}^{PH}=608.19 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{14}^{PH}=\dot{m}_{14} * \dot{e}_{14}^{PH}= 54676.12 \text{ kJ/s}$$

15 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (ABT'den Kondensere çıkış);

$$e_{15}^{PH}=(h_{15}-h_0) - T_0(s_{15}-s_0) \quad (4.54)$$

$$e_{15}^{PH}=186.91 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{15}^{PH}=\dot{m}_{15} * \dot{e}_{15}^{PH}= 14429.31 \text{ kJ/s}$$

16 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (YBT'den YBI 2'ye ara buhar çıkışı);

$$e_{16}^{PH}=(h_{16}-h_0) - T_0(s_{16}-s_0) \quad (4.55)$$

$$e_{16}^{PH}=1097.77 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{16}^{PH}=\dot{m}_{16} * \dot{e}_{16}^{PH}= 11087.50 \text{ kJ/s}$$

17 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (OBT'den YBI 1'e ara buhar çıkışı);

$$e_{17}^{PH}=(h_{17}-h_0) - T_0(s_{17}-s_0) \quad (4.56)$$

$$e_{17}^{PH}=1072.18 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{17}^{PH}=\dot{m}_{17} * \dot{e}_{17}^{PH}= 6540.29 \text{ kJ/s}$$

18 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (OBT'den KBT'ye ara buhar çıkışı);

$$e_{18}^{PH}=(h_{18}-h_0) - T_0(s_{18}-s_0) \quad (4.57)$$

$$e_{18}^{PH}=868.71 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{18}^{PH}=\dot{m}_{18} * \dot{e}_{18}^{PH}= 4517.28 \text{ kJ/s}$$

19 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (OBT'den ABI 4'e ara buhar çıkışı);

$$e_{19}^{PH}=(h_{19}-h_0) - T_0(s_{19}-s_0) \quad (4.58)$$

$$e_{19}^{PH}=608.19 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{19}^{PH}=\dot{m}_{19} * \dot{e}_{19}^{PH}= 3223.40 \text{ kJ/s}$$

20 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (ABT'den ABI 3'e ara buhar çıkışı);

$$e_{20}^{PH}=(h_{20}-h_0) - T_0(s_{20}-s_0) \quad (4.59)$$

$$e_{20}^{PH}=506 * 1942 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{20}^{PH}=\dot{m}_{20} * \dot{e}_{20}^{PH}= 3492 * 74 \text{ kJ/s}$$

21 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (ABT'den ABI 2'ye ara buhar çıkışı);

$$e_{21}^{PH}=(h_{21}-h_0) - T_0(s_{21}-s_0) \quad (4.60)$$

$$e_{21}^{PH}=402.36 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{21}^{PH}=\dot{m}_{21} * \dot{e}_{21}^{PH}= 1247.30 \text{ kJ/s}$$

22 numaralı nokta fiziksel ekserjisi (ABT'den ABI 1'e ara buhar çıkışı);

$$e_{22}^{PH}=(h_{22}-h_0) - T_0(s_{22}-s_0) \quad (4.61)$$

$$e_{22}^{PH}=317.82 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{22}^{PH}=\dot{m}_{22} * \dot{e}_{22}^{PH}= 858.11 \text{ kJ/s}$$

23 numaralı nokta kondensere soğuk su girişi (kule dönüşü) fiziksel ekserjisi;

$$e_{23}^{PH}=(h_{23}-h_0) - T_0(s_{23}-s_0) \quad (4.62)$$

$$e_{23}^{PH}=0.10396 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{23}^{PH}=\dot{m}_{23} * \dot{e}_{23}^{PH}=635.30 \text{ kJ/s}$$

24 numaralı nokta kondenserden soğuk su çıkışı fiziksel ekserjisi;

$$e_{24}^{PH}=(h_{24}-h_0) - T_0(s_{24}-s_0) \quad (4.63)$$

$$e_{24}^{PH}= 1.56 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{24}^{PH}=\dot{m}_{24} * \dot{e}_{24}^{PH}= 9558.98 \text{ kJ/s}$$

#### 4.3.2.2. Santraldeki noktaların kimyasal ekserjileri

Çevrimdeki gazların kimyasal ekserjilerini formülle hesaplayacağız. Çevrimdeki bir noktanın kimyasal ekserji analizini yaparken suyun ekserjisini 2.5 kJ/kg olduğunu bilip debi ile çarparak kimyasal ekserjilerini bulacağız. Hesaplamalarda kullanacağımız gazların değerleri Çizelge 4.17'de görülmektedir.

Çizelge 4.17. Bazı gazların standart kimyasal ekserjileri

Madde	Simge	$\bar{e}^{ch}$ (kj/kmol)
Azot	(N <sub>2</sub> )	720
Kükürt dioksit	(SO <sub>2</sub> )	313.400
Karbon dioksit	(CO <sub>2</sub> )	19.870
Oksijen	(O <sub>2</sub> )	2.970
Su	(H <sub>2</sub> O)	9.500

Baca gazının kimyasal ekserjisi;

$$E_{BG}^{PH} = E_c = X_{CO_2} e_{CO_2}^{-CH} + X_{N_2} e_{N_2}^{-CH} + X_{SO_2} e_{SO_2}^{-CH} + X_{H_2O} e_{H_2O}^{-CH} + RT_0 (X_{CO_2} \ln x_{CO_2} + X_{N_2} \ln x_{N_2} + X_{SO_2} \ln x_{SO_2} + X_{H_2O} \ln x_{H_2O}) \quad (4.64)$$

$$E_{BG}^{PH} = E_c = 0.1519 \cdot 19870 + 0.7368 \cdot 720 + 0.0026 \cdot 313400 + 0.1087 \cdot 9500 + 8.314 \cdot 298 (0.1519 \ln 0.1519 + 0.7368 \ln 0.7368 + 0.0026 \ln 0.0026 + 0.1087 \ln 0.1087)$$

$$E_{BG}^{PH} = E_c = \frac{393.45}{29.44} = 118.66 \text{ kj/kmol}$$

$$E_{BG}^{PH} = E_c = \dot{m}_c \cdot E_c = 277.0997 \cdot 123.84 = 34316.02 \text{ kj/s hesaplanır.}$$

Kazan yakma havasının kimyasal ekserjisi;

$$E_B^{CH} = X_{O_2} e_{O_2}^{CH} + X_{N_2} e_{N_2}^{CH} + RT_0 (X_{O_2} \ln x_{O_2}^{CH} + X_{N_2} \ln x_{N_2}^{CH}) \quad (4.65)$$

$$E_B^{CH} = (0.21 \cdot 2970) + (0.79 \cdot 720) + (8.314 \cdot 298 \cdot (0.21 \ln 0.21 + 0.79 \ln 0.79))$$

$$E_B^{CH} = 129.1353 \text{ kj/kmol}$$

$$E_B^{CH} = \frac{129.1353 \text{ kj/kmol}}{28.85 \text{ kg/kmol}} = 4.476 \text{ kj/kg}$$

$$E_B^{CH} = \dot{m}_B \cdot e_B^{CH} = 227.7497 \cdot 4.386 = 998.91 \text{ kj/s bulunur.}$$

1 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (kondenserden tahliye pompasına çıkış);

$$\dot{E}_1^{CH} = \dot{m}_1 \dot{e}_1^{CH} = 77.2 \text{ kg/s} \cdot 2.5 \text{ kj/kg} = 193 \text{ kj/s hesaplanır.} \quad (4.66)$$

2 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (tahliye pompasından ABI 1'e çıkış);

$$\dot{E}_2^{CH} = \dot{m}_2 \dot{e}_2^{CH} = 77.2 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 193 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.67)$$

3 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (ABI 1'den ABI 2'ye çıkış);

$$\dot{E}_3^{CH} = \dot{m}_3 \dot{e}_3^{CH} = 79.9 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 199.75 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.68)$$

4 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (ABI 2'den ABI 3'e çıkış);

$$\dot{E}_4^{CH} = \dot{m}_4 \dot{e}_4^{CH} = 83 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 207.5 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.69)$$

5 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (ABI 3'ten ABI 4'e çıkış);

$$\dot{E}_5^{CH} = \dot{m}_5 \dot{e}_5^{CH} = 89.9 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 224.75 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.70)$$

6 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (ABI 4'ten KBT'ye çıkış);

$$\dot{E}_6^{CH} = \dot{m}_6 \dot{e}_6^{CH} = 95.2 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 238 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.71)$$

7 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (KBT'den KPY'ye çıkış);

$$\dot{E}_7^{CH} = \dot{m}_7 \dot{e}_7^{CH} = 100.4 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 251 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.72)$$

8 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (KBP'den YBI 1'e çıkış);

$$\dot{E}_8^{CH} = \dot{m}_8 \dot{e}_8^{CH} = 100.4 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 251 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.73)$$

9 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (YBI 1'den YBI 2'ye çıkış);

$$\dot{E}_9^{CH} = \dot{m}_9 \dot{e}_9^{CH} = 106.5 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 266.25 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.74)$$

10 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (YBI 2'den Kazana çıkış);

$$\dot{E}_{10}^{CH} = \dot{m}_{10} \dot{e}_{10}^{CH} = 116.1 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 291.5 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.75)$$

11 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (Kazandan YBT'ye çıkış);

$$\dot{E}_{11}^{CH} = \dot{m}_{11} \dot{e}_{11}^{CH} = 116.6 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 291.5 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.76)$$

12 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (YBT'den Kazana dönüş);

$$\dot{E}_{12}^{CH} = \dot{m}_{12} \dot{e}_{12}^{CH} = 106.5 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 266.25 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.77)$$

13 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (Kazandan OBT'ye çıkış);

$$\dot{E}_{13}^{CH} = \dot{m}_{13} \dot{e}_{13}^{CH} = 106.5 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 266.25 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.78)$$

14 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (OBT'den ABT'ye çıkış);

$$\dot{E}_{14}^{CH} = \dot{m}_{14} \dot{e}_{14}^{CH} = 89 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 224.75 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.79)$$

15 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (ABT'den Kondensere çıkış);

$$\dot{E}_{15}^{CH} = \dot{m}_{15} \dot{e}_{15}^{CH} = 77.2 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 193 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.80)$$

16 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (YBT'den YBI 2'ye ara buhar çıkışı);

$$\dot{E}_{16}^{CH} = \dot{m}_{16} \dot{e}_{16}^{CH} = 10.1 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 25.25 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.81)$$

17 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (OBT'den YBI 1'e ara buhar çıkışı);

$$\dot{E}_{17}^{CH} = \dot{m}_{17} \dot{e}_{17}^{CH} = 6.1 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 15.25 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.82)$$

18 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (OBT'den KBT'ye ara buhar çıkışı);

$$\dot{E}_{18}^{CH} = \dot{m}_{18}\dot{e}_{18}^{CH} = 5.2 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 13 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.83)$$

19 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (OBT'den ABI 4'e ara buhar çıkışı);

$$\dot{E}_{19}^{CH} = \dot{m}_{19}\dot{e}_{19}^{CH} = 5.3 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 13.25 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.84)$$

20 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (ABT'den ABI 3'e ara buhar çıkışı);

$$\dot{E}_{20}^{CH} = \dot{m}_{20}\dot{e}_{20}^{CH} = 6.9 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 17.25 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.85)$$

21 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (ABT'den ABI 2'ye ara buhar çıkışı);

$$\dot{E}_{21}^{CH} = \dot{m}_{21}\dot{e}_{21}^{CH} = 3.1 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 7.75 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.86)$$

22 numaralı nokta kimyasal ekserjisi (ABT'den ABI 1'e ara buhar çıkışı);

$$\dot{E}_{22}^{CH} = \dot{m}_{22}\dot{e}_{22}^{CH} = 2.7 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 6.75 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.87)$$

23 numaralı nokta kondensere soğuk su girişi (kule dönüşü) kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{23}^{CH} = \dot{m}_{23}\dot{e}_{23}^{CH} = 6111.1 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 15278 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.88)$$

24 numaralı nokta kondenserden soğuk su çıkışı kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{24}^{CH} = \dot{m}_{24}\dot{e}_{24}^{CH} = 6111.1 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 15278 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.89)$$

25 numaralı nokta kondensere soğuk su girişi (kule dönüşü) kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{25}^{CH} = \dot{m}_{25}\dot{e}_{25}^{CH} = 1 \text{ kg/s} * 2.5 \text{ kJ/kg} = 2.5 \text{ kJ/s hesaplanır.} \quad (4.90)$$

#### 4.3.2.3 Santral ekipmanlarının ekserji kaybı hesapları

Tesisteki ekipmanların ekserji kayıplarını hesaplarken Çizelge 4.18'deki veriler kullanılacaktır. Yapılan hesaplarda ekipmanlardaki yüzeylerin sıcaklıkları ihmal edilerek hesaplama yapılmıştır.

Çizelge 4.18. Noktalara ait enerji ve ekserji değerleri

Kısım No	Enerji E (kW)	Fiziksel ekserji $\dot{E}^{PH}$ (kW)	Kimyasal Ekserji $\dot{E}^{CH}$ (kW)	Toplam Ekserji $\dot{E}$ (kW)
1	15517.20	276.36	193	469.36
2	15648.44	428.31	193	621.31
3	17060.57	361.91	199.75	561.66
4	23629.27	992.12	207.5	1199.62
5	38558.11	3391.05	224.75	3615.80
6	49581.11	6060.33	238	6298.33
7	67840.28	10165.52	251	10416.52
8	67840.28	10165.52	251	10416.52
9	82207.99	14189.13	266.25	14455.38
10	111100.44	23510.58	291.5	23802.08
11	400287.80	173819.14	291.5	174110.64
12	329191.50	116912.74	266.25	117178.99
13	377755.50	145069.85	266.25	145336.10
14	258192.80	54676.12	224.75	54900.87
15	197477.60	14429.31	193	14622.31
16	31219.10	11087.50	25.25	11112.75
17	19886.00	6540.29	15.25	6555.54
18	15917.20	4517.28	13	4530.28
19	15221.60	3223.40	13.25	3236.65
20	19016.40	3492.74	17.25	3509.99
21	8435.10	1247.30	7.75	1255.05
22	7144.20	858.11	6.75	864.86
23	742853.09	635.31	15277.75	15913.06
24	892220.60	9558.98	15277.75	24836.73
25	100.60	0.03	2.5	2.53

Kazanda ekserji kaybı;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky} \quad (4.91)$$

$$\dot{E}_{10} + \dot{E}_{12} + \dot{E}_A + \dot{E}_B = \dot{E}_{11} + \dot{E}_{13} + \dot{E}_C + \dot{E}_{KY}$$

$$23802.08 + 117178.99 + 495789.84 + 998.91 = 174110.64 + 145336.10 + 47430.59 + \dot{E}_{KY}$$

$$\dot{E}_{KY} = 270891.65 \text{ kJ/s}$$

Türbin grubunda ekserji kaybı;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky} \quad (4.92)$$

$$\dot{E}_{11} + \dot{E}_{13} + \dot{E}_{14} = \dot{E}_{12} + \dot{E}_{14} + \dot{E}_{15} + \dot{E}_{16} + \dot{E}_{17} + \dot{E}_{18} + \dot{E}_{19} + \dot{E}_{20} + \dot{E}_{21} + \dot{E}_{22} + \dot{E}_{w, \text{türbin}} + \dot{E}_{ky}$$

$$10416.52 + 145336.10 + 54900.87 = 117178.99 + 54900.87 + 14622.31 + 11112.75 +$$

$$6555.54 + 4530.28 + 3236.65 + 3509.99 + 1255.05 + 864.86 + 124000 + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 32580.31 \text{ kJ/s bulunur.}$$

Kondenserde ekserji kaybı;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky} \quad (4.93)$$

$$\dot{E}_{15} + \dot{E}_{23} + \dot{E}_{25} = \dot{E}_1 + \dot{E}_{24} + \dot{E}_{ky}$$

$$14622.31 + 15913.06 + 2.53 = 469.36 + 24836.73 + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 5231.81 \text{ kJ/s}$$

KTP ekserji kaybı;

KTP verimini %80 alacağız. İşin tümü ekserji olduğundan,

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky} \quad (4.94)$$

$$\dot{E}_g = 800 \text{ kW}, \dot{E}_\zeta = 640 \text{ kW hesaplanır. } \dot{E}_{ky} = 160 \text{ kJ/s hesaplanır.}$$

KBP'da ekserji kaybı;

Kazan besleme pompası 2 adet 3514.0 kW kapasiteli pompalardan oluşmaktadır.

Hesaplamalarda 1 adet pompaymış gibi hesaplamalar yapılacaktır. Pompa verimi

%85 varsayımıyla işlem yapılacaktır. Bu şekilde işin tümü ekserji olduğundan,  $\dot{E}_g = 3514.0 \text{ kW}$ ,  $\dot{E}_\zeta = 2986.9 \text{ kW}$  bulunur.

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky} \quad (4.95)$$

$$3,514.0 = 2,986.9 + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 527.1 \text{ kJ/s hesaplanır}$$

$$\text{iki pompa } \dot{E}_{ky} = 2 \times 527.1 = 1054.20 \text{ kJ/s hesaplanır.}$$

I- Nolu ABI ekserji kaybı;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky} \quad (4.96)$$

$$\dot{E}_2 + \dot{E}_{22} = \dot{E}_3 + \dot{E}_{ky}$$

$$621.31 + 864.86 = 561.66 + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 924.51 \text{ kJ/s hesaplanır.}$$

II- Nolu ABI ekserji kaybı;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky} \quad (4.97)$$

$$\dot{E}_3 + \dot{E}_{21} = \dot{E}_4 + \dot{E}_{ky}$$

$$561.66 + 1255.05 = 1199.62 + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 617.09 \text{ kJ/s hesaplanır}$$

III- Nolu ABI ekserji kaybı;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky} \quad (4.98)$$

$$\dot{E}_4 + \dot{E}_{20} = \dot{E}_5 + \dot{E}_{ky}$$

$$1199.62 + 3509.99 = 3615.80 + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 1093.82 \text{ kJ/s hesaplanır.}$$

IV- Nolu ABI ekserji kaybı;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky} \quad (4.99)$$

$$\dot{E}_5 + \dot{E}_{19} = \dot{E}_6 + \dot{E}_{ky}$$

$$3615.80+3236.65=6298.33+\dot{E}_{ky}$$

$\dot{E}_{ky}=554.11$  kJ/s hesaplanır.

KBT Ekserji Kaybı;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç + \dot{E}_{ky} \quad (4.100)$$

$$\dot{E}_6 + \dot{E}_{18} = \dot{E}_7 + \dot{E}_{ky}$$

$$6298.33 + 4530.28 = 10416.52 + \dot{E}_{ky}$$

$\dot{E}_{ky} = 412.10$  kJ/s hesaplanır.

I- Nolu YBI ekserji kaybı;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç + \dot{E}_{ky} \quad (4.101)$$

$$\dot{E}_8 + \dot{E}_{17} = \dot{E}_9 + \dot{E}_{ky}$$

$$10416.52 + 6555.54 = 14455.38 + \dot{E}_{ky}$$

$\dot{E}_{ky} = 2516.68$  kJ/s hesaplanır.

II- Nolu YBI ekserji kaybı;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç + \dot{E}_{ky} \quad (4.102)$$

$$\dot{E}_9 + \dot{E}_{16} = \dot{E}_{10} + \dot{E}_{ky}$$

$$14455.38 + 11112.75 = 23802.08 + \dot{E}_{ky}$$

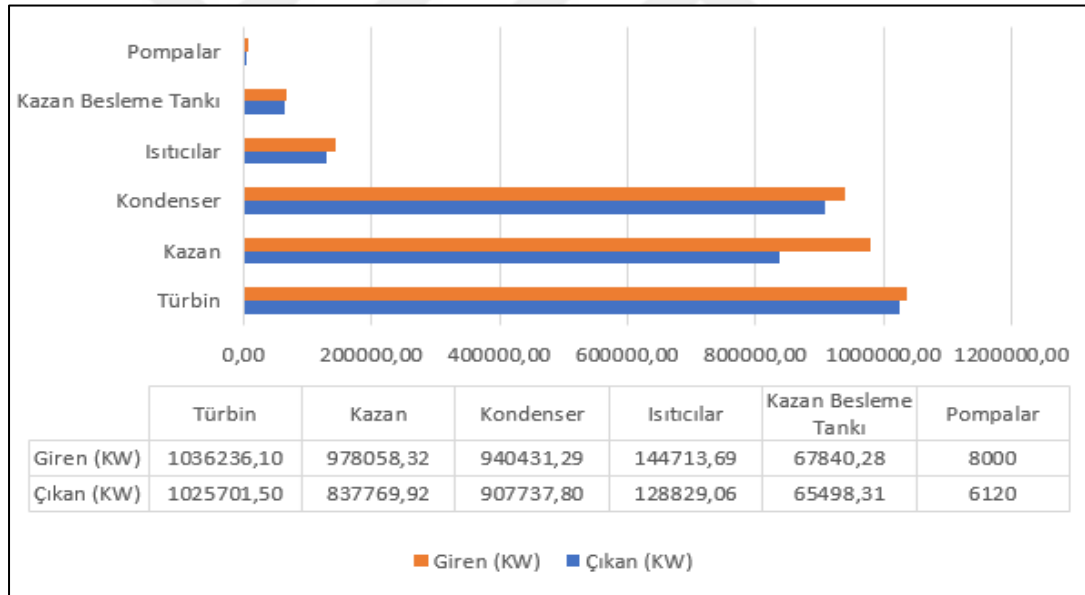
$\dot{E}_{ky} = 1766.05$  kJ/s hesaplanır.

### 4.3.3. Enerji, ekserji kaybı ve verimlerinin bulunması

Tablodaki ekipmanların enerji ve ekserjileriyle birlikte enerji ve ekserji verimleri de gözükmemektedir (Çizelge 4.19). Giren ve çıkan enerji değerleri kıyaslama yapabilmek adına Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. Noktalardaki enerji, ekserji kayıpları ve verimleri

Ekipman	Enerji (KW)	Ekserji ( $\dot{E}x_d$ ) (kW)	Enerji Verimi ( $\eta$ )	Ekserji Verimi ( $\epsilon$ )
<b>Kazan</b>	140288.4	270891.65	0.86	0.58
<b>Türbin Grubu</b>	10553	32580.31	0.87	0.58
<b>Kondenser</b>	32595.42	5231.81	0.28	0.82
<b>Kazan Besleme Tankı</b>	2341.97	412.1	0.97	0.96
<b>1,Ab I</b>	5732.07	924.51	0.75	0.37
<b>2,Ab I</b>	1866.4	617.09	0.93	0.66
<b>3,Ab I</b>	4087.56	1093.82	0.90	0.77
<b>4,Ab I</b>	4198.6	554.11	0.92	0.92
<b>1,Yb I</b>	5518.29	2516.68	0.94	0.85
<b>2,Yb I</b>	2326.64	1766.05	0.98	0.93
<b>Kondense Tahliye Pompası</b>	0	160	-	0.80
<b>Kazan Besleme Pompası</b>	0	1054.2	-	0.85



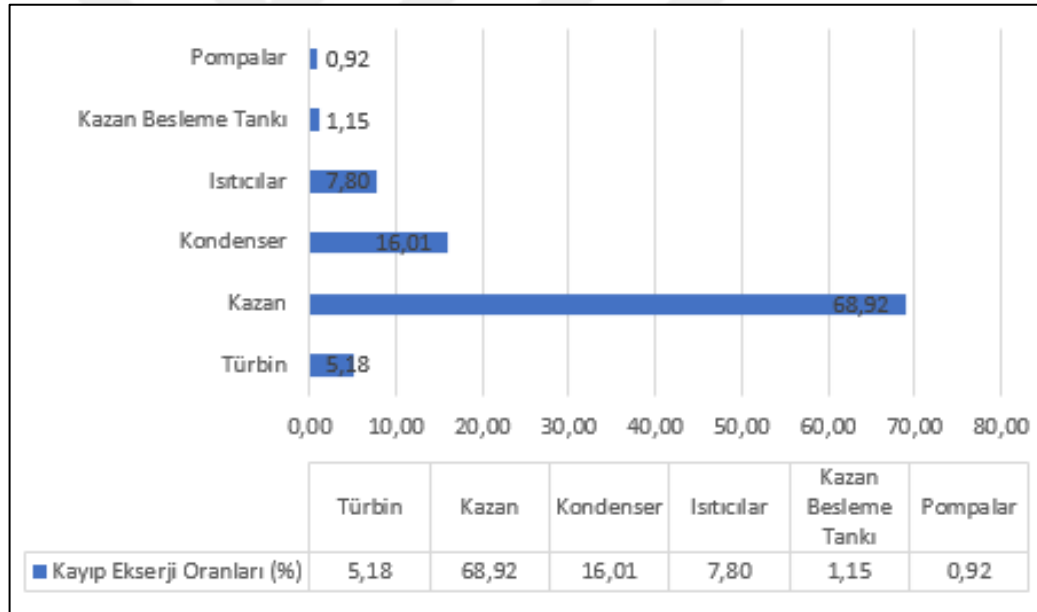
Şekil 4.16. Ekipmanlara ait giren çıkan enerjiler

Hesaplamalardan da görüleceği üzere Santral ekipmanları içerisinde enerji yükü olarak en büyük türbin, kazan, yüksek ve alçak basınç ısıtıcıları, kondenser, kazan besleme tankı, kazan besleme ve kondense tahliye pompası gibi ekipmanlar bulunmaktadır. Kazan besleme tankı ve pompaların enerjileri az olduğu gözükmektedir. Giren ve çıkan enerji farkı enerji kaybını göstermektedir. Enerji kaybının çok olduğu ekipmanları incelemek gerekir (Çizelge 4.20) (Şekil 4.17). Bunlar türbinler, buhar kazanı ile kondenserdir ve incelenmelidir.

Energiler;

Çizelge 4.20. Kayıp enerji ve oranları

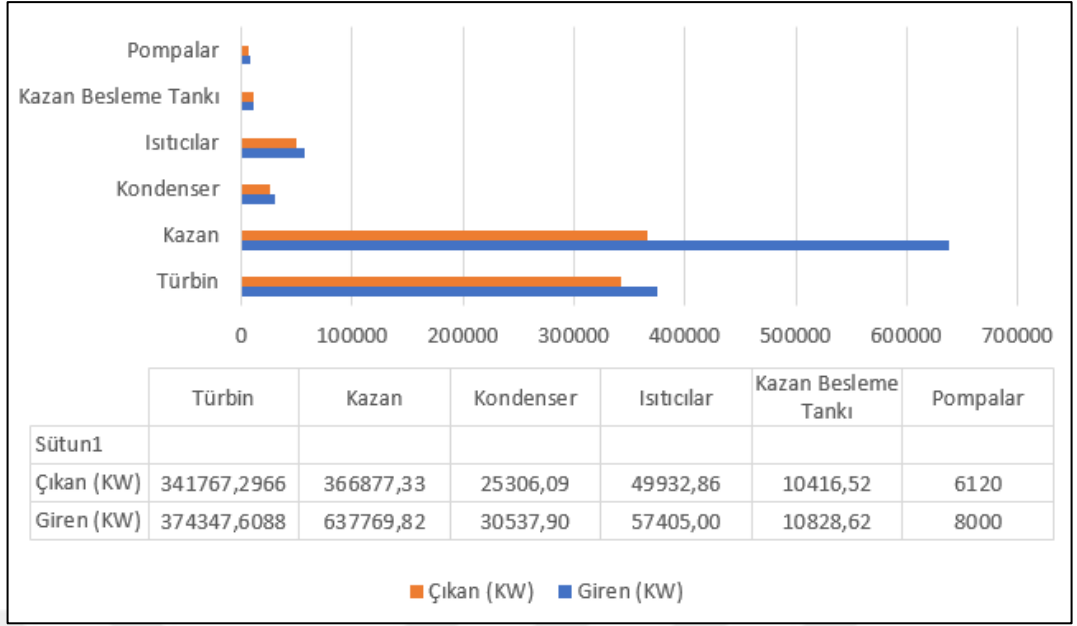
Ekipman	Kayıp Enerji (kW)	Kayıp Enerji Oranları (%)
Kazan	140288.40	68.92
Türbin Grubu	10553	5.18
Kondenser	32595	16.01
KBT	2341.97	1.15
Isıtıcı Grup	15884.63	7.80
Pompalar	1880	0.92
Toplam	203543	100



Şekil 4.17. Kayıp enerji ve oranları

Ekserjiler;

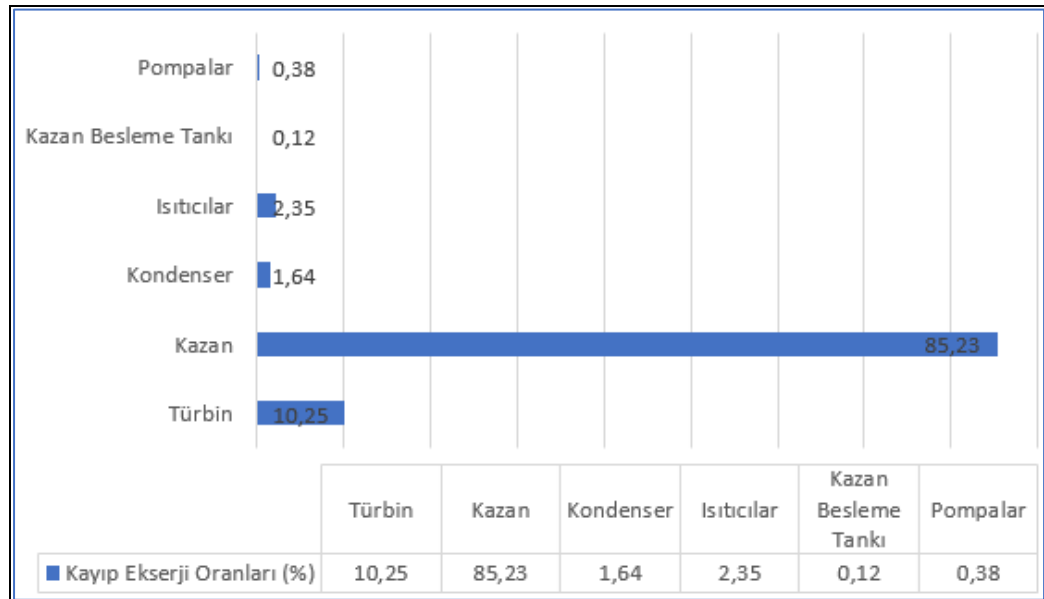
Tablodan da görüleceği üzere kazan ve türbin grubu ekserjinin en büyük olduğu yerdir (Çizelge 4.21) (Şekil 4.19). Giren ve çıkan ekserji değerlerine göre sıralama yapılırsa sırasıyla kazan, türbin grubu ve ısıtıcılar gelmektedir. Kondenser, pompalar ve kazan besleme tankındaki kayıplar diğer ekipmanlara oranla daha düşüktür (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Ekipmanlara ait giren çıkan ekserjiler

Çizelge 4.21. Kayıp ekserji ve oranları

Ekipman	Kayıp Ekserji (kW)	Kayıp Ekserji Oranları (%)
<b>Kazan</b>	270892.49	85.23
<b>Türbin Grubu</b>	32580.31	10.25
<b>Kondenser</b>	5231.81	1.64
<b>KBT</b>	412.10	0.12
<b>Isıtıcı Grup</b>	7472	2.35
<b>Pompa Grubu</b>	1214.20	0.38
<b>Toplam</b>	317802.91	100



Şekil 4.19. Kayıp ekserji ve oranları

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrik üretim santrallerinde yenilenebilir ve fosil kaynaklı olarak 2 farklı başlık altında yoğunlaşmıştır. Fosil kaynaklı yakıtların ömür ve çevreye zararları da olduğu herkes tarafından bilinmektedir. Dikkat edilmesi gereken hem çevreye duyarlı hem de ucuz enerji üretim yöntemini kullanmaktır.

Eskiden beri iklim değişikliği ve küresel ısınma ile ilgili sıkıntılar gün geçtikçe artarak devam etmektedir. İklim değişikliğinin temel sebebi olarak sanayileşme ve fosil kaynaklı yakıt kullanımı çevreye atılan zararlı gazlardır. Fosil yakıtlar içerisinde alt ısıl değeri en düşük olan linyit kömürü bu santralde yaptığımız çalışmada da kullanılmaktadır. Yerli ve milli enerjiye dönüş kapsamında bu yerli santrallerin önemini ortaya koymaktadır.

Son yıllarda geliştirilen teknolojiler ile çevreye atılan gazların minimuma indirmek için yeni sistemler bulunmuş ve yeni yapılan tüm santrallerde zorunlu kılınmaktadır.

Dünyadaki yakıt rezervinin giderek azalması, enerji tüketiminin artması ve çevreye verdiği zararlar düşünüldüğünde üretimin daha verimli hale getirilmesi zorunludur.

Bundan dolayı enerjinin üretildiği-kullanıldığı ekipmanlarda termodinamik analiz metodlarıyla enerji analizi yapılarak ekipmanların geliştirilebilir yönleri belirlenebilir. Geliştirilebilen nedenlerin iyileştirilmesiyle enerji tasarrufu sağlanır ve masraflar minimize edilir.

Ekserji ve Enerji hesapları birbiriyle ilişkilidir. Enerji analizi ile bulunan enerjinin ekipmanlarda kullanılan ve kullanılmayan oranı belirlenirken, ekserji analizi ile de kayıp ve kullanılabilir enerjinin yeri, nedeni ve büyüklüğü bulunabilir. Yaptığımız hesaplamalarda aktif olarak çalışan bir termik santralin işletme şartlarında gerekli veriler santralden alınmış ve her bir ekipmanda enerji, ekserji ile kütle denklikleri kurulmuştur. Enerji ve Ekserji hesaplamaları yapılmıştır.

Hesaplamalar sonucunda en yüksek ekserji yıkımının 270.89 mW kayıp oranının ise %85.23 değeri ile kazanda olduğu görülmüştür. Aynı zamanda en düşük ekserji oranı

buradadır (%57). Bu sebeple iyileştirme olasılığı en yüksek ekipmanının kazan olacağı görülmüştür. Sonrasında orta basınç türbini ekserji tahribinin ve iyileştirme kapasitesinin yüksek olduğu ikinci ekipmandır. Türbinde yapılabilecek iyileştirmeler ekserji veriminde artışı sağlasa da iyileştirme maliyetleri hesaba katıldığında maliyetlerin yüksek olması sebebiyle çok tercih edilebilecek seviyede değildir. Türbinden alınan ara buharların optimizasyonu yapılarak maliyetsiz bir şekilde sistemin verimi artırılabilir. Diğer ekipmanlar içerisinde ise 1. ve 2. ABI'sında ekserji tahribinin yüksek olduğu görülmüştür. Buradaki sebebin ise ısıtıcılarda oluşan korozyondan ve bazı bölgelerin körlenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Revizyonda bu körlenen ve korozyona uğrayan hatların temizliği yapılarak verim artışı sağlanabilir. Bunların haricinde diğer ekipmanlarda ciddi bir kırım olmayıp bu yüzden yapacağımız iyileştirmelerin ekipmanların performanslarını arttırmaktan başka sistem verimine ciddi bir etkisi olmayacaktır ve maliyet doğuracaktır.

Özetle yapılacak iyileştirmelerin ekserji ve enerji verimini en çok etkileyen kazandan başlanılarak sonrasında türbin grubunda olması gerekmektedir. Harcanan enerjinin çokluğu kadar, doğaya verdiği zararları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu yüzden yaptığımız inceleme yapılacak iyileştirmelerden kazanılabilecek enerjileri göstererek hem verimi artırdığımız gibi hem de çevreye minimum bir zararla elektrik üretimi için yol göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- Akdağ, M. (2009). *Temel Kavramları ile Mühendislik Termodinamiği*, Kafkas Üniversitesi Yayınları, Bakü.
- Alioğlu, O. (2010). *Türkiye Ekonomisinde Termik Santrallerin Yeri: Marmara Bölgesi Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü)
- Arslan, O., Ceylan, N. & Kose, R. (2005). Exergetic evaluation of coal-fired power plant: Seyitomer case study. In *The Second International Exergy, Energy and Environment Symposium (IEEES2)* (pp. 3-7).
- Başaran, M. (2012). Termik santraller. *Enerji Yatırımları Fizibilite Raporu Hazırlanması Semineri*, Ankara.
- Bejan, A., Tsatsaronis, G. & Moran, M. (1996). *Thermal Design and Optimization*. John Wiley and Sons, USA. 542pp.
- Beyhan, B. (2015). *Santral Dökümanları*. Soma Termik Santrali Vardiya Amiri.
- Bilginsoy, K.A. (2012). *Bir Termik Santralde Termodinamik Analiz ve Isıl Süreçlerde Tersinmezliklerin Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- BP, (2020). Bp Statistical Review of World Energy <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> (Son erişim tarihi: 05.09.2021)
- Coşkun, A., Geredelioğlu, Ç., Bolattürk, A. & Gökaslan, M.Y. (2013). *Çayırhan Termik Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi (İzmir)*. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Çelik, C. (2015). *Termik Santrallerde Enerji ve Ekserji Analizi İçin Yazılım Geliştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Çengel, Y.A. & Boles, M.A. (2012). *Termodinamik, Mühendislik Yaklaşımıyla*. Güven Bilimsel Yayınları, İstanbul.
- Çetin, B. & Özen, E. (2021). Farklı yük şartlarında kömür yakıtlı termik güç santrallerinin termodinamik analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(1), 1-12.
- Çomaklı, K., Karşı, S., Çomaklı, Ö. & Yılmaz, M. (2004). Termal sistemlerin ekserjetik analizi. *Termodinamik Dergisi*, 11, 94-98.
- Dincer, I. & Cengel, Y.A. (2001). Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering. *Entropy*, 3(3), 116-149.

- Dincer, I. (2002). The role of exergy in energy policy making. *Energy policy*, 30(2), 137-149.
- Dinçer, İ. & Rosen, M.A. (2013). Exergy Energy, Environment and Sustainable Development. University of Ontario Institute of Technology, Published by Elsevier Ltd., Canada.
- Dinçol, Ş. (2016). *Soma Termik Santrali'nin Enerji ve Ekserji Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ehsan, A. & Yılmazoğlu, M.Z. (2011). Design and Exergy Analysis of a Thermal Power Plant Using Different Types of Turkish Lignite. *International Journal of Thermodynamics*, 14, 125-133.
- EPDK, (2022). Enerji Görünümü 2021 Raporu. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-86/elektriklisans-islemleri> (Son erişim tarihi: 10.02.2022)
- EPIAŞ, (2021). EPIAŞ 2021 Yılı Faaliyet Raporu. [https://www.epias.com.tr/wp-content/uploads/2022/03/FR\\_2021.pdf](https://www.epias.com.tr/wp-content/uploads/2022/03/FR_2021.pdf) (Son erişim tarihi: 05.11.2021)
- Erduranlı, P. (1997). *Enerji Santralına Ekserji Analizinin Uygulanması*. (Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Erzan, S. (2018). *Kangal Termik Santrali'nin Enerji ve Ekserji Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- ETKB, (2015). *Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü*. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı. Sayı:07, Ankara.
- Guo, J. & Zheng, D. (2012). Thermodynamic analysis of low-rank-coal-based oxygen-thermal acetylene manufacturing process system. *Industrial & engineering chemistry research*, 51(41), 13414-13422.
- Hepbaşlı, A. (2008). Endüstriyel işletmelerde ekserji yönetim sisteminin kurulması gerekli mi. *Termodinamik Dergisi*, 190, 64-82.
- Heper, Y. (2001). *Buhar Santralleri Teorisi ve Uygulanması*. Metu Press, Ankara.
- Karakoç, T.H., Karakoç, N., Erbay, B. & Aras, H. (2012). *Enerji Analizi*. T.C. Anadolu Üniversitesi Birinci Baskı, Yayın no: 2486, Eskişehir.
- Karellas, S., Leontaritis, A.D., Panousis, G., Bellos, E. & Kakaras, E. (2013). Energetic and exergetic analysis of waste heat recovery systems in the cement industry. *Energy*, 58, 147-156.
- Kosman, W. (2010). The influence of external cooling system on the performance of supercritical steam turbine cycles. *Archives of Thermodynamics*, 31(3), 131-144.

- Kotas, T.J. (1995). *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*. Kreiger Publishing Company, Florida.
- Liu, G.J., Li, Z., Wang, M.H. & Ni, W.D. (2010). Energy savings by co-production: A methanol/electricity case study. *Applied Energy*, 87(9), 2854-2859.
- Mert, M.S. (2010). *Bir Güç Santralinin Ekserjik ve Termoekonomik Analizi*. (Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- MTA, (2019). MTA 2019 Yılı Faaliyet Raporu. [https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/kurumsal/belgeler/faaliyet\\_raporu\\_2019.pdf](https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/kurumsal/belgeler/faaliyet_raporu_2019.pdf) (Son erişim tarihi: 15.06.2021)
- MTA, (2020). MTA 2020 Yılı Faaliyet Raporu. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/kurumsal/belgeler/2020-Faaliyet-Raporu.pdf> (Son erişim tarihi: 15.06.2021)
- Özdemir, M.B., Menlik, T., Variyenli, H.İ. & Sevin, L. (2017). Bir termik santralin performans analizi ve rehabilitasyon metotları. *Politeknik Dergisi*, 20(4), 971-978.
- Regulagadda, P., Dinçer, I. & Naterer, G.F. (2010). Exergy Analysis of a Thermal Power Plant with Measured Boiler and Turbine Losses. *Applied Thermal Engineering*, 30, 970-976.
- Rihko-Struckmann, L. K., Peschel, A., Hanke-Rauschenbach, R. & Sundmacher, K. (2010). Assessment of methanol synthesis utilizing exhaust CO<sub>2</sub> for chemical storage of electrical energy. *Industrial & engineering chemistry research*, 49(21), 11073-11078.
- Rosen, M.A. & Dinçer, İ. (2004). Effect of varying dead-state properties on energy and exergy analysis of thermal systems. *International Journal of Thermal Science*, 43, 121-133.
- Selçuk, N. (2010). *Temiz Kömür Yakma Teknolojileri ve Süperkritik Buhar Santralleri*. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayınları, Ankara.
- Sevin, L. (2014). *Bir Termik Santralin Enerji Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Şakir, D. (2016). *Soma Termik Santralının Enerji ve Ekserji Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Tamzok, N. (2017). Türkiye’de Termik Santraller 2017, TMMOB Makine Mühendisleri Odası (Ed.), Yerli Kömüre Dayalı Termik Santral Potansiyeli, Darboğazlar ve Çözüm Önerileri, 135-145. Ankamat Matbaacılık San. Limited Şirketi, Ankara.

- Taşkınoğlu, M. (2011). *Termik Santrallerde Elektrik Enerjisi Verimliliğinin Artırılması: E.Ü.A.Ş. Seyitömer Termik Santrali Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- TEİAŞ, (2020). 2020 Yılı Elektrik Üretim-Tüketim Raporu. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/aylik-elektrik-uretim-tuketim-raporlari> (Son erişim tarihi: 11.09.2021)
- TSKB, (2021). Enerji Görünümü 2021 Raporu. <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2021.pdf> (Son erişim tarihi: 20.12.2021)
- Tuncali, E., Ciftci, B., Yavuz, N., Toprak, S., Koker, A., Aycik, H., Gencer, Z. & Sahin, N. (2002). Chemical and technological properties of Turkish tertiary coals. Ankara: Directorate of Mineral Research and Exploration's Publication
- Utlü, Z. & Kıncay, O. (2013). An assessment of a pulp and papermill through energy and exergy analyses. *Energy*, 57, 565–573.
- Yılmazoğlu, M.Z. & Amirabedin, E. (2011). Second Law and Sensitivity Analysis of a Combined Cycle Power Plant in Turkey. *Journal of Thermal Science and Technology*, 31(2), 41-50.
- Yüksel, B. & Çomaklı, K. (2002). Kazanlarda ekserji analizi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 72, 33-37.
- Zhang L., Wu, L., Zhang, X., Ju, G. (2013). Comparison and Optimization of Mid-low Temperature Cogeneration Systems for Flue Gas in Iron and Steel Plants. *Journal of Iron and Steel Research International*, 20, 33–40.

## ÖZGEÇMİŞ

